



# PGIRS-AT

PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ

Produto 5 – Prognóstico para a Gestão e Gerenciamento de  
Resíduos Sólidos

Versão Final

Agosto/2024



# PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ PGIRS-AT

Produto 5 – Prognóstico para a Gestão e Gerenciamento de  
Resíduos Sólidos

Versão Final

Secretaria de  **SÃO PAULO**  
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

FINANCIADOR



CONTRATANTE



REALIZAÇÃO



ELABORAÇÃO



De Curitiba/PR para São Paulo/SP

Agosto/2024

## APRESENTAÇÃO DA EQUIPE

### Coordenação Geral

*Helder Rafael Nocko* | *Engenheiro Ambiental, MSc.*

### Coordenador Executivo

*André Luciano Malheiros* | *Engenheiro Civil, Dr.*

### Equipe Técnica

*Annelise Nairne Schamne* | *Consultora em Resíduos Sólidos, Dra.*

*Bruna Silva* | *Analista Ambiental*

*Daniel Thá* | *Economista, MSc.*

*Diana Maria Cancelli* | *Engenheira Ambiental, Dra.*

*Dóris Regina Falcade Pereira* | *Analista Ambiental*

*Fabiane Baran Cárgano* | *Socióloga, MSc.*

*Fernanda Muzzolon Padilha* | *Engenheira Ambiental, Esp.*

*Karin Kässmayer* | *Advogada, Dra.*

*Larissa dos Santos Silva* | *Geógrafa, Esp.*

*Luiz Guilherme Grein Vieira* | *Engenheiro Ambiental, MSc.*

*Maria Alice Cordeiro Soares* | *Engenheira Civil, Esp.*

*Mirna Luiza Cortopassi Lobo* | *Arquiteta, Dra.*

*Paulo Henrique Costa* | *Geógrafo, Esp.*

*Roberta Gregório* | *Engenheira Ambiental, Esp.*

*Vicente Nadal Neto* | *Engenheiro Civil*

*Tiago Aparecido Perez Vieira* | *Consultor em Resíduos Sólidos*

### Equipe de Apoio

*Daniela Lopes* | *Auxiliar Administrativo*

*Romildo Macario* | *Administrador*

01	22/08/2024	Revisão conforme contribuições da oficina técnica, do GAT e da FABHAT	ETE	RG	HRN
Revisão	Data	Descrição Breve	Ass. do Autor.	Ass. do Superv.	Ass. de Aprov.

<b>PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ - PGIRS-AT</b>			
<b>Prognóstico para a Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos</b>			
<b>Elaborado por:</b> Equipe Técnica da EnvEx		<b>Supervisionado por:</b> Roberta Gregório	
<b>Aprovado por:</b> Helder Rafael Nocko		<b>Revisão</b> 01	<b>Finalidade</b> 03
		<b>Data</b> 22/08/2024	
Legenda Finalidade: [1] Para informação [2] Para comentário [3] Para aprovação			
		<b>EnvEx Engenharia e Consultoria</b> Rua Doutor Jorge Meyer Filho, 93 – Jardim Botânico CEP 80.210-190   Curitiba – PR Tel.: (41)3053-3487 EnvEx@EnvExengenharia.com.br   www.EnvExengenharia.com.br	

## APRESENTAÇÃO

Apresentamos à Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (FABHAT) o Produto 5 – Prognóstico para a Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos, referente ao Instrumento Contratual nº 001/2023, para a elaboração do **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Bacia do Alto Tietê (PGIRS-AT)**, em conformidade com o Processo Licitatório nº 002/2022.



**Helder Rafael Nocko**  
Engenheiro Ambiental, Msc.  
Coordenador Geral

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>2.</b>	<b>PREMISSAS DO ESTUDO .....</b>	<b>40</b>
2.1.	Planejamentos Existentes.....	40
2.1.1.	Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	40
2.1.2.	Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC).....	48
2.1.3.	Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) .....	50
2.2.	Rotas Tecnológicas Existentes .....	54
2.2.1.	Rotas Tecnológicas para RSU.....	54
2.2.2.	Rotas Tecnológicas para RCC.....	68
2.2.3.	Rotas Tecnológicas para RSS.....	78
<b>3.</b>	<b>CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>81</b>
3.1.	Perspectivas de futuro para a região.....	82
3.2.	Condicionantes da geração de resíduos sólidos .....	87
3.3.	Projeção populacional.....	97
3.3.1.	Tendências da população .....	97
3.3.2.	Projeções populacionais municipais.....	109
3.4.	Projeção da geração de RSU .....	128
3.4.1.	Tendências da geração e composição de RSU .....	128
3.4.2.	Perspectivas da reciclagem .....	154
3.4.3.	Projeção da variação absoluta de RSU .....	172
3.5.	Projeção da geração de RCC .....	210
3.6.	Projeção da geração de RSS.....	215
<b>4.</b>	<b>ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORÁVEIS PARA A DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE ADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>225</b>
4.1.	Áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários.....	226
4.2.	Áreas favoráveis à instalação de plantas de triagem e tratamento.....	229
4.3.	Municípios Potenciais.....	233

<b>5.</b>	<b>PROPOSIÇÃO DE ARRANJOS INTERMUNICIPAIS .....</b>	<b>238</b>
5.1.	Premissas.....	238
5.2.	Arranjo por Consórcios Existentes.....	246
5.3.	Micro Arranjos.....	253
5.4.	Arranjo por Regiões Geográficas.....	257
5.5.	Arranjo com Municípios Vizinhos.....	261
5.6.	Resumo comparativo entre os arranjos .....	265
<b>6.</b>	<b>PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS INSTITUCIONAIS .....</b>	<b>269</b>
6.1.	A prestação regionalizada dos serviços .....	270
6.1.1.	Modalidades de arranjos regionais.....	272
6.1.2.	Proposta de governança para a regionalização.....	278
6.2.	Governança e gestão de RSU.....	280
6.3.	Governança e gestão de RCC.....	285
6.3.1.	Atendimento aos pequenos geradores.....	288
6.3.2.	Monitoramento e Fiscalização .....	290
6.4.	Governança e gestão de RSS.....	292
<b>7.</b>	<b>PROPOSIÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA RSU.....</b>	<b>296</b>
7.1.	Objetivos da avaliação das rotas tecnológicas.....	296
7.2.	Definição e simulação das rotas tecnológicas.....	299
7.2.1.	Ferramenta de Simulação .....	299
7.2.2.	Premissas Chave na simulação das RT.....	304
7.2.3.	Rotas Tecnológicas Analisadas .....	306
7.3.	Modelagem Econômico-Financeira .....	320
7.3.1.	Óticas complementares, mas distintas, de análise.....	320
7.3.2.	Viabilidade Técnico-Financeira.....	326
7.3.3.	Avaliação Socioeconômica de Custo-benefício (ACB).....	336
7.4.	Resultados da Avaliação das Rotas Tecnológicas .....	383
7.4.1.	Resultados para os arranjos sob a Lógica de Consórcios .....	384
7.4.2.	Resultados para os arranjos sob a Lógica de Pequenos municípios.....	426

7.4.3.	Resultados para os arranjos sob a Lógica de Regiões Geográficas.....	461
7.4.4.	Resultados para os municípios com Soluções Individuais .....	489
<b>8.</b>	<b>PROPOSIÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA RCC.....</b>	<b>546</b>
8.1.1.	Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Consórcios Existentes.....	550
8.1.2.	Rotas Tecnológicas para os Micro Arranjos.....	555
8.1.3.	Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Regiões Geográficas.....	559
<b>9.</b>	<b>PROPOSIÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA RSS .....</b>	<b>563</b>
9.1.1.	Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Consórcios Existentes.....	565
9.1.2.	Rotas Tecnológicas para os Micro Arranjos.....	572
9.1.3.	Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Regiões Geográficas.....	580
<b>10.</b>	<b>AValiação Comparativa Entre os Arranjos.....</b>	<b>586</b>
<b>11.</b>	<b>PROGRAMA DE RECICLAGEM.....</b>	<b>596</b>
11.1.	Levantamento de demanda por materiais recicláveis: potenciais indústrias e respectivas quantidades de materiais recicláveis de serem utilizados no processo produtivo.....	601
11.1.1.	Estimativas de faturamento do catador autônomo típico .....	602
11.1.2.	Valor financeiro da cadeia da reciclagem na área de estudo .....	604
11.1.3.	Valor socioeconômico da cadeia da reciclagem na área de estudo .....	607
11.1.4.	Valor da logística reversa obrigatória de embalagens pós-consumo na área de estudo .....	610
11.2.	Estudo e proposição de metas factíveis de reciclagem a serem atingidas, destacando interface com a coleta seletiva e as formas de inclusão dos catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis .....	612
11.3.	Proposição de estratégia para segregação dos resíduos na fonte.....	615
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>617</b>
	<b>APÊNDICE 1 – RESULTADOS DOS ARRANJOS POR CONSÓRCIOS EXISTENTES.....</b>	<b>627</b>
<b>1.</b>	<b>Consórcio CIMBAJU.....</b>	<b>628</b>
1.1.	Cenários Prospectivos .....	628
1.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	631
1.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	644

<b>2.</b>	<b>Consórcio CIOESTE</b> .....	<b>655</b>
2.1.	Cenários Prospectivos.....	655
2.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	658
2.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	670
<b>3.</b>	<b>Consórcio CONISUD</b> .....	<b>681</b>
3.1.	Cenários Prospectivos.....	681
3.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	684
3.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	697
<b>4.</b>	<b>Consórcio CONDEMAT com Guarulhos</b> .....	<b>707</b>
4.1.	Cenários Prospectivos.....	707
4.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	710
4.1.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	722
<b>5.</b>	<b>Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos</b> .....	<b>733</b>
5.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	733
5.1.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	745
<b>6.</b>	<b>Consórcio GRANDE ABC</b> .....	<b>756</b>
6.1.	Cenários Prospectivos.....	756
6.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	759
6.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	771
<b>APÊNDICE 2 – RESULTADOS DOS MICRO ARRANJOS</b> .....		<b>782</b>
<b>1.</b>	<b>Micro arranjo CONISUD 1</b> .....	<b>783</b>
1.1.	Cenários Prospectivos.....	783
1.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	786
1.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	799
<b>2.</b>	<b>Micro arranjo CONISUD 2</b> .....	<b>810</b>
2.1.	Cenários Prospectivos.....	810
2.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	813
2.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	826
<b>3.</b>	<b>Micro arranjo CONDEMAT 1</b> .....	<b>836</b>

3.1.	Cenários Prospectivos .....	836
3.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	839
3.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	852
<b>4.</b>	<b>Micro arranjo CONDEMAT 2.....</b>	<b>862</b>
4.1.	Cenários Prospectivos .....	862
4.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	865
4.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	877
<b>5.</b>	<b>Micro arranjo ABC .....</b>	<b>888</b>
5.1.	Cenários Prospectivos .....	888
5.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	891
5.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	904
<b>APÊNDICE 3 – RESULTADOS DOS ARRANJOS POR REGIÕES GEOGRÁFICAS .....</b>		<b>914</b>
<b>1.</b>	<b>Região Sudeste .....</b>	<b>915</b>
1.1.	Cenários Prospectivos .....	915
1.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	918
1.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	931
<b>2.</b>	<b>Região Leste .....</b>	<b>941</b>
2.1.	Cenários Prospectivos .....	941
2.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	944
2.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	957
<b>3.</b>	<b>Região Norte .....</b>	<b>967</b>
3.1.	Cenários Prospectivos .....	967
3.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	970
3.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	983
<b>4.</b>	<b>Região Oeste .....</b>	<b>993</b>
4.1.	Cenários Prospectivos .....	993
4.2.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira .....	996
4.3.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1009
<b>APÊNDICE 4 – RESULTADOS PARA OS MUNICÍPIOS COM SOLUÇÕES INDIVIDUAIS. 1020</b>		

<b>1.</b>	<b>Município de Barueri.....</b>	<b>1021</b>
1.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1021
1.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1031
<b>2.</b>	<b>Município de Diadema .....</b>	<b>1039</b>
2.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1039
2.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1049
<b>3.</b>	<b>Município de Embu das Artes.....</b>	<b>1057</b>
3.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1057
3.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1067
<b>4.</b>	<b>Município de Itapecerica da Serra .....</b>	<b>1075</b>
4.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1075
4.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1085
<b>5.</b>	<b>Município de Itapevi .....</b>	<b>1093</b>
5.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1093
5.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1103
<b>6.</b>	<b>Município de Itaquaquecetuba .....</b>	<b>1110</b>
6.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1110
6.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1120
<b>7.</b>	<b>Município de Osasco .....</b>	<b>1128</b>
7.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1128
7.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1138
<b>8.</b>	<b>Município de São Paulo .....</b>	<b>1146</b>
8.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1146
8.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1156
<b>9.</b>	<b>Município de Suzano.....</b>	<b>1164</b>
9.1.	Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira.....	1164
9.2.	Análise Socioeconômica de Custo Benefício.....	1174

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de elaboração do PGIRS-AT.....	38
Figura 2: Rotas tecnológicas disponíveis para RSU nos 42 municípios do PGIRS-AT.....	54
Figura 3: Rotas tecnológicas disponíveis para RCC nos 42 municípios do PGIRS-AT.....	69
Figura 4: Layout de equipamentos da usina móvel RCC.....	77
Figura 5: Rotas tecnológicas disponíveis para RSS nos 42 municípios do PGIRS-AT.....	79
Figura 6: Pirâmides etárias dos 42 municípios do PGIRS-AT (homens em azul, mulheres em laranja) em 2022 e projeções para 2030, 2040 e 2050.....	102
Figura 7: Projeções demográficas para o Brasil (milhões de habitantes).....	108
Figura 8: Projeções demográficas para os municípios do PGIRS-AT (mil habitantes). ....	111
Figura 9: Projeções demográficas nos três cenários para municípios selecionados da área de estudo (Base 100 = 2022).....	113
Figura 10: Geração <i>per capita</i> de RSU (kg/hab/dia).....	129
Figura 11: Geração per capita RSU (t/dia).....	131
Figura 12: Cobertura da coleta de RSU (%). ....	132
Figura 13: Municípios com iniciativas de coleta seletiva (%). ....	132
Figura 14: Volume de resíduos coletados por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (t/dia). ....	135
Figura 15: População atendida com coleta, por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (mil habitantes). ....	137
Figura 16: Taxa de coleta de RSU <i>per capita</i> , por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (kg/hab/dia). ....	138
Figura 17: Volume de resíduos coletados, por porte municipal (t/dia). ....	139
Figura 18: População atendida com coleta, por porte municipal (mil habitantes).....	140
Figura 19: Taxa de coleta de RSU <i>per capita</i> , por porte municipal (kg/hab/dia).....	142
Figura 20: Recicláveis recuperados, por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (t/dia). ....	155
Figura 21: Recicláveis recuperados, por porte municipal (t/dia). ....	156
Figura 22: Gravimetria dos RSU por faixa de população na região de estudo (%). ....	158
Figura 23: Gravimetria dos recicláveis por faixa de população na área de estudo (%). ....	159

Figura 24: Cenários para a quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo. ....	166
Figura 25: Variações possíveis da geração de RSU e da taxa de geração <i>per capita</i> a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo. ....	167
Figura 26: Variações possíveis da recuperação de resíduos recicláveis a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo. ....	168
Figura 27: Fração do RSU total que é recuperado a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo e hiato para cumprimento da meta Planares para 2040. ....	169
Figura 28: Variações possíveis da recuperação de resíduos recicláveis a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo. ....	171
Figura 29: Gravimetria dos recicláveis por faixa de população na área de estudo com simulação do aumento do desvio por catadores autônomos (%). ....	172
Figura 30: Projeção da quantidade de RSU disponibilizada para a coleta formal nos municípios da região de estudo (mil t/ano). ....	173
Figura 31: Variações possíveis da geração total de RSU a partir da projeção populacional tendencial e da quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo (mil t/ano). ....	180
Figura 32: Estimativa de geração de RCC no horizonte de 20 anos. ....	211
Figura 33: Estimativa de geração de RSS (t/ano). ....	218
Figura 34: Áreas favoráveis para a disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos. ....	228
Figura 35: Zoneamento industrial estadual e zoneamentos industriais municipais. ....	232
Figura 36: Áreas favoráveis para unidades de destinação de resíduos. ....	234
Figura 37: Municípios potenciais para receber plantas regionais de destinação de resíduos. ....	240
Figura 38: Comparação entre os Consórcios existentes e o contorno das Microbacias da BHAT. ....	248
Figura 39: Proposta de arranjo por consórcios existentes. ....	250
Figura 40: Proposta de Micro Arranjos. ....	254
Figura 41: Proposta de arranjo por Regiões Geográficas. ....	258
Figura 42: Proposta de arranjo com Municípios Vizinhos. ....	262
Figura 43: Arranjos intermunicipais propostos. ....	266

Figura 44: Agentes envolvidos na gestão dos RCC. ....	285
Figura 45: Gerenciamento dos RCC para o pequeno gerador. ....	290
Figura 46: Gerenciamento dos RCC para o grande gerador. ....	291
Figura 47: Agentes envolvidos na gestão dos RSS. ....	293
Figura 48: RT Contrafactual (linha de base). ....	307
Figura 49: RT de melhorias na coleta seletiva (igual à atual). ....	311
Figura 50: RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. ....	312
Figura 51: RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão. ....	314
Figura 52: RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos. ....	315
Figura 53: RT com geração de CDR, sem biodigestão. ....	316
Figura 54: RT com geração de CDR, com biodigestão. ....	317
Figura 55: RT com gaseificação. ....	318
Figura 56: RT com incineração, sem biodigestão. ....	319
Figura 57: RT com incineração, com biodigestão. ....	320
Figura 58: Taxa de empregos por mil toneladas de RSU geradas. ....	332
Figura 59: Empregos diretos no setor de limpeza urbana. ....	333
Figura 60: Custos da prestação dos serviços na região Sudeste (R\$/hab/mês). ....	334
Figura 61: Custos da prestação dos serviços na região Sudeste (R\$/hab/mês). ....	335
Figura 62: Fluxo de RSS – Arranjo por Consórcios. ....	571
Figura 63: Fluxo de RSS – Arranjo por Microrregiões. ....	579
Figura 64: Fluxo de RSS – Arranjo por Regiões Geográficas. ....	585
Figura 65: Gráfico da relação entre população e custo incremental de cada Roto Tecnológica de destinação de RDO. ....	589
Figura 66: Valor financeiro da cadeia da reciclagem a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes da área de estudo (milhões de reais por ano). ....	606
Figura 67: Valor econômico da cadeia da reciclagem a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo (milhões de reais por ano). ....	607
Figura 68: Paradoxo do papel do catador autônomo atuante na área de estudo. ....	609
Figura 69: Valor da logística reversa obrigatória de embalagens pós-consumo a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo (milhões de reais por ano). ....	611

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diretrizes e Estratégias para RSU definidas no PLANARES. ....	41
Tabela 2: Desafios, oportunidades e cenários desejados para RSU definidos no PERS/SP. ....	45
Tabela 3: Metas e indicadores para RSU definidos no PLANARES comparados com a realidade dos municípios do PGIRS-AT. ....	47
Tabela 4: Diretrizes e Estratégias do PLANARES para RCC.....	48
Tabela 5: Metas e prazos para RCC no PLANARES e no PERS/SP.....	49
Tabela 6: Diretriz e Estratégias do PLANARES para RSS.....	51
Tabela 7: Metas do PLANARES para RSS.....	51
Tabela 8: Metas do PERS/SP para RSS.....	52
Tabela 9: Municípios do PGIRS-AT e rotas tecnológicas existentes.....	56
Tabela 10: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta indiferenciada.....	57
Tabela 11: Premissas, vantagens e desvantagens de transbordo de RSU. ....	58
Tabela 12: Premissas, vantagens e desvantagens de Aterro Sanitário.....	58
Tabela 13: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta de materiais recicláveis.....	59
Tabela 14: Premissas, vantagens e desvantagens de Ecoporto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV).....	60
Tabela 15: Premissas, vantagens e desvantagens de Triagem de Materiais Recicláveis. ....	60
Tabela 16: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta de resíduos orgânicos.....	61
Tabela 17: Premissas, vantagens e desvantagens da Compostagem.....	62
Tabela 18: Premissas, vantagens e desvantagens da Triagem Mecanizada dos Resíduos Mistos. ....	63
Tabela 19: Premissas, vantagens e desvantagens da Digestão Anaeróbia.....	64
Tabela 20: Premissas, vantagens e desvantagens do Combustível Derivado de Resíduos (CDR). ....	65
Tabela 21: Premissas, vantagens e desvantagens da Gaseificação.....	66
Tabela 22: Premissas, vantagens e desvantagens da Incineração.....	67
Tabela 23: Premissas, vantagens e desvantagens de Ecoporto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV).....	71
Tabela 24: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta agendada pública. ....	72
Tabela 25: Premissas, vantagens e desvantagens de transbordo de RCC. ....	73

Tabela 26: Premissas, vantagens e desvantagens da Área de Transbordo e Triagem.....	74
Tabela 27: Premissas, vantagens e desvantagens de Aterro de Inertes Classe A.....	75
Tabela 28: Premissas, vantagens e desvantagens de Usina de Reciclagem de Resíduos Classe A.....	76
Tabela 29: Comparação de Tecnologias para Tratamento de RSS.....	80
Tabela 30: Resultados de eventos futuros do PMP selecionados pela relação com RSU.....	85
Tabela 31: Projeções populacionais da Fundação SEADE.....	98
Tabela 32: População atual total dos municípios da área de estudo contra estimativas pré-censitárias.....	101
Tabela 33: Resultados e tendências da relação de habitantes por domicílio.....	105
Tabela 34: Projeções populacionais de curto prazo para a população total (2029).....	116
Tabela 35: Projeções populacionais de médio prazo para a população total (2034).....	117
Tabela 36: Projeções populacionais de longo prazo para a população total (2044).....	118
Tabela 37: Projeções para o grau de urbanização no cenário Tendencial (IBGE).....	122
Tabela 38: Projeções para a quantidade de domicílios particulares permanentemente ocupados.....	127
Tabela 39: Projeções de RSU disponibilizados para coleta (toneladas) no curto prazo (2029).....	176
Tabela 40: Projeções de RSU disponibilizados para coleta (toneladas) no médio prazo (2034).....	177
Tabela 41: Projeções de RSU disponibilizados para coleta (toneladas) no longo prazo (2044).....	178
Tabela 42: Simulações cenarizadas para os arranjos e para municípios com soluções individuais.....	186
Tabela 43: Cenários prospectivos para o município de Barueri.....	190
Tabela 44: Cenários prospectivos para o município de Diadema.....	192
Tabela 45: Cenários prospectivos para o município de Embu das Artes.....	194
Tabela 46: Cenários prospectivos para o município de Itapeverica da Serra.....	197
Tabela 47: Cenários prospectivos para o município de Itapevi.....	199
Tabela 48: Cenários prospectivos para o município de Itaquaquetuba.....	201
Tabela 49: Cenários prospectivos para o município de Osasco.....	203
Tabela 50: Cenários prospectivos para o município de São Paulo.....	206

Tabela 51: Cenários prospectivos para o município de Suzano. ....	208
Tabela 52: Comparação da estimativa de geração de RCC. ....	213
Tabela 53: Estimativa de geração de RCC Classe A, por município. ....	213
Tabela 54: Geração de RSS – per capita (kg/ano/hab). ....	216
Tabela 55: Comparação da estimativa de geração total de RSS. ....	217
Tabela 56: Estimativa da Geração RSS por grupo – Tendencial. ....	220
Tabela 57: Estimativa da Geração RSS por grupo – ONU+. ....	221
Tabela 58: Estimativa da Geração RSS por grupo – ONU-. ....	223
Tabela 59: Fundamentação legal das áreas com restrição para instalação de aterros sanitários. ....	226
Tabela 60: Fundamentação legal dos zoneamentos municipais. ....	231
Tabela 61: Distância entre municípios potenciais e municípios com cimenteiras. ....	237
Tabela 62: Relação de municípios com contrato de concessão e serviços concedidos. ....	242
Tabela 63: Proposta de arranjo por consórcios existentes. ....	251
Tabela 64: Proposta de Micro Arranjos. ....	255
Tabela 65: Proposta de arranjo por Regiões Geográficas. ....	259
Tabela 66: Proposta de Arranjo com os municípios vizinhos. ....	263
Tabela 67: Resumo dos Arranjos propostos. ....	267
Tabela 68: Projeções dos quantitativos de coleta e custos por arranjo para o ano de 2024. ....	268
Tabela 69: Responsabilidades dos consórcios e das prefeituras municipais na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. ....	281
Tabela 70: Responsabilidades de cada ator no âmbito municipal conforme a geração das tipologias de RSU. ....	283
Tabela 71: Agentes e responsabilidades na gestão dos RCC. ....	287
Tabela 72: Agentes e responsabilidades na gestão dos RSS. ....	294
Tabela 73: Diferença entre avaliações de viabilidade socioeconômica e financeira. ....	321
Tabela 74: Possíveis divergências entre resultados da avaliação socioeconômica e financeira. ....	325
Tabela 75: Aplicação da metodologia S.M.A.R.T. para a definição dos objetivos da análise socioeconômica das RT no Alto Tietê. ....	339
Tabela 76: Fatores de conversão utilizados para obtenção de preços sociais. ....	340
Tabela 77: Abertura de custos de instalação e operação da triagem manual. ....	341

Tabela 78: Abertura de custos de instalação e operação da triagem mecanizada. ....	342
Tabela 79: Abertura de custos de instalação e operação de CDR. ....	342
Tabela 80: Abertura de custos de instalação e operação da biodigestão. ....	342
Tabela 81: Abertura de custos de instalação e operação da gaseificação.....	343
Tabela 82: Abertura de custos de instalação e operação da incineração. ....	343
Tabela 83: Efeitos positivos da recuperação de materiais recicláveis.....	346
Tabela 84: Benefícios unitários da redução do custo de insumos de produção. ....	348
Tabela 85: Benefícios unitários da redução consumo de energia na produção.....	351
Tabela 86: Benefícios unitários da redução consumo de água na produção.....	352
Tabela 87: Demanda unitária de área de produção e área com custo de oportunidade. ....	355
Tabela 88: Benefícios unitários econômicos da redução da pressão por desmatamento.....	357
Tabela 89: Parâmetros de emissões de poluentes locais por tecnologia.....	373
Tabela 90: Custo econômico da externalidade de emissões de poluentes atmosféricos locais. .....	374
Tabela 91: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CIMBAJU. ....	390
Tabela 92: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CIOESTE.....	397
Tabela 93: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CONISUD....	404
Tabela 94: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos. ....	411
Tabela 95: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	418
Tabela 96: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio Grande ABC. .....	425
Tabela 97: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONISUD 1.....	432
Tabela 98: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONISUD 2.....	439
Tabela 99: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONDEMAT 1....	446
Tabela 100: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONDEMAT 2. ....	453
Tabela 101: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo ABC. ....	460
Tabela 102: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Sudeste. ....	467
Tabela 103: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Leste.....	474
Tabela 104: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Norte.....	481
Tabela 105: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Oeste.....	488

Tabela 106: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Barueri.....	495
Tabela 107: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Diadema. ....	501
Tabela 108: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Embu das Artes. .....	507
Tabela 109: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Itapeçerica da Serra. .....	513
Tabela 110: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Itapevi.....	519
Tabela 111: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Itaquaquecetuba. .....	525
Tabela 112: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Osasco.....	532
Tabela 113: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de São Paulo. ....	539
Tabela 114: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Suzano.....	545
Tabela 115: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores. ....	548
Tabela 116: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CIMBAJU.....	552
Tabela 117: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CIOESTE.....	552
Tabela 118: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CONISUD.....	553
Tabela 119: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio GRANDE ABC.....	553
Tabela 120: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CONDEMAT.....	554
Tabela 121: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONISUD 1.....	556
Tabela 122: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONISUD 2.....	556
Tabela 123: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo PEQUENO ABC.....	557
Tabela 124: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONDEMAT 1.....	557
Tabela 125: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONDEMAT 2.....	558

Tabela 126: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região NORTE. .....	560
Tabela 127: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região OESTE. .....	560
Tabela 128: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região SUDESTE. .....	561
Tabela 129: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região LESTE. .....	562
Tabela 130: Levantamento da capacidade de tratamento de RSS instalada. ....	564
Tabela 131: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CIMBAJU. ....	566
Tabela 132: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CIOESTE. ....	566
Tabela 133: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CONISUD. ....	567
Tabela 134: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CONDEMAT. ....	568
Tabela 135: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio ABC. ....	569
Tabela 136: Comparação Demanda x Capacidade Instalada. ....	570
Tabela 137: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CIMBAJU. ....	573
Tabela 138: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CIOESTE. ....	573
Tabela 139: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONISUD 1. ....	574
Tabela 140: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONISUD 2. ....	575
Tabela 141: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONDEMAT 1. ....	576
Tabela 142: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONDEMAT 2. ....	577
Tabela 143: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Pequeno ABC. ....	578
Tabela 144: Comparação Demanda x Capacidade Instalada – Micro Arranjos. ....	578
Tabela 145: Estruturas dos arranjos intermunicipais – SUDESTE. ....	581
Tabela 146: Estruturas dos arranjos intermunicipais – LESTE. ....	581
Tabela 147: Estruturas dos arranjos intermunicipais – NORTE. ....	582
Tabela 148: Estruturas dos arranjos intermunicipais – OESTE. ....	583
Tabela 149: Comparação Demanda x Capacidade Instalada – Arranjo por Regiões Geográficas. .....	584
Tabela 150: Resultado Incremental (R\$/hab/ano) de cada rota tecnológica no manejo de RDO para cada Arranjo Intermunicipal. ....	588

Tabela 151: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região SUDESTE. .....	592
Tabela 152: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região LESTE. 592	
Tabela 153: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região OESTE. .....	592
Tabela 154: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região NORTE. .....	593
Tabela 155: Comparativo entre o custo incremental das Soluções Individuais e dos Consórcios correspondentes. ....	595
Tabela 156: Resultados da coleta seletiva ofertado pelas prefeituras nos municípios.....	598
Tabela 157: Responsabilidades pelo resíduo reciclável. ....	600
Tabela 158: Estimativa de faturamento mensal do catador autônomo médio na área de estudo. .....	603
Tabela 159: Estimativas de recuperação de materiais recicláveis considerando os catadores informais nos 42 municípios. ....	605
Tabela 160: Metas do PLANARES para a região Sudeste.....	613
Tabela 161: Metas para o Programa Regional de Reciclagem.....	614
Tabela 162: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CIMBAJU.....	629
Tabela 163: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.....	633
Tabela 164: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.....	634
Tabela 165: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU. ....	638
Tabela 166: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU..	640
Tabela 167: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.....	641
Tabela 168: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodegradação, do arranjo Consórcio CIMBAJU.....	642
Tabela 169: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CIMBAJU..	644
Tabela 170: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU. .....	647
Tabela 171: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU. ....	648
Tabela 172: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU. .....	649
Tabela 173: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.....	651

Tabela 174: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIMBAJU.....	652
Tabela 175: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU. ....	653
Tabela 176: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CIOESTE.....	656
Tabela 177: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	659
Tabela 178: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	661
Tabela 179: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	665
Tabela 180: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIOESTE. ..	667
Tabela 181: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	668
Tabela 182: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIOESTE.....	669
Tabela 183: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CIOESTE. ..	671
Tabela 184: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE. 673	
Tabela 185: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	674
Tabela 186: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE. ....	675
Tabela 187: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	677
Tabela 188: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIOESTE.....	678
Tabela 189: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.....	679
Tabela 190: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CONISUD.....	682
Tabela 191: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CONISUD.....	686
Tabela 192: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONISUD.....	687
Tabela 193: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CONISUD.....	691
Tabela 194: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONISUD. 692	
Tabela 195: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CONISUD. ....	694
Tabela 196: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONISUD.....	695
Tabela 197: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CONISUD. 697	

Tabela 198: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CONISUD. ....	699
Tabela 199: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CONISUD....	700
Tabela 200: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CONISUD. ....	701
Tabela 201: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CONISUD.....	703
Tabela 202: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONISUD.....	704
Tabela 203: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CONISUD. ....	706
Tabela 204: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CONDEMAT. ....	708
Tabela 205: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). ....	712
Tabela 206: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). ....	713
Tabela 207: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). ....	717
Tabela 208: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). ....	718
Tabela 209: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). ....	720
Tabela 210: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). ....	721
Tabela 211: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos. ....	723
Tabela 212: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos. ....	725
Tabela 213: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos. ....	726
Tabela 214: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos. ....	727
Tabela 215: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.....	729
Tabela 216: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.....	730

Tabela 217: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos. ....	732
Tabela 218: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	734
Tabela 219: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	736
Tabela 220: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	740
Tabela 221: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	741
Tabela 222: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	743
Tabela 223: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	744
Tabela 224: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	746
Tabela 225: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	748
Tabela 226: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	749
Tabela 227: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	750
Tabela 228: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	752
Tabela 229: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	753
Tabela 230: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos. ....	754
Tabela 231: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio ABC. ....	757
Tabela 232: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio ABC. ....	761
Tabela 233: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio ABC. ....	762
Tabela 234: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio ABC. ....	766
Tabela 235: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio ABC. ....	767
Tabela 236: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio ABC. ....	769

Tabela 237: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio ABC.....	770
Tabela 238: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio ABC.....	772
Tabela 239: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio ABC. ....	774
Tabela 240: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio ABC. ....	775
Tabela 241: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio ABC. ....	776
Tabela 242: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio ABC.....	778
Tabela 243: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio ABC.....	779
Tabela 244: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio ABC.....	780
Tabela 245: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONISUD 1. ....	784
Tabela 246: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONISUD 1. ....	787
Tabela 247: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT micro arranjo CONISUD 1.....	789
Tabela 248: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONISUD 1. ....	793
Tabela 249: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONISUD 1.....	794
Tabela 250: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONISUD 1. ....	796
Tabela 251: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 1.....	797
Tabela 252: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONISUD 1. ....	799
Tabela 253: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONISUD 1..	801
Tabela 254: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONISUD 1.....	802
Tabela 255: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONISUD 1.	804
Tabela 256: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONISUD 1.....	806
Tabela 257: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 1.....	807
Tabela 258: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONISUD 1. ....	808
Tabela 259: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONISUD 2. ....	811
Tabela 260: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	815
Tabela 261: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	816
Tabela 262: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	820

Tabela 263: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONISUD 2.....	821
Tabela 264: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	823
Tabela 265: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 2.....	824
Tabela 266: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	826
Tabela 267: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONISUD 2..	828
Tabela 268: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	829
Tabela 269: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONISUD 2.	830
Tabela 270: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONISUD 2.....	832
Tabela 271: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 2.....	833
Tabela 272: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONISUD 2. ....	835
Tabela 273: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONDEMAT 1. ....	837
Tabela 274: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONDEMAT 1. ....	841
Tabela 275: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.....	842
Tabela 276: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONDEMAT 1. ....	846
Tabela 277: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.	847
Tabela 278: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONDEMAT 1. ....	849
Tabela 279: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 1.....	850
Tabela 280: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONDEMAT 1.	852
Tabela 281: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1. ....	854
Tabela 282: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1....	855
Tabela 283: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1. ....	856
Tabela 284: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1.....	858
Tabela 285: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 1.....	859
Tabela 286: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1. ....	861
Tabela 287: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONDEMAT 2. ....	863

Tabela 288: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	867
Tabela 289: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	868
Tabela 290: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	872
Tabela 291: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	874
Tabela 292: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	875
Tabela 293: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	876
Tabela 294: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	878
Tabela 295: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	880
Tabela 296: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	881
Tabela 297: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	883
Tabela 298: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	884
Tabela 299: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	886
Tabela 300: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2. ....	887
Tabela 301: Cenários prospectivos para o micro arranjo Pequeno ABC. ....	889
Tabela 302: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo ABC. ....	893
Tabela 303: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo ABC. ....	894
Tabela 304: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo ABC. ....	898
Tabela 305: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo ABC. ....	900
Tabela 306: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo ABC. ....	901
Tabela 307: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo ABC. ....	903
Tabela 308: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo ABC. ....	905
Tabela 309: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo ABC. ....	906
Tabela 310: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo ABC. ....	907
Tabela 311: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo ABC. ....	909
Tabela 312: Custos sociais nas RT do micro arranjo ABC. ....	910

Tabela 313: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo ABC.....	912
Tabela 314: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo ABC. ....	913
Tabela 315: Cenários prospectivos para o arranjo regional Sudeste.....	916
Tabela 316: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Sudeste.....	920
Tabela 317: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Sudeste. ....	921
Tabela 318: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Sudeste.....	925
Tabela 319: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Sudeste.....	927
Tabela 320: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Sudeste.....	928
Tabela 321: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Sudeste.....	929
Tabela 322: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Sudeste.....	931
Tabela 323: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Sudeste. ....	933
Tabela 324: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Sudeste. ....	934
Tabela 325: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Sudeste. .	936
Tabela 326: Custos sociais nas RT do arranjo regional Sudeste.....	937
Tabela 327: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Sudeste.....	939
Tabela 328: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Sudeste.....	940
Tabela 329: Cenários prospectivos para o arranjo regional Leste. ....	942
Tabela 330: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Leste. ....	945
Tabela 331: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Leste.....	947
Tabela 332: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Leste. ....	951
Tabela 333: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Leste.....	953
Tabela 334: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Leste. ....	954
Tabela 335: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Leste.....	956
Tabela 336: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Leste. ....	957
Tabela 337: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Leste.....	959
Tabela 338: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Leste.....	961

Tabela 339: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Leste.....	962
Tabela 340: Custos sociais nas RT do arranjo regional Leste.....	963
Tabela 341: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Leste.....	965
Tabela 342: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Leste. ....	966
Tabela 343: Cenários prospectivos para o arranjo regional Norte. ....	968
Tabela 344: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Norte.....	972
Tabela 345: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Norte.....	973
Tabela 346: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Norte.....	977
Tabela 347: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Norte. ....	979
Tabela 348: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Norte. ....	980
Tabela 349: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Norte. ....	982
Tabela 350: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Norte.....	983
Tabela 351: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Norte.....	985
Tabela 352: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Norte.....	986
Tabela 353: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Norte.....	988
Tabela 354: Custos sociais nas RT do arranjo regional Norte. ....	989
Tabela 355: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Norte. ....	991
Tabela 356: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Norte.....	992
Tabela 357: Cenários prospectivos para o arranjo regional Oeste.....	994
Tabela 358: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Oeste.....	998
Tabela 359: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Oeste.....	999
Tabela 360: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Oeste.....	1003
Tabela 361: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Oeste. ....	1005
Tabela 362: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Oeste. ....	1006
Tabela 363: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Oeste. ....	1008
Tabela 364: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Oeste.....	1010

Tabela 365: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Oeste.....	1012
Tabela 366: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Oeste.....	1013
Tabela 367: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Oeste.....	1014
Tabela 368: Custos sociais nas RT do arranjo regional Oeste. ....	1016
Tabela 369: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Oeste. ....	1017
Tabela 370: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Oeste.....	1019
Tabela 371: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Barueri. ....	1022
Tabela 372: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Barueri.....	1023
Tabela 373: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Barueri. ....	1027
Tabela 374: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Barueri. ....	1029
Tabela 375: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Barueri. ....	1030
Tabela 376: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Barueri. ....	1032
Tabela 377: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Barueri. ....	1033
Tabela 378: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Barueri. ....	1035
Tabela 379: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Barueri. ....	1036
Tabela 380: Custos sociais nas RT da solução individual de Barueri.....	1038
Tabela 381: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Diadema.....	1040
Tabela 382: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Diadema.....	1041
Tabela 383: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Diadema. ....	1045
Tabela 384: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Diadema. ....	1047
Tabela 385: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Diadema. ....	1048
Tabela 386: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Diadema. ....	1050

Tabela 387: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Diadema.	1051
Tabela 388: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Diadema.	1053
Tabela 389: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Diadema.	1054
Tabela 390: Custos sociais nas RT da solução individual de Diadema.	1056
Tabela 391: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Embu das Artes.	1058
Tabela 392: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Embu das Artes.	1059
Tabela 393: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Embu das Artes.	1063
Tabela 394: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Embu das Artes.	1065
Tabela 395: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Embu das Artes.	1066
Tabela 396: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Embu das Artes.	1068
Tabela 397: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Embu das Artes.	1069
Tabela 398: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Embu das Artes.	1071
Tabela 399: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Embu das Artes.	1072
Tabela 400: Custos sociais nas RT da solução individual de Embu das Artes.	1074
Tabela 401: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Itapecerica da Serra.	1076
Tabela 402: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias RT da solução individual de Itapecerica da Serra.	1077
Tabela 403: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Itapecerica da Serra.	1081
Tabela 404: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Itapecerica da Serra.	1083

Tabela 405: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Itapecerica da Serra.....	1084
Tabela 406: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Itapecerica da Serra. ....	1086
Tabela 407: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Itapecerica da Serra. ....	1088
Tabela 408: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Itapecerica da Serra.....	1089
Tabela 409: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Itapecerica da Serra. ....	1090
Tabela 410: Custos sociais nas RT da solução individual de Itapecerica da Serra. ....	1092
Tabela 411: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Itapevi.....	1094
Tabela 412: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Itapevi. ....	1095
Tabela 413: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Itapevi.....	1099
Tabela 414: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Itapevi. ....	1100
Tabela 415: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Itapevi..	1102
Tabela 416: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Itapevi. ....	1103
Tabela 417: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Itapevi. ....	1105
Tabela 418: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Itapevi..	1106
Tabela 419: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Itapevi. ....	1107
Tabela 420: Custos sociais nas RT da solução individual de Itapevi. ....	1109
Tabela 421: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Itaquaquetuba. ....	1111
Tabela 422: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1112
Tabela 423: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Itaquaquetuba. ....	1116
Tabela 424: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1118

Tabela 425: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1119
Tabela 426: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1121
Tabela 427: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1122
Tabela 428: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1124
Tabela 429: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1125
Tabela 430: Custos sociais nas RT da solução individual de Itaquaquetuba.....	1127
Tabela 431: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Osasco.....	1129
Tabela 432: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Osasco.....	1130
Tabela 433: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Osasco.....	1134
Tabela 434: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Osasco.....	1136
Tabela 435: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Osasco.....	1137
Tabela 436: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Osasco.....	1139
Tabela 437: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Osasco.....	1140
Tabela 438: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Osasco.....	1142
Tabela 439: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Osasco.....	1143
Tabela 440: Custos sociais nas RT da solução individual de Osasco.....	1144
Tabela 441: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de São Paulo.....	1147
Tabela 442: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de São Paulo.....	1148
Tabela 443: Resultados para as despesas das RT da solução individual de São Paulo.....	1152
Tabela 444: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de São Paulo.....	1154

Tabela 445: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de São Paulo. .....	1155
Tabela 446: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de São Paulo. .....	1157
Tabela 447: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de São Paulo. .....	1159
Tabela 448: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de São Paulo. .....	1160
Tabela 449: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de São Paulo. .....	1161
Tabela 450: Custos sociais nas RT da solução individual de São Paulo.....	1163
Tabela 451: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Suzano.....	1165
Tabela 452: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Suzano. ....	1166
Tabela 453: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Suzano.....	1170
Tabela 454: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Suzano. .....	1171
Tabela 455: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Suzano.	1173
Tabela 456: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Suzano. .....	1174
Tabela 457: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Suzano. .....	1176
Tabela 458: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Suzano.	1177
Tabela 459: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Suzano. .....	1178
Tabela 460: Custos sociais nas RT da solução individual de Suzano. ....	1180

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABIPLAST</b>	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>ACB</b>	Análise de Custo-benefício
<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
<b>ARSESP</b>	Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Estado de São Paulo
<b>ATT</b>	Área de Transbordo e Triagem
<b>BHAT</b>	Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
<b>CadÚnico</b>	Cadastro Único
<b>CAK</b>	Curva Ambiental de Kuznets
<b>CAPEX</b>	Custos de Investimento
<b>CBH-AT</b>	Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
<b>CCR</b>	Certificados de Crédito de Reciclagem
<b>CDR</b>	Combustível Derivado de Resíduos
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>CF</b>	Constituição Federal
<b>CIMBAJU</b>	Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Bacia do Juqueri
<b>CIOESTE</b>	Consórcio Intermunicipal da Região Oeste
<b>CISB</b>	Comitê Interestadual de Saneamento Básico
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>CONDEMAT</b>	Consórcio de Desenvolvimento dos Municípios do Alto Tietê
<b>CONISUD</b>	Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo
<b>Consórcio Grande ABC</b>	Consórcio Intermunicipal Grande ABC
<b>ERSAR</b>	Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal
<b>FABHAT</b>	Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
<b>FEHIDRO</b>	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
<b>IBAMA</b>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IGPM</b>	Índice Geral de Preços a Mercado
<b>IPEA</b>	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
<b>IPTU</b>	Imposto Predial e Territorial Urbano
<b>IQR</b>	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
<b>LDO</b>	Lei de Diretrizes Orçamentárias
<b>LOA</b>	Lei Orçamentária Anual
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
<b>MTR</b>	Manifesto de Transporte
<b>MW</b>	Megawatt
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>NMSB</b>	Novo Marco Legal do Saneamento Básico
<b>NRT</b>	Novas Rotas Tecnológicas
<b>ODS</b>	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>OPEX</b>	Custos de Operação e de Manutenção
<b>PAM</b>	Plano de Ação da Macrometrópole Paulista
<b>PBHAT</b>	Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
<b>PMP</b>	Plano Macrometrópole Paulista
<b>PDUJ</b>	Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado
<b>PERS/SP</b>	Plano Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo
<b>PEVs</b>	Pontos de Entrega Voluntária
<b>PGIRS-AT</b>	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
<b>PLANARES</b>	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PMSB-SP</b>	Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PPA</b>	Plano Plurianual
<b>RCC</b>	Resíduos de Construção Civil
<b>RDO</b>	Resíduos Domiciliares
<b>RFV</b>	Reforma da Fiscalidade Verde

<b>RMSP</b>	Região Metropolitana de São Paulo
<b>ROIC</b>	Retorno sobre Capital Investido
<b>RSS</b>	Resíduos Sólidos dos Serviços de Saúde
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>RT</b>	Rota Tecnológica
<b>SEMIL</b>	Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo
<b>SIGOR</b>	Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos
<b>SINIR</b>	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
<b>TCM</b>	Tribunal de Contas do Município de São Paulo
<b>TGC</b>	Taxa Geométrica de Crescimento
<b>TGR</b>	Taxa de Gestão de Resíduos
<b>TM</b>	Tratamento Mecânico
<b>TMB</b>	Tratamento Mecânico Biológico
<b>TER</b>	Taxa de Retorno Econômica
<b>TSD</b>	Taxa Social de Desconto
<b>URAES</b>	Unidades Regionais de Serviços de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário
<b>VAB</b>	Valor Adicionado Bruto
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido
<b>VSPL</b>	Valor Social Presente Líquido
<b>WARM</b>	<i>Waste Reduction Model</i>
<b>ZEI</b>	Zona de Uso Estritamente Industrial
<b>ZUPI-1</b>	Zona de Uso Predominantemente Industrial

## 1. INTRODUÇÃO

Considerando os impactos dos resíduos sólidos nos recursos hídricos da BHAT e o arcabouço legal, a Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (FABHAT), por meio do Processo Licitatório nº 002/2022, tornou público aos interessados a seleção de propostas, na modalidade Concorrência, do tipo Técnica e Preço, para a contratação de consultoria especializada para elaborar, de forma participativa, o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (PGIRS-AT).

Após os trâmites licitatórios, a EnvEx Engenharia e Consultoria Ltda. foi declarada vencedora, celebrando o Contrato nº 001/2023 com a FABHAT em 27 de janeiro de 2023, com a emissão da Ordem de Serviços em 06 de fevereiro de 2023.

Para a elaboração do PGIRS-AT serão realizadas oito etapas, as quais são ilustradas na Figura 1.



**Figura 1: Etapas de elaboração do PGIRS-AT.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2023).

O Produto 5 – Prognóstico para a Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos contempla a definição de áreas potencialmente favoráveis para o tratamento e a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos, de critérios de agregação de municípios para a identificação de arranjos, e a proposição de alternativas institucionais e tecnológicas para o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos na área de estudo.

## 2. PREMISSAS DO ESTUDO

De forma a subsidiar as definições do prognóstico do PGIRS-AT foram levantadas as diretrizes e metas já fixadas em outros Planos que afetam o planejamento de ações para Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Resíduos da Construção Civil (RCC) e Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS).

### 2.1. Planejamentos Existentes

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) e o Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (PERS/SP) definem diretrizes e metas para a gestão de resíduos sólidos no território nacional e estadual, respectivamente. A definição das ações e das rotas tecnológicas para destinação de resíduos do PGIRS-AT devem buscar o alcance dos objetivos e metas estabelecidas nestes planos.

#### 2.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

No PLANARES foram estabelecidas 13 diretrizes para resíduos sólidos urbanos a serem implementadas a partir de 72 estratégias, tendo como objetivos principais a eliminação e a recuperação de lixões e aterros controlados, a redução da quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, a promoção da inclusão social, emancipação econômica e geração de renda, o aumento da reciclagem dos resíduos sólidos e o aumento do aproveitamento energético de resíduos sólidos. A Tabela 1 apresenta os eixos principais, as diretrizes e as estratégias para RSU.

No âmbito estadual, o PERS/SP apresenta os desafios, as oportunidades e os cenários desejados para resíduos sólidos urbanos e para coleta seletiva no ano de 2035, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 1: Diretrizes e Estratégias para RSU definidas no PLANARES.

Eixo	Diretrizes	Estratégias
Eliminação e recuperação de lixões e aterros controlados	Eliminar os lixões e aterros controlados e promover a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos e a recuperação de áreas contaminadas pela disposição inadequada, conforme Leis Federais nº 6.938/1981, nº 9.605/1998 e nº 12.305/2010	Vedar, após vencimento dos prazos estabelecidos no marco legal do saneamento, o repasse de recursos voluntários a municípios que encaminhem resíduos sólidos para disposição final em lixões e aterros controlados
		Definir orientações técnicas e procedimentos para encerramento de lixões e aterros controlados e recuperação de áreas contaminadas pela disposição inadequada
Realizar levantamento e mapeamento de lixões e aterros controlados, incluindo a necessidade de investimentos para recuperação		
Disponibilizar e facilitar acesso a recursos para o encerramento de lixões e aterros controlados, com prioridade para municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento, instituídas por lei complementar, em áreas de especial interesse turístico, bem como para soluções consorciadas		
Fomentar assistência técnica para a elaboração de projetos de engenharia, processo licitatório e gestão técnica, orçamentária e financeira nos processos de encerramento de lixões e aterros controlados e recuperação de áreas contaminadas pela disposição inadequada		
Promover mecanismos para formalização, capacitação e assistência técnica aos catadores de materiais recicláveis com atuação em lixões e aterros controlados		
	Universalizar a cobertura dos serviços de coleta de RSU	Estimular a inovação em novos arranjos logísticos e estruturais para expansão dos serviços de coleta de RSU, investindo em pesquisa e mediante cooperação técnica
Redução da quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada	Reduzir a geração de resíduos sólidos urbanos e aumentar a reutilização de produtos	Incentivar o uso de produtos alternativos aos de uso único que já possuam soluções viáveis e disponíveis no mercado
		Mapear limitações e entraves de ordem técnica, econômica, tributária e legal para inserção no mercado e expansão do uso de produtos reutilizáveis
		Incentivar abordagens de ciclo de vida para segmentos específicos de produtos, bem como sistematizar e manter base de dados, a fim de estimular estudos técnicos, respeitando o sigilo industrial
		Estabelecer medidas para combater a obsolescência programada de produtos
		Incentivar a inserção de critérios ambientais nas licitações públicas, orientando, quando viável técnica e economicamente, a aquisição de produtos reutilizáveis
		Estimular a redução do consumo de produtos de uso único quando existirem soluções alternativas econômica e tecnicamente viáveis aos mesmos
		Estimular os municípios a adotarem medidas que promovam a redução da geração de resíduos sólidos, como por exemplo, por meio de cobrança diferenciada
		Priorizar, no acesso a recursos federais, os municípios que estabelecerem, em lei municipal, a condição de grande gerador de resíduos sólidos como responsável pelo gerenciamento e custeio do manejo dos resíduos gerados, de forma independente do sistema de limpeza urbana
	Incentivar a criação de bancos de alimentos para evitar o desperdício e reduzir a geração de resíduos orgânicos	
	Reduzir a geração de resíduos e a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada	Estimular a promoção da educação ambiental por meio de ações, campanhas e projetos que envolvam as instituições públicas e privadas, o setor educacional, a sociedade civil e o setor empresarial, visando à conscientização sobre a importância do consumo sustentável, descarte consciente e coleta seletiva, como formas de redução dos impactos ambientais
Estimular o fortalecimento da gestão ambiental nos municípios a partir de capacitação técnica de servidores e gestores públicos para, por meio da educação ambiental, serem agentes multiplicadores nos diversos aspectos da gestão de resíduos sólidos e da formação da cidadania ambiental		

Eixo	Diretrizes	Estratégias
		<p>Estimular municípios e consórcios a realizarem concessões com critérios de desempenho e medição dos contratos com base no desvio de massa dos aterros sanitários</p> <p>Articular com estados o estabelecimento de limites regionalizados de capacidade e áreas prioritárias para novas unidades de disposição final, com declaração dessas informações no SINIR</p> <p>Estimular a incorporação dos princípios de economia circular nos processos de design, produção e comércio</p> <p>Destinar e facilitar acesso a recursos para implantação de unidades de tratamento mecânico e biológico, prioritariamente em consórcios públicos municipais, em municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico</p> <p>Fomentar pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e sistemas que visem o desvio de RSU da disposição final</p> <p>Incentivar municípios a adotar cobrança diferenciada para a massa de RSU encaminhada para disposição final, visando o aumento de competitividade de outras soluções de destinação final ambientalmente adequadas</p>
Promoção da inclusão social, emancipação econômica e geração de renda	<p>Qualificar, fortalecer e formalizar a prestação de serviços por associações e cooperativas de catadores</p> <p>Aumentar a participação de cooperativas e associações de catadores no manejo de resíduos sólidos urbanos</p>	<p>Incentivar os municípios a manterem cadastro atualizado no SNIS de catadores de materiais recicláveis organizados em cooperativas e associações</p> <p>Realizar ações voltadas à emancipação econômica e geração de renda para catadores</p> <p>Incentivar a capacitação para a formalização de associações e cooperativas de catadores com vistas à sua emancipação econômica</p> <p>Estimular a articulação em rede das cooperativas e associações de catadores</p> <p>Incentivar modelos de contratação de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis</p> <p>Desenvolver, em parceria com organizações dedicadas ao empreendedorismo, competitividade e desenvolvimento econômico, ações de capacitação em gestão de negócios, com o objetivo de incentivar a formalização, profissionalizar e melhorar a gestão das associações e cooperativas de catadores</p> <p>Incentivar a formalização de cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis</p> <p>Fomentar a realização de projetos, instalação e operação de unidades de triagem com participação de associações e cooperativas de catadores</p> <p>Incentivar a celebração de contrato entre as associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis e os municípios e indústrias de reciclagem</p>
Aumento da reciclagem dos resíduos sólidos	<p>Estimular o mercado da reciclagem, de produtos recicláveis e/ou compostáveis e priorizar o uso dessas matérias primas</p> <p>Expandir e consolidar a coleta seletiva de resíduos secos e orgânicos</p>	<p>Mapear limitações e entraves de ordem técnica, econômica, tributária, jurídica e legal para ampliação do conteúdo reciclado na fabricação de produtos no território nacional</p> <p>Instituir tratamento tributário e fiscal diferenciado com redução ou isenção, bem como soluções para evitar a bitributação, visando o estímulo à fabricação de produtos a partir de materiais recicláveis</p> <p>Instituir mecanismos para desincentivar, quando técnica e economicamente viável, produtos que utilizem materiais não-recicláveis em sua composição, ou que em sua condição final de descarte, não sejam reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis</p> <p>Orientar a disponibilização de informação padronizada acerca da reciclabilidade, conteúdo reciclado, descarte adequado e logística reversa, caso aplicável, dos produtos colocados no mercado</p> <p>Incentivar estados e municípios a realizar ações de valorização de resíduos orgânicos</p> <p>Instituir comunicação social continuada, como ferramenta para estimular a segregação adequada de resíduos na fonte geradora</p> <p>Estimular o estabelecimento de programas e ações por estados e municípios para descarte de resíduos com segregação prévia</p>

Eixo	Diretrizes	Estratégias
		Apoiar a estruturação gradativa de coleta seletiva em sistemas containerizados com três frações, considerando resíduos orgânicos, resíduos secos e rejeitos
		Promover capacitação para estados, consórcios e municípios sobre estratégias para implementação de coleta seletiva, com mecanismos legais, econômicos, técnicos e de comunicação
		Incentivar a instituição de sistemas de separação na fonte dos resíduos gerados como condição no processo de licenciamento ambiental municipal e estadual
		Apoiar a estruturação de sistema de coleta seletiva em consórcios e municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento, instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico
		Capacitar e auxiliar municípios na identificação de modelo de coleta seletiva pertinente às suas características, evitando modelos técnica e economicamente ineficientes para a realidade local
	Valorizar e aumentar a reciclagem dos resíduos secos	Fomentar, junto ao setor produtivo, a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica para expansão de unidades recicladoras para os materiais da fração seca de resíduos sólidos
		Fomentar, junto ao setor de gestão de resíduos, a realização de estudos de viabilidade de unidades de triagem mecanizada, expansão e modernização de unidades de triagem existentes ou novas centrais de triagem para consórcios públicos, unidades regionalizadas e arranjos compartilhados.
		Destinar e facilitar acesso a recursos para a implantação de unidades de triagem mecanizada, com prioridade para municípios e consórcios com, no mínimo, 100 mil habitantes
		Incentivar os municípios e estados a incluir unidades de triagem de resíduos, preferencialmente as mecanizadas, como condição para o licenciamento de unidades de disposição final e para a renovação de contratos de prestação de serviços
	Valorizar e aumentar a recuperação dos resíduos orgânicos	Estruturar ações para recuperação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos como fração a ser desviada da disposição final
		Estimular programas municipais focados na segregação na fonte da fração orgânica dos RSU, principalmente junto a grandes geradores
		Estimular ações que se integrem ao Programa Cidades+Verdes, de forma a ampliar a utilização de composto nas áreas verdes urbanas (parques, praças, jardins, hortos, agricultura urbana, dentre outros)
		Capacitar e apoiar municípios a implementar projetos de compostagem e digestão anaeróbia de resíduos orgânicos oriundos de grandes geradores como supermercados, sacolões, feiras livres, restaurantes, hotéis e similares, incluindo projetos para obtenção de biogás e biometano
		Elaborar guias práticos com orientações técnicas para a implantação de unidades de compostagem e de biodigestão anaeróbia em municípios com população inferior a 50.000 habitantes e em municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento, instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico
		Incentivar procedimento simplificado para a instalação de unidades de compostagem
		Incentivar procedimento simplificado para a instalação de unidades de biodigestão anaeróbia de pequeno porte
		Fomentar o uso de fertilizante orgânico, composto ou organomineral, produzido a partir de resíduos sólidos urbanos
	Estruturar o mercado de aproveitamento energético de RSU	Mapear limitações e entraves de ordem técnica, econômica, tributária, jurídica e legal para expansão da recuperação energética de RSU no território nacional e articular soluções junto aos estados, consórcios, municípios e setor privado

Eixo	Diretrizes	Estratégias
energético de resíduos sólidos		Mapear limitações e entraves de ordem técnica, econômica, tributária, jurídica e legal para expansão do uso de biogás e biometano a partir de RSU em território nacional e articular soluções junto aos estados, consórcios, municípios e setor privado
		Incentivar a produção e utilização de Combustível Derivado de Resíduos (CDR)
		Estabelecer, na matriz energética do país, a energia gerada a partir dos RSU como fonte permanente e específica
	Aumentar o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos	Articular com o Ministério de Minas e Energia ações para implantação de condições iniciais diferenciadas para a energia elétrica gerada a partir de resíduos sólidos urbanos
		Articular com estados e municípios para tornar obrigatório, nos processos de licenciamento ambiental, a implantação de sistemas de captação e, quando técnica e economicamente viável, o aproveitamento energético do biogás nos novos aterros sanitários
		Estimular o uso veicular de biometano na frota de caminhões de coleta de resíduos sólidos e de transporte de carga, bem como em tratores agrícolas e em ônibus nas cidades, integrando a gestão de resíduos à melhoria da mobilidade urbana, por meio de medidas legais, tributárias e econômicas
		Desenvolver, em parceria com a iniciativa privada, estudos de viabilidade técnica, ambiental e econômica de unidades para aproveitamento energético de RSU em municípios e consórcios com mais de 100 mil habitantes, e municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento, instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico
		Fomentar a produção de biometano e incentivar o incremento da oferta de gás a ser injetado na rede de distribuição, conforme normas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)

Fonte: Adaptado de PLANARES (2020).

Tabela 2: Desafios, oportunidades e cenários desejados para RSU definidos no PERS/SP.

Tema	Desafios	Oportunidades	Cenário Desejado 2035
<b>Gestão e gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos</b>	Melhoria no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos	Orientação, avaliação, monitoramento e fiscalização contínua do gerenciamento dos resíduos sólidos junto aos municípios Adoção de novas rotas tecnológicas	Gestão e gerenciamento dos RSU aprimorados, prioritariamente por meio de soluções regionalizadas, observando a ordem de prioridade prevista na PNRS: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos
	Redução da quantidade de resíduos dispostos em aterros	Aprimoramento da gestão e gerenciamento dos RS em nível local e regional	
		Mudanças nos padrões de produção e consumo	
		Ampliação da consciência ambiental da população	
		Ampliação da coleta seletiva	
		Expansão da logística reversa	
	Aumento da capacidade instalada dos sistemas de tratamento de RSU no estado		
Ampliação da consciência da população sobre consumo e descarte correto de RS	Fortalecimento da educação ambiental e da comunicação no estado		
Aumento da capacidade instalada dos sistemas de tratamento de RS	Iniciativas de regionalização para a gestão de resíduos sólidos visando ganho de escala, que possibilite a implantação dos sistemas regionais de tratamento		
	Possibilitar a participação das empresas públicas e privadas na implantação de soluções regionalizadas		
	Sustentabilidade econômico-financeira das gestões municipais e/ou regionais de resíduos sólidos		
<b>Coleta Seletiva</b>	Carência de informações sobre a coleta seletiva e o mercado da reciclagem	Aumento do número de municípios com Programas Municipais de Coleta Seletiva	Aprimoramento da gestão dos resíduos sólidos recicláveis (aumento da reciclagem e redução da disposição final dos resíduos recicláveis) com a inclusão social de catadores
	Redução da quantidade de resíduos recicláveis dispostos em aterros sanitários	Aumento da abrangência/cobertura da coleta seletiva na área urbana dos municípios	
		Melhoria da infraestrutura da coleta seletiva nos municípios	
		Melhoria da eficiência da segregação dos materiais recicláveis nas fontes geradoras e redução da quantidade de rejeitos encaminhados para a coleta seletiva	
		Elaboração de Programas Municipais de Educação Ambiental para a Gestão de Resíduos Sólidos, visando a sensibilização e engajamento da população	
		Expansão dos Sistemas de Logística Reversa de embalagens	
	Aumento da reciclagem dos resíduos coletados seletivamente	Fortalecimento das entidades de catadores de materiais recicláveis/incentivo e apoio à formalização e estruturação das entidades	
		Inclusão (social) dos catadores de materiais recicláveis em sistemas de coleta seletiva municipais e sistemas de logística reversa	
		Instalação de centrais de triagem mecanizadas em outras regiões metropolitanas, além das existentes na capital	
		Maior articulação entre os setores envolvidos na cadeia da reciclagem	
Realização de estudo gravimétrico da coleta seletiva, com vistas a auxiliar a proposição de diretrizes e políticas públicas de fomento e regulação de mercado dos materiais recicláveis			
Elaboração de políticas públicas de incentivo fiscal/econômico à reciclagem, em especial para os materiais que possuem baixo valor de mercado, como o vidro, por exemplo, com a desoneração da cadeia da reciclagem			

Fonte: PERS/SP, 2020.

Além das diretrizes e estratégias, o PLANARES contempla 9 metas específicas para RSU a serem auferidas a partir de 19 indicadores. As metas foram definidas por região geográfica e para o Brasil. A Tabela 3 apresenta as metas para a região Sudeste, ilustrando também um comparativo com a realidade encontrada para os 42 municípios no Diagnóstico do PGIRS-AT. A realidade atual dos municípios do PGIRS-AT foi calculada a partir dos dados levantados no diagnóstico, considerando o universo dos 42 municípios estudados, por exemplo: dentre os 42 municípios apenas 67% deles realiza cobrança pelo manejo de resíduos sólidos.

Quanto ao alcance das metas do PLANARES, na região de estudo 95% dos municípios possuem planejamento para resíduos sólidos, superando a meta estabelecida para 2024 que é de 62,9%; o mesmo ocorre para municípios integrantes de consórcios onde a realidade é de 88% e a meta para 2024 é de 51,4%. As metas relacionadas com a eliminação da disposição inadequada também já foram atendidas, atualmente nenhum município da região destina RSU em lixões ou aterros controlados; a cobertura da coleta de RSU chega a 99% e da coleta seletiva de recicláveis 64%, superando a meta para 2024. Esta realidade de metas já atendidas referem-se às metas para o ano de 2024, porém ainda existe necessidade de avanço para atendimento das metas futuras (2032 e 2040).

No PERS/SP, as metas estabelecidas para RSU, referem-se a ações a serem executadas pelo Estado para apoiar os municípios no desenvolvimento da gestão, no aprimoramento dos serviços e na ampliação do monitoramento e fiscalização. Como, por exemplo: promover o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas (NRT) para o tratamento de resíduos sólidos urbanos (fração seca e orgânica) com abrangência regional; promover o aprimoramento da coleta seletiva nos municípios paulistas; promover o desenvolvimento da cadeia da reciclagem no Estado de São Paulo; entre outros.

Tabela 3: Metas e indicadores para RSU definidos no PLANARES comparados com a realidade dos municípios do PGIRS-AT.

Meta	Indicador	Meta 2024	Realidade dos municípios do PGIRS-AT	Meta 2032	Meta 2040
Aumentar a sustentabilidade econômico-financeira do manejo de resíduos pelos municípios	Percentual dos municípios que cobram pelos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos por instrumento de remuneração específica	100%	67%	100%	100%
	Percentual dos municípios com equilíbrio financeiro no custeio dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos	8%	4,8%	28,3%	99,4%
Aumentar a capacidade de gestão dos municípios	Percentual dos municípios com planos intermunicipais, microrregionais ou municipais de gestão de resíduos	62,9%	95%	100%	100%
	Percentual dos municípios integrantes de consórcios públicos para a gestão de RSU	51,4%	88%	68,4%	91,1%
Eliminar práticas de disposição final inadequada e encerrar lixões e aterros controlados	Quantidade de lixões e aterros controlados que ainda recebem resíduos	0%	0%	0%	0%
	Percentual de cobertura de coleta de RSU	98%	99%	100%	100%
	Quantidade de municípios que dispõem inadequadamente em lixão ou aterro controlado	0%	0%	0%	0%
	Percentual da massa total com disposição final inadequada	0%	0%	0%	0%
Reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada	Percentual da massa total recuperada	14,3%	SI*	39,1%	63,9%
Promover a inclusão social e emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.	Percentual dos municípios com presença de catadores com contrato formalizado de prestação de serviços de manejo de materiais recicláveis por cooperativas e associações de catadores.	28,4%	43%	61,7%	95%
Aumentar a recuperação da fração seca dos RSU	Percentual de recuperação de materiais recicláveis	6,6%	0,96%	16,2%	28,7%
	Percentual da população total com acesso à sistemas de coleta seletiva de resíduos secos	51,8%	64%	70,9%	90%
	Percentual de embalagens em geral recuperadas pelo sistema de logística reversa	12%	SI*	16%	20%
Aumentar a reciclagem da fração orgânica dos RSU	Percentual da massa total destinada para tratamento biológico	3,6%	SI*	10,8%	18,1%
	Percentual dos municípios com iniciativas de valorização de resíduos orgânicos	25%	23,8%	75%	100%
Aumentar a recuperação e aproveitamento energético de biogás de RSU	Percentual do biogás gerado pela fração orgânica do RSU aproveitado energeticamente	16,8%	SI*	26,4%	63,4%
	Potência instalada (em MW) a partir de biogás de aterro sanitário	99	43,3**	209	257
	Potência instalada (em MW) em unidades de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos	12	0	38	69
Aumentar a recuperação e aproveitamento energético por meio de tratamento térmico de RSU	Potência instalada (em MW) em unidades de tratamento térmico de RSU	311	0	626	994

Fonte: Adaptado de PLANARES (2022). \* SI (sem Informação); \*\*Foram identificadas as potências instaladas para geração de energia a partir do biogás em 4 aterro sanitários utilizados pelos municípios do PGIRS-AT.

Atualmente, no ano de 2024, o Governo do Estado lançou o Programa Integra Resíduos, que tem por objetivo auxiliar os municípios para melhoria na gestão de resíduos, desde a coleta até a disposição, e para o alcance às metas do PLANARES a partir da ação direta do Estado.

O Programa prevê a elaboração dos Planos Regionais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para os arranjos existentes ou interessados, a modelagem jurídica para a prestação regionalizada, a modelagem técnica e econômico-financeira. Para tanto, os municípios ou consórcios de municípios precisam fazer a adesão ao programa, etapa que ainda se encontra em andamento. O Integra Resíduos potencializará o desenvolvimento das ações regionalizadas.

### 2.1.2. Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCC)

O PLANARES estabeleceu duas diretrizes para gestão de resíduos da construção civil: eliminar as áreas de disposição final inadequada de RCC e aumentar a reciclagem de RCC. A Tabela 4 apresenta as diretrizes e estratégias estabelecidas no PLANARES para gestão de RCC.

Tabela 4: Diretrizes e Estratégias do PLANARES para RCC.

Diretrizes	Estratégias
Eliminar as áreas de disposição final inadequada de RCC	Criar linhas de financiamento específicas para o setor público e privado para a recuperação de áreas degradadas pela disposição inadequada de RCC
	Disponibilizar, por meio do MTR/SINIR, relatório específico sobre a movimentação de RCC com vistas ao cumprimento do arcabouço legal e normativo
	Desenvolver capacitação técnica para a gestão adequada e beneficiamento do RCC
	Orientar os setores público e privado na construção de áreas de destinação final adequada de RCC
	Definir orientações técnicas e procedimentos para elaboração e cumprimento de planos de encerramento de aterros de RCC Classe A e para a recuperação de áreas de disposição final inadequada de RCC

Diretrizes	Estratégias
Aumentar a Reciclagem de RCC	Incentivar os municípios a adotarem definições para grandes geradores de RCC, visando facilitar a sua identificação e a fiscalização para o cumprimento de suas responsabilidades
	Incentivar os municípios a implantarem ecopontos e ecocentros para recebimento de pequenas quantidades de RCC e resíduos volumosos domiciliares, evitando a criação de pontos de disposição inadequada
	Incentivar o uso de RCC ou de material reciclado a partir de RCC em obras públicas e privadas financiadas com recursos públicos
	Criar instrumentos econômicos e disponibilizar linhas de financiamento para aquisição de equipamentos e sistemas voltados à redução da geração e ao aproveitamento de RCC
	Fomentar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico para ampliação dos processos de reutilização e reciclagem de RCC

Fonte: Adaptado de PLANARES (2022).

Na Tabela 5 estão apresentadas as metas de longo prazo previstas para os RCC, em nível federal, pelo PLANARES e em nível estadual pelo PERS/SP.

Tabela 5: Metas e prazos para RCC no PLANARES e no PERS/SP.

Plano	Metas	Prazo
PLANARES	Aumentar a reciclagem de RCC em 25%	2040
PERS/SP	Promover a inserção de critérios para minimização da geração de RCC e para uso do RCC reciclado em projetos de obras públicas	2035
	Mais de 40 municípios com SIGOR e MTR implantados	
	Soluções regionais visando a produção e uso de RCC reciclados	
	Capacitar os municípios na elaboração e revisão do PGRCC	
	Firmar termo de compromisso com o setor da construção civil para elaboração de projeto que minimize a geração de RCC em obras privadas	
Promover ações de apoio aos municípios ou arranjos regionais para eliminação de disposições irregulares de RCC		

Fonte: Adaptado de PLANARES (2022).

Comparando-se as metas estabelecidas com as informações levantadas durante o diagnóstico de RCC na região de estudo, verifica-se que o gerenciamento adequado dos RCC ainda é um desafio para os municípios e maiores esforços e investimentos

serão necessários para que os resultados tenham impactos mais significativos no cumprimento das metas relacionadas aos RCC.

A partir dos dados populacionais de 2022, foi estimado que o total de RCC gerado pelos municípios da área de estudo seja de, aproximadamente, 10.846.657 t/ano. Apesar de 100% dos municípios que compõe o PGIRS-AT possuírem serviço de coleta pública de RCC para pequenos volumes, seja por meio de pontos de entrega voluntária (PEVs), também chamados de ecopontos, ou por meio da coleta agendada, não existem registros adequados da quantidade de RCC coletada pelo poder público. Da mesma forma não foi possível identificar a quantidade de RCC gerada pelos grandes geradores, cuja responsabilidade é do próprio gerador, que deve contratar serviços de transporte e coleta autorizados para destinação adequada dos RCC, uma vez a grande maioria dos municípios ainda não utiliza um sistema para gerenciamento destas informações.

Sem o controle e caracterização adequados da geração de RCC, mais difícil fica para os municípios gerirem estes resíduos e encontrar soluções viáveis e adequadas, o que compromete, em longo prazo, o cumprimento das metas para RCC.

Já com relação à destinação dos RCC, 52% dos municípios do PGIRS-AT não apresentaram qualquer informação sobre o tipo de destinação adotada e até o período do diagnóstico, somente São Bernardo do Campo e Santo André utilizam o módulo de gestão dos RCC no SIGOR. Esta baixa adesão ao SIGOR por parte dos municípios, também pode comprometer em longo prazo o cumprimento da meta relacionada.

### 2.1.3. Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS)

O PLANARES apresenta como desafios para os RSS, além de uma maior fiscalização e conscientização das unidades geradoras sobre a necessidade de um gerenciamento diferenciado para os materiais infectantes, de forma a garantir a redução da periculosidade, novos procedimentos para a destinação final

ambientalmente adequada dos mesmos, com a aplicação da ordem de prioridade de ações previstas no art. 9º da PNRS, com vistas à ampliação da recuperação dos materiais.

Como diretriz, no âmbito da política nacional, cita-se, assegurar o tratamento e reduzir a periculosidade dos RSS, definindo 3 estratégias para alcance deste objetivo conforme apontado na Tabela 6.

Tabela 6: Diretriz e Estratégias do PLANARES para RSS.

Diretriz	Estratégias
Assegurar o tratamento e reduzir a periculosidade dos RSS	Apoiar os estados e municípios na criação de sistemas de fiscalização dos serviços de coleta, tratamento e disposição final dos RSS
	Disponibilizar, por meio do MTR/SINIR, relatório específico sobre a movimentação de RSS, com vistas ao cumprimento do arcabouço legal e normativo
	Criar linhas de financiamento específicas para setor público e privado para o desenvolvimento tecnológico de opções de acondicionamento e sistemas de tratamento, bem como para reduzir a periculosidade dos RSS

Fonte: Adaptado de PLANARES (2022), PERS/SP (2020).

A Tabela 7 apresenta a meta definida no âmbito federal para os resíduos de serviços de saúde.

Tabela 7: Metas do PLANARES para RSS.

Meta	Indicador Global 1	Prazos
		2024
Aumentar a destinação final ambientalmente adequada dos RSS	Percentual de municípios que destinam adequadamente os RSS a sistemas licenciados	100%

Fonte: PLANARES (2022), PERS/SP (2020).

Em relação ao objetivo estabelecido pelo PLANARES, visando que 100% dos municípios promovam a destinação final dos RSS de maneira ambientalmente

adequada, em unidades licenciadas, observou-se que, nos municípios do PGIRS-AT, em 30 deles, essa meta pode ser considerada como atendida, uma vez que eles direcionam seus resíduos para sistemas licenciados ambientalmente. Entretanto, nos demais municípios, não foi possível identificar o procedimento ou destino aplicado aos resíduos gerados nos estabelecimentos de saúde.

No âmbito do Estado, o PERS/SP apresenta como principais desafios para RSS: aperfeiçoar as boas práticas do gerenciamento dos RSS, minimizando os riscos à saúde pública e ao meio ambiente, inerentes às características desses resíduos; como oportunidades de melhorias: a normatização dos procedimentos relativos à containerização<sup>1</sup> e a rastreabilidade dos RSS.

A Tabela 8, descreve as metas estabelecidas quanto a gestão dos RSS no âmbito do Estado de São Paulo.

Tabela 8: Metas do PERS/SP para RSS.

Meta	Prazos		
	2025 (curto prazo)	2030 (médio prazo)	2035 (longo prazo)
Regular os procedimentos relativos à containerização dos RSS	Realizar estudo técnico e econômico para subsidiar a regulamentação da containerização Regulamentação de containerização pública	-	-
Criar um sistema de rastreabilidade dos RSS	Criação do sistema de rastreabilidade RSS	80% dos serviços de saúde de grande porte inseridos	50% dos serviços de saúde de médio e pequeno porte inseridos

Fonte: Adaptado de PERS/SP (2020).

<sup>1</sup> Containerização: procedimentos, rotinas e especificações para a coleta externa (armazenamento, transporte, transbordo e demais instalações de apoio) dos RSS, de forma que a mesma ocorra com mais segurança e eficiência. Como por exemplo: o gerador dispõe os resíduos em contêineres (específicos, identificados) e o responsável pela coleta, nesta ocasião, deixa um contêiner vazio e leva o que estava com o resíduo, sem a necessidade de manusear os resíduos no local.

Fonte: PERS/SP (SEMIL, 2020).

O PERS/SP, ressalta que todas as etapas relacionadas a logística do manejo dos RSS, referente a parcela dos perigosos, devem levar em conta as características do sistema de acondicionamento e contenção dessa fração dos resíduos. Os sacos plásticos usados no acondicionamento dos RSS biológicos, em função de suas propriedades, não oferecem a resistência mecânica necessária para assegurar a integridade durante as etapas de transporte e armazenagem dos resíduos. Em função dessa insegurança, a proposição do uso de contêineres no acondicionamento dos RSS visa estabelecer a proteção mecânica da embalagem inicial e ainda disponibilizar uma medida fundamental de segurança no manejo desses resíduos, proporcionando proteção à saúde pública, principalmente dos trabalhadores e do meio ambiente. Até o momento, não foi identificado nenhuma atualização oficial sobre a regulamentação de containerização pública no âmbito do estado.

Quanto a rastreabilidade, cabe ao gerador de RSS, a responsabilidade de emitir o manifesto de transporte, utilizando a plataforma do SIGOR, disponibilizada pela CETESB. Entretanto, apesar da meta relacionada a criação de um sistema de rastreabilidade para essa tipologia de resíduos, ainda não há previsão de um módulo específico para RSS.

Com relação a fiscalização dos geradores de RSS, durante a etapa de diagnóstico do PGIRS-AT, 18 municípios reportaram a existência de atividades de fiscalização direcionadas aos geradores de RSS, enquanto 11 municípios indicaram não ter estabelecido, ainda, quaisquer procedimentos para tal fim. Os municípios restantes não forneceram informações a respeito.

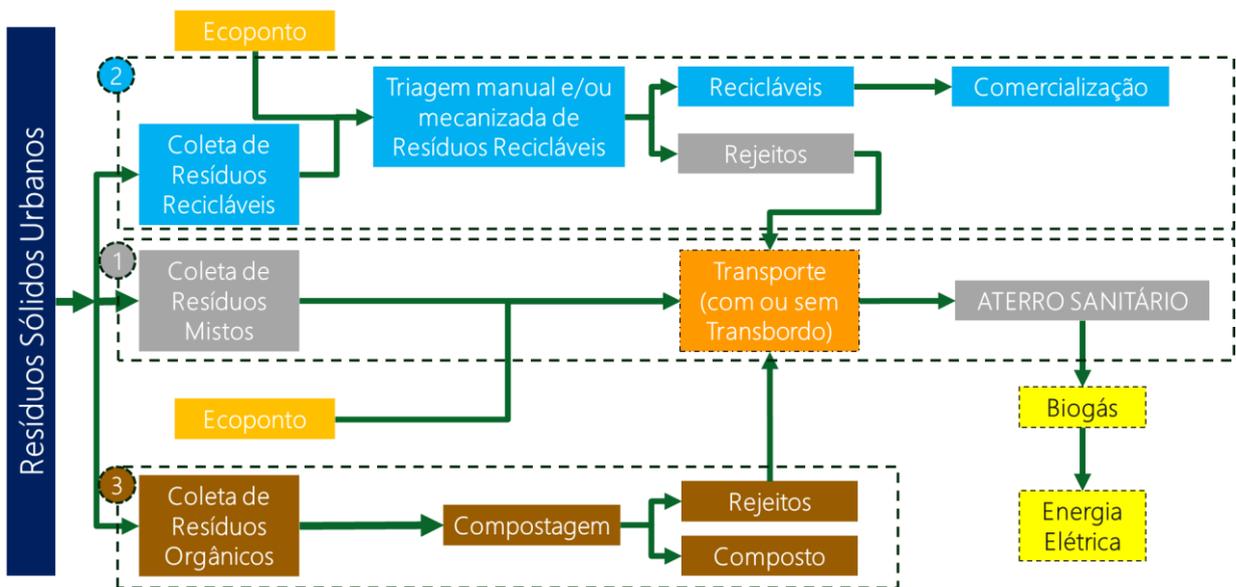
## 2.2. Rotas Tecnológicas Existentes

De acordo com a FADE/UFPE (2014) a rota tecnológica é um conjunto de processos, tecnologias e fluxos dos resíduos desde a sua geração até a sua disposição final, iniciando pela coleta, passando ou não pelo tratamento dos resíduos, até chegar ao aterro sanitário. No aterro, ainda é possível ter aproveitamento do biogás para geração de energia ou ainda comercialização do biometano como combustível.

Os Subcapítulos 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3 detalham as rotas tecnológicas existentes para resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos da construção civil e resíduos sólidos de serviços de saúde.

### 2.2.1. Rotas Tecnológicas para RSU

Nos 42 municípios alvo deste PGIRS-AT existem poucas variações nas rotas tecnológicas utilizadas para RSU, a Figura 2 indica as três rotas tecnológicas existentes nesses municípios.



**Figura 2: Rotas tecnológicas disponíveis para RSU nos 42 municípios do PGIRS-AT.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A respeito da Figura 2 são feitas as seguintes considerações:



- **Rota Tecnológica 1**

- Não são todos os municípios que possuem transbordo de RSU;
- Não são todos os aterros que possuem aproveitamento do biogás;
- Não são todos os municípios que possuem ecoponto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV);
- Não são todos os PEVs existentes que possuem caçamba para RSU.

- **Rota Tecnológica 2**

- Não são todos os municípios que possuem ecoponto/PEV;
- Apenas o município de São Paulo possui triagem mecanizada de resíduos recicláveis.

- **Rota Tecnológica 3**

- A coleta de resíduos orgânicos refere-se a coletas em locais específicos de grande geração de orgânicos, como as feiras livres. Nenhum município realiza coleta de orgânicos para população em geral;
- Os pátios de compostagem existentes recebem principalmente aos resíduos verdes dos serviços públicos municipais e resíduos orgânicos de feiras livres.

Assim, com base no exposto, abaixo na Tabela 9, são apresentadas quais são as rotas tecnológicas utilizadas por cada um dos 42 municípios.

Tabela 9: Municípios do PGIRS-AT e rotas tecnológicas existentes.

Município	Rota Tecnológica 1 Resíduos mistos	Rota Tecnológica 2 Resíduos recicláveis	Rota Tecnológica 3 Resíduos orgânicos
Arujá	✓	✓ + PEV	✗
Barueri	✓	✓	✗
Biritiba-Mirim	✓	✓	✗
Caieiras	✓	PEV	✗
Cajamar	✓	✗	✗
Carapicuíba	✓	✗	✗
Cotia	✓	PEV	✗
Diadema	✓	PEV	✗
Embu das Artes	✓	✓ + PEV	✗
Embu-Guaçu	✓	✗	✗
Ferraz de Vasconcelos	✓	✗	✗
Francisco Morato	✓	✗	✗
Franco da Rocha	✓	✗	✗
Guararema	✓	✓	✓
Guarulhos	✓ + PEV	✓ + PEV	✓
Itapecerica da Serra	✓	✓ + PEV	✗
Itapevi	✓	✓	✗
Itaquaquecetuba	✓	✗	✗
Jandira	✓	✗	✗
Juquitiba	✓	✓ + PEV	✗
Mairiporã	✓	PEV	✗
Mauá	✓	✓ PEV	✗
Mogi das Cruzes	✓	✓ + PEV	✗
Nazaré Paulista	✓	✗	✗
Osasco	✓	✓ + PEV	✗
Paraibuna	✓	✗	✗
Pirapora do Bom Jesus	✓	✗	✗
Poá	✓	✓ + PEV	✗
Ribeirão Pires	✓	✓ + PEV	✗
Rio Grande da Serra	✓	✗	✓
Salesópolis	✓	✓ + PEV	✗
Santa Isabel	✓	✓	✓
Santana de Parnaíba	✓	✓ + PEV	✗
Santo André	✓ + PEV	✓ + PEV	✓
São Bernardo do Campo	✓ + PEV	✓ + PEV	✓
São Caetano do Sul	✓ + PEV	✓ + PEV	✗
São Lourenço da Serra	✓	✓	✗
São Paulo	✓ + PEV	✓ + PEV	✓
São Roque	✓	✓	✓
Suzano	✓	✓	✗
Taboão da Serra	✓	✓ + PEV	✗
Vargem Grande Paulista	✓	✓	✓

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Cada tecnologia e processo utilizado em cada uma das rotas tem suas respectivas premissas de utilização, vantagens e desvantagens. Assim, a seguir serão dispostos tais detalhamentos a respeito de cada uma das três rotas tecnológicas existentes nos 42 municípios. As Tabelas Tabela 10 Tabela 11 Tabela 12 são referentes à rota tecnológica 1.

*Tabela 10: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta indiferenciada.*

Coleta Indiferenciada (resíduos mistos)	
Premissas	Organização de rotas e frequências que consiga atender a demanda de cada região do município.
	Necessidade de educação ambiental contínua.
Vantagens	Redução de áreas de descarte irregular.
	Opção prática e eficiente para garantir maior limpeza pública.
Desvantagens	Custos elevados e necessidade de grande quantidade de mão de obra.
	Necessidade de manutenção frequente nos caminhões e substituição de veículos.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Tabela 11: Premissas, vantagens e desvantagens de transbordo de RSU.

Transbordo	
Premissas	Ter distância mínima de 30 km da disposição final.
	Ser ambientalmente licenciado para comportar a carga diária.
Vantagens	O caminhão de coleta não necessita ir até a disposição final e pode voltar mais rápido para realização das coletas.
Desvantagens	-

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&amp;REINFRA (2021).

Tabela 12: Premissas, vantagens e desvantagens de Aterro Sanitário.

Aterro Sanitário	
Premissas	Para se cumprir o que determina a PNRS, antes de encaminhar os resíduos sólidos ao aterro sanitário, deve-se primeiramente reciclá-los, tratá-los e/ou reutilizá-los, visando prolongar sua vida útil. Devem ser enviados para o aterro sanitário apenas rejeitos.
	Os resíduos que podem ser dispostos nos aterros sanitários são aqueles considerados não perigosos, ou seja, resíduos Classe IIA e Classe IIB.
	Aproveitamento de biogás tem maior viabilidade em aterros que possuem uma capacidade mínima de 300 t/dia, gerando de 0,1 a 0,2 MWh/t de RSU.
Vantagens	O aterro é recomendado em todas as rotas tecnológicas a serem consideradas pelos gestores, independentemente do porte do município.
	Possibilidade de se utilizar áreas já degradadas por outras atividades (ex: área utilizada como pedreira etc.).
	Possibilidade de receber e acomodar rapidamente quantidades variáveis de resíduos.
	Recebimento de resíduos de diversas naturezas (classe IIA e IIB).
	Adaptável a comunidades grandes ou pequenas.
	Apresentação de menores custos de investimento e operação que outras tecnologias.
	Utilização de equipamentos e máquinas usadas em serviços de terraplanagem, não requerendo pessoal altamente especializado.
Possibilidade de aproveitamento energético do biogás.	



<b>Desvantagens</b>	Necessidade de grandes áreas para aterro, muitas vezes, longe da área urbana, acarretando despesas adicionais com transporte.
	Geração de maus odores.
	Geração de poeiras.
	Alteração da estética da paisagem e diminuição do valor comercial da terra.
	Necessidade de tratamento do percolado/lixiviado.
	Período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos.
	Controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Nas próximas Tabelas (Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15) são apresentadas as premissas, vantagens e desvantagens da rota tecnológica 2.

*Tabela 13: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta de materiais recicláveis.*

<b>Coleta de materiais recicláveis</b>	
<b>Premissas</b>	Necessidade educação ambiental contínua.
	Deve ser estruturada a triagem (manual ou mecanizada) que suporte o volume de material coletado, com a eficiência que justifique a existência dessas estruturas, com baixa geração de rejeitos.
	Estabelecimento contratual com cooperativa/associação ou concessionária para administrar os serviços de coleta e/ou triagem.
	Necessidade de fluxos diferentes em relação à coleta indiferenciada.
<b>Vantagens</b>	Recuperação de fração reciclável do RSU.
	Geração de emprego e renda.
	Aumento da vida útil dos aterros sanitários.
<b>Desvantagens</b>	Custo por tonelada coletado é alto.
	Custos mais elevados para atender a área rural (logística).

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Tabela 14: Premissas, vantagens e desvantagens de Ecoporto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV).

Ecoporto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV)	
Premissas	Disponibilidade de espaços públicos nos bairros
	Disponibilização de armazenamento temporário de resíduos diversos no mesmo ponto, relacionados aos principais problemas do local, como RCC, volumosos, logística reversa, madeiras etc.
	Deve ser dimensionado, adequadamente, conforme o raio de cobertura da população impactada.
	Deve ter controle de entrada e saída por tipo de material.
	Deve ter segurança e orientação contínua aos moradores.
	Demanda de orientações e organização do espaço contínuos.
Vantagens	Aproxima dos moradores uma solução de descarte correto de resíduos especiais.
	Apoia a redução de pontos de descarte irregular, principalmente em áreas críticas.
	Aumenta o nível de separação de resíduos.
	Aumenta a chance de aproveitamento de resíduos.
	Custo reduzido em comparação com a coleta porta a porta.
Desvantagens	Necessidade de segurança e manutenção para operação do ecoporto.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Tabela 15: Premissas, vantagens e desvantagens de Triagem de Materiais Recicláveis.

Triagem de Materiais Recicláveis	
Premissas	A adoção de coleta indiferenciada ou diferenciada é fator determinante para a especificação do tipo de triagem a ser empregada.
	As unidades de triagem manual são adotadas em municípios onde a geração dos resíduos é pequena, entre 5 e 10 t/dia, resultando em baixos índices de produtividade e de recuperação de materiais.
Vantagens	Preservação de recursos naturais, economia de energia, geração de trabalho e renda e conscientização da população para as questões ambientais.
	Contribui diretamente para a melhoria do saneamento básico e indiretamente para a redução do consumo de matéria-prima e da poluição ambiental na produção do material secundário.

	Redução do uso de recursos naturais e insumos nos processos industriais.
<b>Desvantagens</b>	Os gastos decorrentes da implantação, operação e manutenção podem ser superiores às receitas auferidas com a venda do material beneficiado, caso não haja gestão adequada.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

A Tabela 16 e a Tabela 17 trazem as premissas, vantagens e desvantagens da rota tecnológica 3.

*Tabela 16: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta de resíduos orgânicos.*

<b>Coleta de resíduos orgânicos</b>	
<b>Premissas</b>	Coletar de geradores exclusivos de resíduos orgânicos, em que não há necessidade de triagem do resíduo.
<b>Vantagens</b>	Redução do descarte de resíduos aproveitáveis em aterro sanitário.
	Possibilita a produção de composto orgânico.
	Aumento da vida útil do aterro sanitário.
	Redução da emissão de metano.
<b>Desvantagens</b>	Alto custo.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Tabela 17: Premissas, vantagens e desvantagens da Compostagem.

Compostagem	
Premissas	Implantação de sistema de drenagem de líquidos, bem como a canalização do lixiviado produzido pelas leiras, ao longo do processo de degradação, para um sistema de tratamento.
	A compostagem em leiras com reviramento manual ou mecânico, é recomendada para unidades com capacidade de processamento de até 100t/dia.
	O método natural seria recomendado para uma população de até 150.000 habitantes. O método acelerado é recomendado para unidades com processamento superior a 100 t/dia e população superior a 300.000 habitantes.
Vantagens	Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos.
	Promove o aproveitamento agrícola da matéria orgânica pelo uso de composto orgânico no solo.
	Os rejeitos podem ser dispostos nos aterros sanitários, reduzindo os problemas relativos à formação de gases e lixiviados, visto que são materiais biologicamente estabilizados.
	Exige pouca mão de obra especializada.
	Quando bem operadas, as unidades de compostagem não causam poluição atmosférica ou hídrica.
	Geração de renda com a comercialização do composto, caso exista mercado.
Desvantagens	Requer uma separação eficiente de resíduos e um tempo de processamento que pode chegar a seis meses.
	Necessita de mercado para revender o composto.
	Quando mal operada, os líquidos e gases gerados na unidade de compostagem, podem contaminar o meio ambiente e comprometer a qualidade de vida.
	Requer área relativamente grande para operação das leiras para maturação dos resíduos.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&amp;REINFRA (2021).

Além das rotas atualmente utilizadas nos 42 municípios, existem outras tecnologias que serão abordadas na projeção das novas rotas tecnológicas propostas neste PGIRS-AT. Sendo assim, a seguir serão indicadas as premissas, vantagens e desvantagens das tecnologias de destinação de resíduos que serão propostas nas novas rotas. Nas Tabelas Tabela 18, Tabela 19 Tabela 20, são detalhadas as seguintes

tecnologias, respectivamente: Triagem Mecanizada de Resíduos Mistos; Digestão Anaeróbia; Combustível Derivado de Resíduos (CDR), Incineração e Gaseificação.

Iniciando pela triagem mecanizada dos resíduos mistos, a qual é caracterizada por um conjunto de máquinas que realizam a separação de diversos tipos de resíduos, conforme o material. A Tabela 18 contém as respectivas premissas, vantagens e desvantagens dessa tecnologia.

Tabela 18: Premissas, vantagens e desvantagens da Triagem Mecanizada dos Resíduos Mistos.

Triagem Mecanizada dos Resíduos Mistos	
Premissas	Resíduos volumosos devem ser retirados em etapa anterior aos separadores mecânicos e automáticos.
	Os tipos de separação mecânica devem ser estipulados conforme a gravimetria do resíduo.
	Viável a partir de municípios acima de 250 mil habitantes.
Vantagens	Recuperação de materiais recicláveis.
	Redução de resíduos que vão para disposição final em aterro, aumentando a vida útil do aterro sanitário.
	Maior agilidade e eficiência na separação dos resíduos pela atuação mecânica automatizada.
Desvantagens	Ainda é necessária separação manual, elevando os custos e reduzindo a eficiência do processo.
	Alto custo.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

A triagem mecanizada possibilita separar a fração orgânica para realizar o tratamento biológico por meio da digestão anaeróbia, a qual é um processo de conversão de matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio, gerando biogás e o digestato, massa que ainda precisa de estabilização para ser utilizada ou que é descartada direto em aterro sanitário (FADE/UFPE, 2014). A Tabela 19 traz mais detalhes a respeito dessa tecnologia.

Tabela 19: Premissas, vantagens e desvantagens da Digestão Anaeróbia.

Digestão Anaeróbia	
Premissas	A maioria dos sistemas requer pré-tratamento dos resíduos para se obter uma massa homogênea, com triagem dos materiais não biodegradáveis e trituração.
	A viabilidade econômica relacionada aos processos de Digestão Anaeróbia pode ser alcançada a partir da redução dos custos de disposição em aterro sanitário.
	Considera-se que seu emprego seria viável apenas em municípios com população superior a 100.000 habitantes.
	Em seu processamento tem-se a geração de produtos valorizáveis: biogás (energia e calor) e composto orgânico.
Vantagens	Aumento da vida útil dos aterros sanitários.
	Redução da fração orgânica dos RSU, responsável pelos odores desagradáveis e geração de lixiviados de alta carga poluidora nos aterros sanitários.
	Maior geração de biogás e metano devido às condições controladas de umidade e temperatura dos digestores, em relação a aterros.
	Permite a coleta de todo o biogás gerado (em aterros o índice de recuperação pode variar de 20 a 40 %), reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa.
	Geração de receita derivada da produção e comercialização de energia renovável e ainda, a possibilidade de comercialização de créditos de carbono.
Desvantagens	A composição dos resíduos varia dependendo da localização e da estação do ano, podendo comprometer o processo de biodigestão anaeróbia e, conseqüentemente, a qualidade do biogás e do material digerido gerado.
	Necessidade de etapa posterior (como compostagem) para bioestabilização dos resíduos digeridos.
	Dificuldade na operação do sistema, principalmente em termos de obstruções de canalização, notadamente em sistemas contínuos.
	Necessidade de mão de obra qualificada para o processo de operação e monitoramento da planta.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

O CDR, por sua vez, é produzido pela remoção de componentes indesejados do RSU, trituração, secagem, classificação e peletização (FADE/UFPE, 2014). Assim, posteriormente o material pode ser utilizado para geração de energia, em fornos de cimento ou ainda em processos de gaseificação. A Tabela 20 detalha mais a respeito dessa tecnologia.



Tabela 20: Premissas, vantagens e desvantagens do Combustível Derivado de Resíduos (CDR).

Combustível Derivado de Resíduos (CDR)	
Premissas	O CDR é um termo que se aplica a materiais com um valor calorífico elevado (normalmente, cerca de 18 mega joules por quilograma), recuperados da coleta de resíduos.
	O CDR deve ser composto de material orgânico com baixa umidade, e não deve possuir frações de contaminação crítica (por exemplo, metais pesados, como cromo (Cr), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), etc), nem substâncias orgânicas críticas (substâncias halogenadas, medicamentos ou resíduos infectados, etc), pois essas frações críticas geram um CDR de má qualidade.
	A produção de CDR requer quantidades de energia significativas, especialmente de energia elétrica, pois corresponde ao tratamento essencialmente mecânico, com grande desgaste de materiais (trituração).
Vantagens	Possibilidade de armazenar o substrato por meses e anos, em virtude da interrupção dos processos biológicos da fermentação.
	Possibilidade de armazenamento em silos, o que permite melhor modulação da produção de energia, em comparação com a queima direta de resíduos sólidos urbanos.
	Armazenamento dos briquetes em paletes, racionalizando o transporte de longa distância, evitando a dependência de planta próximo à unidade.
	São considerados como unidades de pré-tratamento dos RSU.
	Agregação de valor aos resíduos.
	Transformação dos RSU em alternativa energética.
	Possibilidade de instalação em áreas industriais próximas aos centros urbanos e aos grandes consumidores de energia.
	Redução das emissões e geração de poluentes, possibilitando a obtenção de Créditos de Carbono.
Prolongamento da vida útil de aterros existentes.	
Desvantagens	Alto consumo de energia elétrica, que é dissipada (não-recuperável).
	Possibilidade de contaminação do CDR pela presença de metais.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

A gaseificação é a conversão do CDR em gás de síntese, o qual pode ser utilizado como combustível, geração de vapor, energia elétrica ou ainda geração de hidrogênio

(CARBOGÁS ENERGIA, 2024). A Tabela 21 contém as premissas, vantagens e desvantagens relacionadas a rota tecnológica da gaseificação.

Tabela 21: Premissas, vantagens e desvantagens da Gaseificação.

Gaseificação	
Premissas	Necessidade de transformação do RSU em CDR com base em trituração, separação, secagem e homogeneização. Esta etapa do processo é fundamental para se obter uma matéria prima que tenha granulação, umidade e potencial calorífico adequado visando maximizar o produto.
Vantagens	Baixas emissões de poluentes: O gás de síntese produzido pela gaseificação é composto principalmente por hidrogênio e monóxido de carbono, que são gases combustíveis limpos, com baixas emissões de poluentes e gases de efeito estufa.
	A gaseificação pode ser combinada com sistemas de cogeração, em que a energia térmica gerada pelo processo é utilizada para produzir eletricidade, aumentando a eficiência energética do processo. A eficiência é até 30% maior em relação à incineração.
	A Redução do volume de resíduos sólidos urbanos que precisam ser destinados a aterros sanitários pode alcançar até 90%.
	Baixo custo de filtros de limpeza.
	Praticamente nenhum gás perigoso é expelido no ambiente.
	Área requerida para a planta é limitada.
	Produção de gás de síntese.
	Elimina emissões de CH <sub>4</sub> , contaminações de solo e lençóis freáticos e formação de chorume.
A eficiência na produção de energia elétrica é maior na gaseificação (75%) em comparação com a incineração (20%): 048 MW/t de RSU.	
Desvantagens	Necessidade de tratamento do RSU.
	Baixa versatilidade.
	Necessidade de mão de obra especializada para operação e manutenção da planta.
	Manutenção regular requerido para o sistema de limpeza.

Fonte: CARBOGÁS ENERGIA (2024).

Por fim, a incineração é um dos tratamentos térmicos disponíveis no mercado, caracterizada pela queima completa dos resíduos com temperaturas acima de 800°C. A partir dessa queima é realizada a recuperação energética dos resíduos (FADE/UFPE, 2014). Na Tabela 22 são explorados mais detalhes a respeito da incineração.

Tabela 22: Premissas, vantagens e desvantagens da Incineração.

Incineração	
Premissas	A incineração é indicada para o tratamento térmico de quantidades médias de resíduos sólidos (mais de 160.000 t/ano ou 240 t/dia), sempre trabalhando com linhas médias de produção de 8 a 10 t/h e, no mínimo, uma linha trabalhando 8.000 h/ano.
	A viabilidade pode ser alcançada para municípios de médio a grande porte.
	A segregação dos resíduos na fonte, o clima e a forma de coleta são fatores importantes para a viabilidade de uma planta de tratamento.
	Para que haja viabilidade técnica, é recomendável a queima bruta a partir de um Poder Calorífico Inferior (PCI) que seja superior a 2.000 kcal/kg. No Brasil, essa viabilidade estaria condicionada a um pré-tratamento dos resíduos.
	Os gases resultantes da combustão devem ser tratados antes da sua emissão para a atmosfera.
	A necessidade de complexos sistemas de tratamento de gases para atender as legislações têm tornado os custos de implantação, operação e manutenção desse tipo de sistema, "proibitivos" em países emergentes e em desenvolvimento.
Vantagens	A recuperação energética dos gases e a consequente geração de créditos de carbono tem sido uma solução para gerar receitas, além das taxas cobradas pelo tratamento, para viabilizar a implantação de usinas de incineração.
	Destruição da maior parte dos componentes do resíduo, promovendo uma significativa redução de volume.
	Potencial de recuperação de energia superior aos aterros.
	Necessidade de menor área para instalação.
Desvantagens	Redução na emissão de odores e ruídos.
	Elevados custos de instalação, operação e manutenção do sistema.
	Inviabilidade de produção, em caso de resíduos com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorados.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Por fim, tem-se que as premissas, vantagens e desvantagens de cada tecnologia devem ser avaliadas conforme o porte populacional a ser atendido e do arranjo logístico a ser instalado. Assim, nos próximos capítulos serão discutidos tais tópicos e avaliações, gerando insumos suficientes para a tomada de decisão pelo poder público.

### 2.2.2. Rotas Tecnológicas para RCC

Os resíduos da construção civil (RCC) são gerados em grandes quantidades nos centros urbanos, sendo que, por padrão, a responsabilidade da disposição final ambientalmente adequada é do gerador, seja ele público ou privado, cabendo ao poder público exercer seu papel de fiscalização.

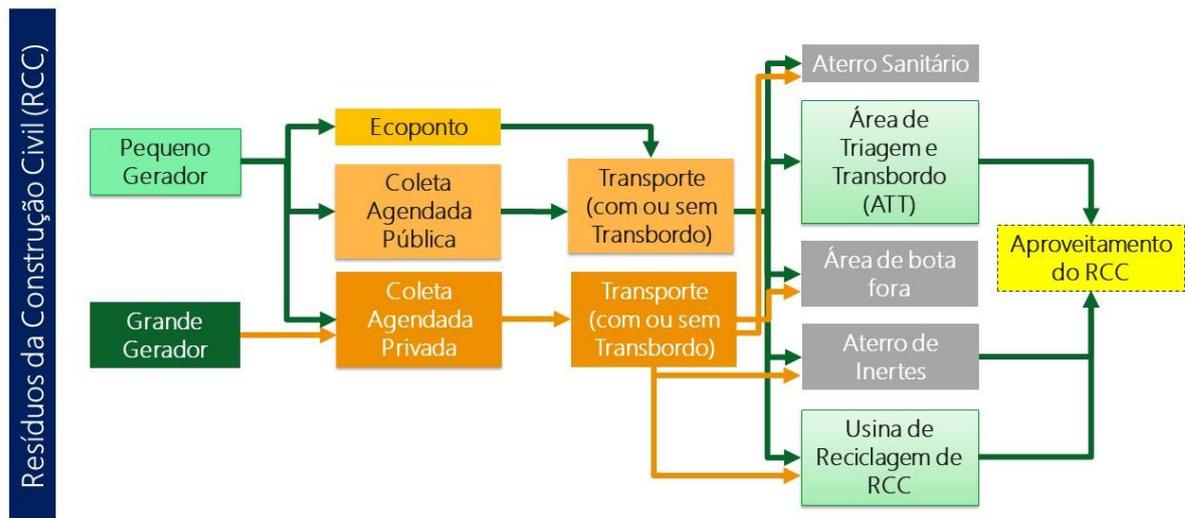
Destaca-se que a responsabilidade pela disposição final ambientalmente adequada da fração dos RCC correspondente aos pequenos geradores é compartilhada com o poder público, de modo a evitar a formação de pontos de descarte irregular. Esta fração pode ser recebida em ecopontos, PEVs (pontos de entrega voluntária) ou ainda recolhidos diretamente nos domicílios. É evidente que os pequenos geradores também podem contratar coletas privadas para sua disposição final ambientalmente adequada.

Pontua-se que o volume de RCC que caracteriza o pequeno ou grande gerador varia entre os municípios, e segue o que está previsto em legislação específica relacionada a RCC ou citada em legislação relacionada aos resíduos sólidos.

Os RCC compõem-se de materiais de difícil degradação ou não degradáveis, o que representa um desafio para sua gestão e dimensionamento de locais que possam recebê-los, já que seu volume não tende a diminuir ao longo do tempo, o que pode levar ao esgotamento de espaços de disposição final com maior rapidez e privando outros usos após o encerramento das atividades (PLANARES, 2022).

Sendo assim, as principais formas de destinação de RCC usualmente praticadas e previstas na resolução CONAMA nº 307/2002 referem-se ao recebimento destes

resíduos em locais apropriados para armazenamento e triagem para posteriormente destinar cada tipo de resíduo adequadamente, seja para reciclagem ou para aterro de inertes. A Figura 3 ilustra as tecnologias e processos identificadas no gerenciamento dos resíduos da construção civil diagnosticados entre os 42 municípios do PGIRS-AT.



**Figura 3: Rotas tecnológicas disponíveis para RCC nos 42 municípios do PGIRS-AT.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A respeito dos fluxos dos resíduos da construção civil expostos na Figura 3, fazem-se as seguintes observações:

- Os municípios que possuem alguma prática de gestão dos RCC atuam principalmente para atendimento dos pequenos geradores, com a disponibilização de espaços para entrega voluntária dos RCC, conhecidos como PEVs ou Ecopontos, além de ofertar o serviço de coleta pública, por agendamento;
- Das informações disponibilizadas, verifica-se que 50% dos municípios possuem ecopontos disponíveis para a população, 43% ofertam serviço de coleta agendada para RCC e 17% possuem ambos os serviços para atender o pequeno gerador;
- A gestão pública da destinação de RCC nos 42 municípios ainda é incipiente, com poucas informações relacionadas à quantidade, e práticas

de gestão adotadas, assim como já abordado no Produto 3 – Diagnóstico;

- Dos municípios que afirmaram possuir serviços de recebimento/coleta de RCC para a população, o material costuma ser triado antes do envio para reciclagem (RCC Classe B) e os resíduos inertes (RCC Classe A) são encaminhados para reaproveitamento das Prefeituras em estradas vicinais, vias de acesso de aterros sanitários, pavimentação, usinas de reaproveitamento de RCC ou são destinadas em áreas de bota-fora, aterro de inertes. Para as demais Classes de RCC, não foi informada a destinação. Existem ainda os municípios que destinam todo RCC coletado, sem triagem, para disposição em aterro sanitário;
- Embora exista a prática do descarte de RCC em aterro sanitário, não se recomenda tal prática, uma vez que impossibilita o uso de tal material posteriormente, além da possibilidade de prejudicar as estruturas do aterro (drenos de gás e geomembrana, por exemplo) e reduzir a vida útil para o material que ele foi projetado (RSU);
- Áreas de bota fora não são consideradas regulares, uma vez que não possuem licenciamento ambiental, as quais devem ser transformadas em aterro de inertes (Classe A), sendo ambientalmente licenciadas.

Frente ao contexto exposto, cada tecnologia e processo utilizado nos fluxos dos resíduos da construção civil, conforme Figura 3, tem suas respectivas premissas de utilização, vantagens e desvantagens. Assim, a seguir serão dispostos tais detalhamentos a respeito dessas tecnologias e processos diagnosticados no território alvo do PGIRS-AT.

Iniciando pelas estruturas de ecoponto ou PEV, as quais, como já apresentadas no tópico de RSU, possibilitam mais opções de descarte correto pelos moradores. A Tabela 23 traz as premissas, vantagens e desvantagens relacionadas.

Tabela 23: Premissas, vantagens e desvantagens de Eco ponto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV).

Eco ponto/Ponto de Entrega Voluntária (PEV)	
Premissas	Disponibilidade de espaços públicos nos bairros
	Disponibilização de armazenamento temporário de resíduos diversos no mesmo ponto, relacionados aos principais problemas do local, como RCC, volumosos, logística reversa, madeiras etc.
	Deve ser dimensionado, adequadamente, conforme o raio de cobertura da população impactada.
	Deve ter controle de entrada e saída por tipo de material.
	Deve ter segurança e orientação contínua aos moradores.
	Demanda de orientações e organização do espaço contínuos.
Vantagens	Aproxima dos moradores uma solução de descarte correto de resíduos especiais.
	Apoia a redução de pontos de descarte irregular, principalmente em áreas críticas.
	Aumenta o nível de separação de resíduos.
	Aumenta a chance de aproveitamento de resíduos.
	Custo reduzido em comparação com a coleta porta a porta.
Desvantagens	Necessidade de segurança e manutenção para operação do eco ponto.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

A coleta pública agendada, praticada por alguns municípios, também é descrita em relação às premissas, vantagens e desvantagens, na Tabela Tabela 24.

Tabela 24: Premissas, vantagens e desvantagens da coleta agendada pública.

Coleta Indiferenciada (resíduos mistos)	
Premissas	Organização de rotas e frequências que consiga atender a demanda de cada região do município.
	Necessidade de educação ambiental contínua.
Vantagens	Redução de áreas de descarte irregular.
	Opção prática e eficiente para garantir maior limpeza pública.
Desvantagens	Custos elevados e necessidade de grande quantidade de mão de obra.
	Necessidade de manutenção frequente nos caminhões e substituição de veículos.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&amp;REINFRA (2021).

A prática de transbordo de RCC foi observada quando os municípios incluem esse material no transbordo de RSU e levam todo o volume para aterro sanitário. Dessa forma, as premissas, vantagens e desvantagens apresentadas remetem ao mesmo observado para RSU, na TabelaTabela 25.

Tabela 25: Premissas, vantagens e desvantagens de transbordo de RCC.

Transbordo	
Premissas	Ter distância mínima de 30 km da disposição final.
	Ser ambientalmente licenciado para comportar a carga diária.
Vantagens	O caminhão de coleta não necessita ir até a disposição final e pode voltar mais rápido para realização das coletas.
Desvantagens	-

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Em relação ao transporte dos RCC coletado, o diagnóstico apontou que 26 municípios da região do estudo possuem atuação de empresas transportadoras de RCC, conhecidos popularmente como caçambeiros, atividade regulada por meio de legislação municipal.

As Prefeituras ainda informaram que é comum a atuação regional de caçambeiros, que possuem sede em um município e atuam em vários municípios vizinhos, podendo ainda coletar RCC em um município e destinar em outro. Nestas situações, é difícil o acompanhamento das rotas e fiscalização dos prestadores de serviços, o que acaba por gerar riscos de contaminação cruzada de RCC, gestão inadequada e atuação sem a devida regulamentação.

Na sequência, tem-se que o aproveitamento dos resíduos da construção civil é possível quando dispostos em aterro de inertes (Classe A), áreas de transbordo e triagem (ATT) ou ainda quando são encaminhados diretamente para usinas de reciclagem de RCC. Tais rotas serão detalhadas a seguir nas próximas tabelas.

Iniciando pelas Áreas de transbordo e triagem (ATT), as quais são destinadas ao recebimento de RCC para triagem, armazenamento temporário dos materiais, para posterior remoção para destinação adequada. A Tabela 26 apresenta as premissas, vantagens e desvantagens da sua operação.

Tabela 26: Premissas, vantagens e desvantagens da Área de Transbordo e Triagem.

Transbordo	
Premissas	Cumprir a NBR ABNT 15.112/2004, que é a norma com diretrizes de projeto, implantação e operação das ATTs
	Implantação isolada da vizinhança, com portões e cercamento
	Necessidade de sistemas de segurança
	Espaço devidamente dimensionado para realizar a triagem e classificação dos RCC
Vantagens	Aumento do nível de produção de agregado reciclado, por meio da separação, classificação e processamento de RCC
Desvantagens	Maior custo público com estruturas para gerenciamento de resíduos da construção civil

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

No que concerne aos aterros de resíduos Classe A, destinados a receber RCC desta classe, previamente triados e outros tipos de resíduos inertes, a Tabela 27 contém as respectivas premissas, vantagens e desvantagens de sua operação.



Tabela 27: Premissas, vantagens e desvantagens de Aterro de Inertes Classe A.

Aterro Sanitário	
Premissas	Os resíduos que podem ser dispostos nos aterros de inertes são aqueles considerados não perigosos, ou seja, apenas Classe A
	A NBR 15.113/2004 fixa os requisitos para o projeto, a implantação e a operação dos aterros de resíduos da construção civil Classe A
	A implantação deve considerar a proteção das coleções hídricas superficiais ou subterrâneas próximas, as condições de trabalho dos operadores dessas instalações e da qualidade de vida das populações vizinhas
	Os materiais devem ser segregados a partir do emprego de técnicas de disposição de resíduos Classe A e inertes no solo, de forma a possibilitar a utilização futura destes materiais ou o uso futuro desta área, conforme princípios de engenharia para o confinamento no menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente.
Vantagens	Possibilidade de se utilizar áreas já degradadas por outras atividades (ex: área utilizada como pedra etc.).
	Possibilidade de receber e acomodar rapidamente quantidades variáveis de resíduos.
	Adaptável a comunidades grandes ou pequenas.
	Apresentação de menores custos de investimento e operação do que outras tecnologias.
	Utilização de equipamentos e máquinas usadas em serviços de terraplanagem, não requerendo pessoal altamente especializado.
Desvantagens	Necessidade de grandes áreas para aterro, muitas vezes, longe da área urbana, acarretando despesas adicionais com transporte.
	Geração de poeiras.
	Alteração da estética da paisagem e diminuição do valor comercial da terra.
	Controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo.

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Já as usinas de reciclagem de resíduos Classe A são locais destinados ao beneficiamento de resíduos para fabricação de agregados reciclados, areias e britas recicladas, materiais esses que podem ser utilizados para consumo próprio em obras do município ou distribuídos ao público em geral. A usina pode contribuir para redução dos materiais enviados para aterros Classe A e para ATT's e diminuem as áreas de botafora. A Tabela 28 a seguir traz as premissas, vantagens e desvantagens dessa tecnologia.

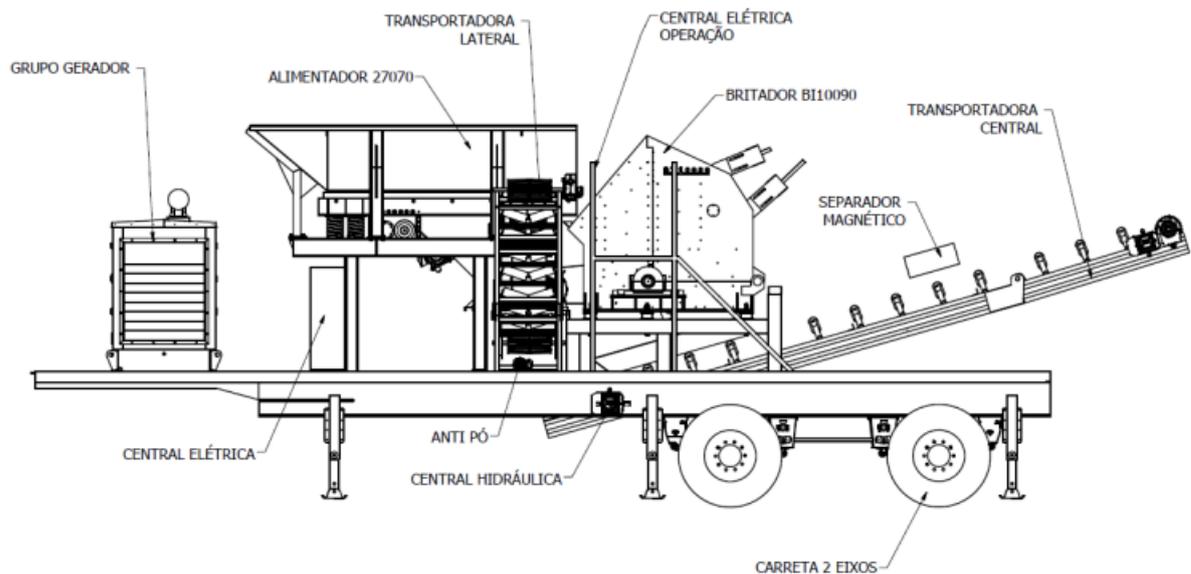
Tabela 28: Premissas, vantagens e desvantagens de Usina de Reciclagem de Resíduos Classe A.

Aterro Sanitário	
Premissas	Cumprir com a NBR 15.114/2004 para as diretrizes do projeto, implantação e operação
	Deve ter controle de dispersão de particulados (poeiras)
	É viável a partir da geração de RCC de municípios da faixa 3 (entre 100.000 e 250.000 habitantes)
	Deve ter organização para entrada contínua de resíduos e saída contínua de agregados ou produtos separados para não acumular no pátio
Vantagens	Possibilidade de receber e processar quantidades variáveis de resíduos.
	Adaptável, conforme demanda
	Produção de agregado reciclado, areia e britas recicladas que podem ser utilizados nas obras públicas, reduzindo custos públicos
Desvantagens	Alto custo de mobilização do terreno, custo de instalação, operação e manutenção dos equipamentos
	Geração de poeiras
	Desafios culturais da não utilização dos produtos reciclados

Fonte: Adaptado de PEZCO-RPG&REINFRA (2021).

Na área de estudo, somente nos municípios de Guarulhos, Santo André e São Paulo existem usinas fixas operantes para o beneficiamento dos RCC. Além das usinas fixas, por meio dos consórcios intermunicipais, foram adquiridas usinas móveis para reciclagem de RCC, sendo que CIMBAJU é o único consórcio da região ainda não beneficiado com uma usina móvel. As usinas móveis devem atender todos os municípios consorciados.

As usinas móveis adquiridas pelos consórcios são formadas por um conjunto de equipamentos de reciclagem acoplados em uma carreta rodoviária, que facilita a locomoção e operação em solo plano (Figura 4). O modelo de usina móvel de RCC disponibilizado para os consórcios tem capacidade de beneficiar até 100 toneladas por hora de resíduos Classe A, sendo a capacidade mínima de 70 toneladas por hora. Para operação da usina, o fabricante recomenda uma área mínima de 300m<sup>2</sup>.



**Figura 4: Layout de equipamentos da usina móvel RCC.**

Fonte: Memorial descritivo Mercantil Equipamentos (2024).

Apesar da usina ser móvel, não é possível transportá-la de obra em obra para reciclar os RCC, tanto devido à dificuldade inerente de operacionalizar toda a logística envolvida nesta atividade, quanto devido aos requisitos técnicos necessários para operação da usina. Por ser de grande porte exige um acúmulo de material significativo para poder operar com eficiência, além dos requisitos legais ambientais para instalação e operação.

Os municípios também relataram dificuldade de disponibilizar áreas aptas para recebimento da usina, respeitando os requisitos ambientais previstos, longe de centros urbanos, por exemplo e de disponibilizar áreas temporárias para acúmulo de RCC antes de solicitar o envio da usina para operação. Outra dificuldade relatada são os possíveis impactos no entorno como barulho e geração de poeira.

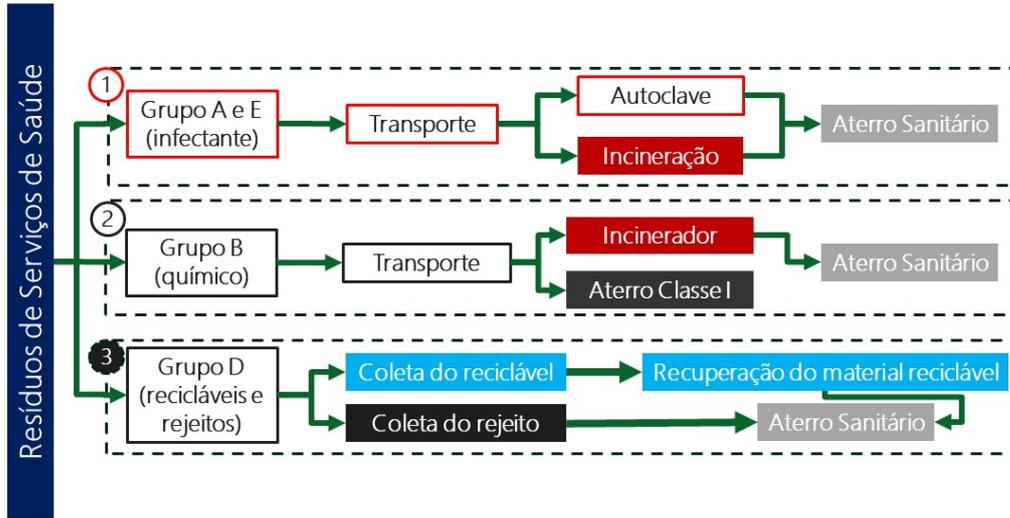
Desta forma, mesmo com a aquisição das usinas móveis pelos Consórcios, atualmente elas não estão sendo utilizadas por todos os municípios.

### 2.2.3. Rotas Tecnológicas para RSS

A discussão quanto a rota tecnológica específica para destinação de RSS, consiste na apresentação das tecnologias adotadas pelos diversos prestadores de serviços que atendem a região, uma vez que estas são reflexo do que há disponível no mercado, considerando o cumprimento das legislações ambientais vigentes e a viabilidade econômica quanto a sua implantação e operação.

As etapas realizadas no interior das unidades geradoras, de maneira sucinta, a segregação e o acondicionamento dos resíduos, devem seguir as legislações específicas, considerando as especificidades de cada grupo de resíduos, ou seja, os resíduos infectantes (grupo A), resíduos químicos (grupo B), resíduos radioativos (grupo C – que devem atender as prerrogativas do CNEN), resíduos comuns (grupo D) e resíduos perfurocortantes (grupo E).

O tratamento dos RSS consiste basicamente na eliminação da contaminação utilizando-se processos que modifiquem a característica do risco associado ao resíduo. Nos municípios do PGIRS-AT, os RSS dos grupos A e E são encaminhados para sistemas que operam autoclave ou incineração, os resíduos do grupo B, são direcionados a incineradores. Dentre os resíduos comuns, os rejeitos são destinados à aterros sanitários, e a parte reciclável segue para a recuperação do material. A Figura 5 ilustra os fluxogramas que representam as tecnologias aplicadas no tratamento e na destinação final dos RSS conforme a classificação dos mesmos.



**Figura 5: Rotas tecnológicas disponíveis para RSS nos 42 municípios do PGIRS-AT.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Como comentado, na região de estudo, as tecnologias utilizadas para o tratamento dos RSS consistem na autoclavagem e na incineração, entretanto outras tecnologias podem ser adotadas, tais como as descritas na Tabela 29.

Tabela 29: Comparação de Tecnologias para Tratamento de RSS.

Tecnologia	Descrição	Vantagens	Desvantagens	Subprodutos gerados
Microondas	Tratamento térmico, com temperatura variando entre 95 a 105° C, com vibrações eletromagnéticas de alta ou baixa frequência, que eliminam os organismos microbiológicos.	Redução do volume dos resíduos tratados; Não geram emissão de gases, efluentes líquidos, odor, ruído prejudicial ao meio ambiente; Não utiliza produtos químicos no processo; Não requer obras civis de grande porte.	Custo operacional relativamente alto.	Os resíduos esterilizados devem ser dispostos em aterros para resíduos Classe II devidamente licenciado.
Pirólise	Aquecimento dos resíduos a uma temperatura entre 400 a 1.100°C, em ambiente sem oxigênio.	Redução do volume final do material tratado (cerca de 95%); Menor emissão de poluentes atmosféricos, em relação a incineração; Sistema de alimentação automático (contínua) ou por batelada.	Elevado custo de tratamento dos efluentes gasosos e líquidos; Custos operacionais e de manutenção elevados.	Carvão (coque ou biochar), óleo pirolítico e outros gases.
Plasma	Transformar os resíduos em gás ionizado e posteriormente em plasma, em um sistema isolado e fechado.	Os gases produzidos podem ser utilizados no aquecimento de caldeiras ou na obtenção de metano; Elevada redução de volume de resíduos (superior a 90%).	Alto consumo de energia; Custo elevado.	Calor e gases podem ser usados na geração de energia. Demais subprodutos podem ser reaproveitados (metais fundidos, matéria inorgânica etc.).
Gaseificação	Degradação térmica dos resíduos na presença de agente químico (oxigênio puro, na maior parte das vezes), ar ambiente ou vapor d'água.	Redução da emissão de particulados, pois as cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador; Alta eficiência térmica.	Potencial de fusão das cinzas a temperatura acima de 900°C, que pode aumentar corrosão dos equipamentos; O alcatrão formado durante o processo de gaseificação, se não completamente queimado, pode limitar as aplicações do syngas.	Gás de síntese (syngas), que podem ser convertidos em diferentes produtos químicos, ou terem uso como combustível limpo para a produção de eletricidade.
Ionização ou radiação	Destruição dos agentes patológicos por meio de exposição de raios gama gerados por uma fonte enriquecida de cobalto 60.	Ausência de emissão de efluentes; Não produz produtos tóxicos; Baixo consumo de energia.	Necessário triturar preliminarmente para melhorar a eficiência do procedimento; Requer conhecimento tecnológico especializado e estruturas físicas adequadas; Fonte de irradiação se converte em resíduo perigoso após terminar sua vida útil.	Resíduos tratados podem ser encaminhados para disposição final em aterros sanitários.

Fonte: Adaptado de: FEAM (2012), BW (2020); Servioeste, (2022).

### 3. CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO

O planejamento por cenários é uma abordagem metodológica essencial para a construção de planos de longo prazo como o PGIRS-AT. Cenários não visam "prever" o futuro ou construir um futuro desejado, mas sim, indicar quais futuros podem ser encontrados, descortinando um leque de possibilidades que orientam os gestores no caminhar rumo ao desconhecido e, em grande parte, incontrolável futuro. Cenários, assim compreendidos, precisam ser plausíveis, mesmo que improváveis sob as perspectivas atuais.

Eis que o futuro é uma construção social complexa e multifacetada, e apenas observando sua transformação em realidade é possível entender seus desdobramentos. Como demonstram Santos (1997) e Castells (1999), o entrelaçamento de dinâmicas econômicas, territoriais, culturais e sociais cria expressões locais distintas, implicando diferentes taxas de geração de resíduos, de padrões de usos de insumos produtivos, de costumes e sazonalidades de consumo, de demandas sociais distintas que afetam a catação autônoma de resíduos, de diferentes perfis de usos do solo, de fluxos de produção e circulação de pessoas. A produção de resíduos sólidos em uma bacia hidrográfica, por exemplo, reflete essas dinâmicas que são condicionadas tanto por fatores naturais (a hidrografia e sua disponibilidade hídrica, as distâncias a serem vencidas por caminhões de lixo, as restrições de mananciais) quanto socioeconômicos (o uso das águas, as aglomerações urbanas, a gestão de resíduos, a pobreza e fragilidade social etc.).

Cenários, enfim, devem articular os elementos mais importantes da situação atual para identificar lacunas, sinergias e sobreposições, proporcionando uma base robusta para o planejamento, que deve ser ancorado em estratégias que minimizem custos sociais externalidades negativas, maximizando benefícios (mesmo intangíveis) e externalidades positivas. Conforme aclara Buarque (2003), estudos prospectivos devem

auxiliar a ordenar percepções sobre o futuro, explicitando suas imprevisibilidades e reduzindo a variabilidade de suas possibilidades.

Com essa compreensão, o primeiro passo do seu desenvolvimento é elencar os fatores que desencadeiam modificações nos padrões de resíduos sólidos urbanos, para depois articular suas possíveis variações futuras. Metodologicamente, o estado da arte na concepção de cenários oscilou entre abordagens quantitativas e qualitativas, apenas para aterrissar firmemente em abordagens híbridas, que combinam insumos quantitativos e discussões qualitativas (Klosterman, 2013; Avin, 2007; Chermack, 2005). Esta é a metodologia adotada neste estudo, que gera possibilidades quantitativas apoiadas em parâmetros plausíveis. Seguindo os ensinamentos de Heidjen (2005), ao fim e ao cabo, portanto, os cenários deverão embasar a tomada de decisões, aclarando possíveis repercussões e conflitos, conformando uma imagem-objeto para a avaliação estratégica dos futuros dos resíduos sólidos na área de estudo.

### **3.1. Perspectivas de futuro para a região**

O Plano Macrometrópole Paulista (PMP) (2013-2040) (São Paulo, 2014) apresenta cenários futuros que descrevem diferentes trajetórias de desenvolvimento para a região de estudo. Embora de certa forma datados, os cenários ainda são válidos ao destacar os desafios e oportunidades da região. Ademais, foi planejamento oficial do Governo do Estado de São Paulo, coordenado pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (Emplasa), visando orientar o desenvolvimento desta grande região que abrange as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas, Baixada Santista, Vale do Paraíba e Litoral Norte, Sorocaba, e as Aglomerações Urbanas de Jundiaí e Piracicaba.

Os cenários desenvolvidos são ferramentas valiosas para contextualizar este prognóstico, pois oferecem uma visão abrangente dos desafios e oportunidades que a região enfrentará nas próximas décadas, mesmo não estando focado exclusivamente na repercussão destes nos resíduos sólidos. O PMP utiliza uma análise prospectiva

fruto de *brainstorming*, delimitação dos futuros plausíveis (desconsiderando realidades que não sejam passíveis de se concretizar) e escolha dos futuros desejáveis. Embora a "escolha" de um cenário desejável seja conceitualmente equivocada, pois os cenários devem essencialmente articular os elementos que não se controla (e, portanto, não são passíveis de serem "escolhidos"), compreende-se que a "escolha" exprime a visão de futuro da área.

Essa visão de futuro se inicia com a perspectiva de mudanças de paradigma na gestão pública, em busca de novos modelos que priorizem a cooperação, participação e ampliação do controle social sobre as ações públicas. Decorrente disso, será parcialmente implementado um novo modelo de mobilidade, concebido a partir de diferentes modais.

O PMP prevê, em 2040, uma população de 46 milhões de pessoas para o Estado de São Paulo, das quais 34 milhões estarão situadas na Macrometrópole. A desconcentração da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) continuará, mas o território seguirá concentrando população e atividades econômicas. Haverá uma distribuição mais equilibrada da população pelo espaço da região, ainda beneficiada pelo "bônus demográfico".

Especificamente para os resíduos sólidos, o PMP traz a visão de que sua gestão melhorará progressivamente, facilitada pela implantação de processos de separação na origem e destinação para tratamento, com triagem para reciclagem, tratamento térmico para geração de energia e vapor, e destinação de escória de cinzas para aterro sanitário.

Segundo o PMP, as atividades produtivas serão reconfiguradas expressivamente, com destaque para o setor de serviços e aumento da renda da população. A qualidade da infraestrutura e a presença de centros de pesquisa, tecnologia e inovação continuarão atraindo organizações e empresas, incluindo corporações transnacionais. Atividades econômicas ligadas aos setores de petróleo e gás serão implantadas, e os

setores industriais e de serviços voltados para atividades econômicas de alta tecnologia serão ampliados.

O processo de expansão e adensamento urbano se aprofundará, sem um planejamento urbano articulado entre diversos setores. Em alguns espaços do território, os padrões de urbanização serão alterados para modelos mais compactos e sustentáveis. A universalização dos serviços de coleta e tratamento de esgotos estará próxima, na maioria das áreas urbanas e comunidades isoladas da Macrometrópole, mas ainda serão necessários investimentos no aperfeiçoamento do gerenciamento dos sistemas, resultando em uma consequente melhora da qualidade das águas. Em alguns municípios, haverá uma aplicação progressiva dos fundamentos de gestão das inundações, com uma redução gradual e sustentável dos prejuízos causados pelas cheias.

Ainda segundo o PMP, haverá uma importante redução dos domicílios em situação de déficit habitacional e um decréscimo na proporção de domicílios inadequados, que apresentam problemas passíveis de correção por meio de melhorias e ações alternativas à produção de novas unidades. A integração de recursos orçamentários da União, estado e municípios será ainda insuficiente para reverter o passivo de problemas urbanos e ambientais. A escassez de áreas para expansão planejada das cidades e o alto custo da terra urbanizada para implantação de habitação de interesse social, juntamente com a implantação insuficiente dos instrumentos urbanísticos, continuarão a ser grandes desafios.

A utilização de energia proveniente de biomassa, principalmente o bagaço de cana, aumentará. O setor industrial e de comércio de grande porte intensificarão estudos e pesquisas voltados para o aproveitamento de sistemas energéticos próprios, com programas de racionalização de energia, eliminação de desperdício, introdução de sistemas eficientes e aproveitamento de energia eólica e solar.

O PMP reconhece que o ambiente será mais quente devido ao aquecimento global, mas pontua que avanços tecnológicos e alterações de comportamento possibilitarão a redução da emissão de gases de efeito estufa. A disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para agricultura irrigada, abastecimento urbano e industrial será um desafio, necessitando equilibrar as demandas mediante a importação de água de outros mananciais menos utilizados e mais distantes. Será necessário fortalecer a visão macrorregional, sistêmica e integrada das bacias hidrográficas e disseminar gradualmente o uso racional de água.

Finalmente, o PMP articula eventos futuros a partir de suas respectivas probabilidades de ocorrência e pertinência, conforme avaliação de um grupo de experts. A probabilidade trata da percepção quanto à possibilidade de ocorrência do evento futuro no ano de 2040, em uma escala de valores que vai de 0% ('menos provável') a 100% ('certeza'). Já a pertinência se refere à importância deste evento frente à expectativa do cenário para 2040, em uma escala de valores de 1 ('baixíssima pertinência') a 9 ('altíssima pertinência')." Alguns dos eventos futuros apreciados que trazem maior interface com este Plano, são apresentados na Tabela 30.

*Tabela 30: Resultados de eventos futuros do PMP selecionados pela relação com RSU.*

	Probabilidade	Pertinência
Melhoria na gestão de resíduos sólidos	65,2%	7,64
Melhoria na gestão do esgotamento e do tratamento de esgotos	70,0%	7,75
Melhoria na gestão pública na busca de maior integração e efetividade das políticas públicas de desenvolvimento social e segurança	43,2%	8,54
Integração dos programas de habitação e de desenvolvimento urbano	53,4%	8,00
Reconfiguração econômica e espacial das atividades produtivas	57,7%	7,36
Medidas para aumento da disponibilidade hídrica e da proteção e recuperação de mananciais	63,4%	7,86
Desenvolvimento de energias alternativas e renováveis	57,0%	6,64

Fonte: EMPLASA (2022). Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Olhando para os números apresentados, nota-se que a melhoria na gestão de resíduos sólidos traz uma probabilidade e pertinência relativamente altas (65,2% e 7,64 respectivamente) em comparação com outros eventos futuros cruciais para o desenvolvimento sustentável da Região Metropolitana de São Paulo. Apenas a melhoria na gestão do esgotamento e do tratamento de esgotos tem uma percepção de maior probabilidade de ocorrência (70%).

Os cenários embasaram o desenho do "Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013-2040" (PAM), que em seus 145 projetos e cerca de 70 ações, foi um documento ambicioso rumo ao desenvolvimento sustentável e integrado da Macrometrópole, tangenciando áreas como infraestrutura de transporte, saneamento, habitação, meio ambiente, e desenvolvimento econômico e social. Passados dez anos desde a sua implementação, pode-se tecer um descompromissado balanço dos avanços e desafios enfrentados até o momento, com ênfase naqueles pertinentes ao presente Plano de Resíduos.

O PAM visava melhorar a conectividade territorial e a competitividade econômica, promover a coesão territorial e a urbanização inclusiva, e fortalecer a governança metropolitana. Um dos avanços notáveis foi na expansão da rede de metrô e trens metropolitanos, bem como a conclusão de trechos do Rodoanel e a implementação parcial do Ferroanel. A região continuou a atrair investimentos em setores de alta tecnologia e serviços, fortalecendo-se como um polo econômico dinâmico. Também no campo do saneamento, houve progressos na coleta e tratamento de esgotos (programas de despoluição), com a universalização do atendimento em várias áreas urbanas.

No entanto, desafios significativos permanecem, um deles sendo a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Nesta área, a implementação de soluções regionais para disposição e tratamento de resíduos não avançou. Não só na gestão integrada de RSU que o PAM deixou de ser cumprido: a adaptação do território aos impactos das

mudanças climáticas globais e a implementação de políticas de mitigação ainda requerem maior atenção e investimentos; a integração completa dos sistemas de transporte multimodal ainda não foi alcançada; a urbanização inclusiva e a integração de favelas e assentamentos precários à cidade formal avançaram, mas ainda há um número significativo de pessoas vivendo em condições inadequadas.

O que aponta a dificuldade de implantar ações na Macrometrópole Paulista é a falta de articulação efetiva entre os diferentes níveis de governo (federal, estadual e municipais) e a implementação de uma governança metropolitana integrada. Nota-se, a abundância de desafios, obstáculos e divergências políticas e institucionais.

### 3.2. Condicionantes da geração de resíduos sólidos

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um desafio crescente para a sustentabilidade e a gestão financeira dos municípios em todo o mundo, não apenas na Macrometrópole Paulista e em sua porção coincidente com a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Diversos estudos têm abordado este tema, utilizando diferentes metodologias e variáveis para prever a geração de RSU e propor soluções de gestão. Esta breve revisão bibliográfica sintetiza resultados de artigos acadêmicos que destacam as principais interconexões entre resíduos e desenvolvimento econômico, com o objetivo de contribuir para a identificação dos elementos fulcrais que devem ser articulados nos cenários.

Dias *et al.* (2012) apresentam um modelo matemático para estimar a geração de RSU com base em variáveis socioeconômicas. Desenvolvido a partir de dados de Belo Horizonte e validado com dados de Porto Alegre, o modelo revela uma forte correlação entre a geração *per capita* de resíduos e a renda *per capita*, com um coeficiente de determinação de 0,85. Os autores destacam que o desenvolvimento econômico, a urbanização e o aumento dos padrões de consumo são fatores que contribuem significativamente para o aumento da quantidade e complexidade dos RSU. No Brasil,

a urbanização crescente tem levado a um aumento na geração de RSU, especialmente nas cidades com maior concentração populacional.

O modelo proposto por Dias *et al.* (2012) utiliza dados socioeconômicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e dados de coleta de RSU de Belo Horizonte e Porto Alegre. A metodologia envolve a agregação de dados socioeconômicos e a aplicação de regressões para ajustar funções que representem a produção de resíduos *per capita* típica para diferentes classes econômicas. A equação resultante permite estimar a geração total de resíduos sólidos com base na renda *per capita* e na distribuição econômica da população. Os resultados indicam que a renda e a dimensão de cada classe econômica são as principais variáveis explicativas para a geração de RSU, enquanto outros fatores têm impacto menor. A validação do modelo mostrou que as estimativas de geração de resíduos são próximas aos valores reais coletados, com uma diferença de 5,2% em Belo Horizonte e 3,3% em Porto Alegre. Os achados dos autores sugerem que políticas de planejamento de serviços de coleta e destinação final de resíduos sólidos devem considerar a renda *per capita* e a distribuição socioeconômica da população.

Especificamente, para o Estado de São Paulo, destaca-se o modelo desenvolvido por Pisani, Castro e Costa (2018), que estima a taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos com base nos fatores de porte populacional, renda *per capita* e consumo de energia elétrica. O modelo utilizou dados de 238 municípios que pesaram rotineiramente seus resíduos no ano de 2013, e diversas funções foram testadas para ajustar as taxas de geração *per capita* observadas às calculadas pelo método dos mínimos quadrados. A qualidade dos ajustes foi avaliada por meio de coeficientes de correlação de Pearson e de determinação, raízes quadradas dos erros médios ao quadrado e erros percentuais médios. Mesmo assim, a equação que melhor representou o conjunto de dados teve um  $R^2$  de apenas 0,24. Destaca-se que os dados de entrada apresentaram grande dispersão e inconsistências. Os resultados refletem a

complexidade de modelar a geração de resíduos sólidos urbanos, que é influenciada por uma variedade de fatores socioeconômicos e demográficos.

Essa complexidade não se mostra presente apenas no Brasil, mas é uma característica dos resíduos sólidos mundo afora. Em uma análise global sobre a geração de resíduos sólidos, He *et al.* (2022) apresentam um arcabouço abrangente para a gestão de RSU, destacando a importância de dados robustos e sistematizados para conhecer o problema a ser enfrentado, dimensionar e otimizar os sistemas de gestão. Os autores compilaram 1.720 registros de geração, composição e práticas de gestão de RSU de 219 países e 410 cidades, utilizando modelos de regressão linear multivariada e aditiva para relacionar a geração de RSU com variáveis demográficas, desenvolvimento econômico e padrões climáticos. Os achados principais indicam que o desenvolvimento econômico (medido pelo PIB), fatores de densidade (população, densidade populacional e tamanho das famílias), iniciativas de sustentabilidade, educação e regulamentação são todos importantes para explicar os padrões de geração de resíduos. A urbanização e o padrão de consumo, no entanto, são os mais influentes na determinação tanto da quantidade gerada como da complexidade da gestão dos RSU, demonstrando-se cruciais frente aos outros fatores, que têm impacto menor.

Zambrano-Monserrate, Ruano e Ormeño-Candelario (2021) também analisaram os fatores que influenciam a geração de RSU no mundo, com uma amostra de 173 países agrupados por níveis de renda. As variáveis investigadas foram o PIB, a densidade populacional, a urbanização e o fluxo de turistas. Os resultados mostram que, em 2016, a geração de RSU aumentou com o crescimento do PIB, especialmente em países de alta renda. Além disso, o aumento da população e da urbanização também contribuiu significativamente para uma maior geração de resíduos; já o turismo foi identificado como um fator positivo e significativo em todos os grupos de países, embora com magnitudes diferentes.

Os autores destacam que o impacto do PIB na geração de RSU é mais pronunciado em países de alta renda; nos de baixa renda, o aumento do PIB não teve um impacto significativo na geração de RSU. Já a população se mostra como fator determinante, com um coeficiente de elasticidade de 0,5921% na geração de resíduos em países de baixa renda e 1,16% em países de alta renda (para cada 1% de aumento da população). A urbanização teve efeito significativo na geração de RSU em países de alta e média-alta renda, mas não em países de baixa renda. Já o fluxo de turistas aumenta a produção de resíduos em todos os grupos de países, sendo mais impactante em países de alta renda.

Izquierdo-Horna, Kahhat e Vázquez-Rowe (2022) também exploraram a complexidade dos fatores que influenciam a geração de RSU, utilizando como possíveis variáveis explanatórias as de cunho ambiental (consumo de energia, temperatura e precipitação), socioculturais (idade, nível de escolaridade e crescimento populacional) e econômicas (PIB *per capita*, renda *per capita* e políticas econômicas). Os achados principais indicam que variáveis como idade, condições demográficas e nível de educação são importantes para caracterizar a população e prever a geração de RSU. No entanto, as variáveis socioculturais por si só, não são suficientes para previsões precisas, sendo necessário considerar também variáveis econômicas, como renda *per capita* e PIB, que têm uma correlação direta com os padrões de consumo e, conseqüentemente, com a geração de resíduos. Além disso, as variáveis ambientais também influenciam a geração de RSU, afetando os padrões de consumo e a composição dos resíduos.

Os autores concluem que a adoção de variáveis específicas para estudos de caso, coletadas por meio de dados primários, melhoraria o desempenho preditivo dos modelos de geração de RSU. Eles recomendam que futuras pesquisas considerem uma abordagem holística que integre variáveis socioculturais, ambientais e econômicas para obter resultados mais representativos e eficazes na gestão de resíduos. A análise crítica e as recomendações fornecidas no artigo visam contribuir para a formulação de

estratégias de gestão de RSU que sejam adaptadas às características específicas de cada contexto urbano.

O que Izquierdo-Horna, Kahhat e Vázquez-Rowe (2022) atestam, de forma indireta, é a incapacidade de se desenvolverem modelos de larga escala e aplicabilidade que sejam preditores decentes da geração de RSU. Afinal, um dos principais desafios na previsão da geração de RSU é a variabilidade espacial e temporal dos dados, a falta de dados primários específicos e a consequente dependência de dados secundários.

Os pesquisadores Sharma e Jain (2020) também abordam a crescente geração de RSU especificamente devido ao aumento populacional e à prosperidade econômica, destacando os desafios para a saúde pública e o meio ambiente. Os autores analisam a situação global da geração, composição e gestão de RSU, comparando 59 países desenvolvidos e em desenvolvimento com base em sua renda nacional bruta. Encontram, corroborando os demais, uma correlação positiva entre a quantidade de resíduos gerados e o crescimento econômico, urbanização e industrialização.

Sharma e Jain (2020) destacam que a composição dos resíduos varia conforme o nível de renda, com países de baixa renda gerando uma maior proporção de resíduos orgânicos (56%) em comparação com países de alta renda (32%). A diferença também se observa nos recicláveis:

- Papel e papelão: representam 7% em países de baixa renda contra 25% em países de alta renda.
- Plásticos: representam 6,4% em países de baixa renda, 13% em países de alta renda.

Como esperado, os autores identificaram que as taxas de geração de resíduos também variam grandemente, sendo 0,40 kg/pessoa/dia em países de baixa renda contra 1,58 kg/pessoa/dia em países de alta renda. Os métodos de disposição variaram da seguinte forma:

- Vazadouros a céu aberto: 93% em países de baixa renda e 2% em países de alta renda;
- Aterros sanitários: 3% em países de baixa renda, 39% em países de alta renda;
- Tratamento térmico: 0% em países de baixa renda, 22% em países de alta renda; e
- Reciclagem: 3,7% em países de baixa renda, 29% em países de alta renda.

Os autores também identificam que países desenvolvidos têm implementado efetivamente a hierarquia de gestão de resíduos, focando na redução, reutilização e reciclagem, enquanto países de baixa e média renda enfrentam sérios problemas devido à infraestrutura inadequada e à dependência do setor informal. Sem surpresas, os autores desvendam que a despesa municipal agregada na gestão de resíduos é relativamente baixa nos países em desenvolvimento em comparação com os países desenvolvidos.

Sharma e Jain (2020) destacam que a gestão de RSU é um desafio complexo que requer ações apropriadas para alcançar a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Eles sugerem que a seleção de tecnologias de gestão de resíduos deve considerar fatores como a origem e quantidade de resíduos, características físicas e químicas, presença de resíduos perigosos, custo de transporte, disponibilidade de terra, condições ambientais, aceitação social e política, e viabilidade econômica. A implantação de sistemas integrados - que combinem minimização de resíduos, reciclagem e recuperação de energia - são os ideais, sempre alinhados à participação pública e a conscientização.

Wu *et al.* (2020) também investigam os condicionantes da geração de resíduos, e o fazem pela aplicação de redes neurais artificiais (ANN) para prever a geração de RSU na China continental, considerando de forma explícita as diferenças regionais (sul, norte e oeste). Eles desvendaram que a precisão da predição da geração de RSU aumenta significativamente quando os modelos são ajustados para regiões específicas, em vez de usar um modelo único para todo o país. Os demais achados do estudo

indicam que a geração de RSU está fortemente correlacionada com fatores socioeconômicos, em específico a população residente permanente e o PIB do setor terciário (setor de serviços). Esses achados são relevantes para a formulação de cenários de RSU, pois indicam que os modelos de previsão devem considerar as especificidades regionais para serem eficazes.

Uma importante questão no efeito dos padrões de consumo sobre a geração de RSU é a validação da Curva Ambiental de Kuznets (CAK), que propõe a existência de uma relação não linear entre a renda *per capita* e a geração de RSU. Inicialmente, a CAK foi proposta por Grossman e Krueger (1991) para a relação entre renda *per capita* e a degradação ambiental, que teria o comportamento de um "U" invertido. Estudos como os de Selden e Song (1994) e Ichinose, Yamamoto e Yoshida (2011) confirmaram essa relação para diferentes tipos de poluentes e indicam que também se aplicaria para a geração de resíduos sólidos. Mazzanti, Montini e Zoboli (2008) encontraram evidências da CAK para resíduos sólidos em províncias italianas.

Na fase inicial do desenvolvimento econômico, a renda crescente leva ao aumento da geração de RSU, devido à maior disponibilidade de renda e padrões de consumo mais intensivos em bens e serviços. No entanto, à medida que a renda *per capita* continua a crescer, a aplicação da CAK sugere que a geração de RSU tende a se estabilizar e, posteriormente, a diminuir. Essa teórica diminuição na geração de resíduos, após se atingir o ponto alto da curva, teria como motivadores uma maior consciência ambiental, consumo de produtos mais duráveis e menos embalagens, adoção de práticas de reuso e reciclagem. Além disso, o aumento da renda *per capita* é correlacionado com um enriquecimento econômico geral que permitiria a implementação de políticas públicas mais eficientes de coleta seletiva, investimentos em infraestrutura para tratamento e disposição final adequada dos resíduos. Por fim, no lado da produção de bens de consumo, também ter-se-ia a adoção de tecnologias mais limpas e processos produtivos que geram menos resíduos.

A hipótese da existência da CAK para os RSU depende, claramente, de características socioeconômicas como o nível de educação, cultura, hábitos de consumo da população; de condições ambientais como o acesso a serviços de saneamento básico, disponibilidade de recursos naturais e outros; assim como de políticas públicas e instrumentos de gestão como as leis e regulamentações.

Morel, Triaca e Souza (2016), estudando municípios brasileiros, confirmaram a CAK para a disposição final de resíduos sólidos. A análise revelou que os municípios em diferentes estágios de desenvolvimento econômico apresentam diferentes padrões de geração de resíduos sólidos, sendo que os menos desenvolvidos tendem a gerar menos resíduos, enquanto aqueles em estágios intermediários de desenvolvimento geram mais resíduos. Nos estágios mais avançados de desenvolvimento, a geração de resíduos tende a diminuir novamente.

Os autores observaram desigualdades regionais significativas na geração e disposição de resíduos sólidos, sendo que regiões mais desenvolvidas economicamente tendem a ter melhores infraestruturas para a gestão de resíduos, enquanto regiões menos desenvolvidas enfrentam maiores desafios. O artigo sugere que as políticas de gestão devem ser adaptadas às especificidades regionais e aos diferentes estágios de desenvolvimento econômico dos municípios. Incentivos para a redução da geração de resíduos e o aumento da reciclagem são recomendados.

Mais recentemente, Bayer, Uranga e Fochezatto (2022) re-investigaram a existência da CAK na relação entre o PIB *per capita* e a geração de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros com base em modelo de dados em painel para o período de 2011 a 2015. Os autores também confirmaram a hipótese da CAK, indicando que, inicialmente, o crescimento econômico aumenta a produção de resíduos sólidos, mas, após atingir um certo nível de renda, a produção de resíduos começa a diminuir. Diferenças regionais também foram identificadas: a produção de resíduos sólidos é menor nos municípios das regiões Sudeste e Sul em comparação

com os da região Nordeste, enquanto as diferenças para as regiões Norte e Centro-Oeste não foram significativas.

Adicionalmente, Bayer, Uranga e Fochezatto (2022) mostraram que a cobrança pelo serviço de coleta e a coleta seletiva tendem a reduzir a geração de resíduos sólidos *per capita*, em linha com a previsão da teoria econômica clássica de que a cobrança pela prestação de um serviço induz sua eficiência. A análise revelou que a densidade populacional e a atividade turística (medida pela taxa de emprego em hotéis e similares) têm uma relação positiva com a produção de resíduos sólidos. Municípios com maior densidade populacional e aqueles com maior atividade turística produzem mais resíduos sólidos *per capita*. Por outro lado, a coleta seletiva e a cobrança pelo serviço de coleta de lixo estão associadas a uma menor produção de resíduos sólidos *per capita*.

Huang *et al.* (2021) também investigam a relação entre a geração de RSU e variáveis socioeconômicas utilizando a hipótese da CAK, mas o fazem em diversos países do mundo. Abrangendo as 11 maiores economias do mundo, representando metade da população global, e analisando dados desde a década de 1960, os autores descobriram que o porte da população tem o impacto mais significativo na geração total de RSU, superando a relevância de todos os indicadores econômicos. Em economias desenvolvidas, há um ponto de inflexão ou estabilização na relação entre a geração *per capita* de RSU e o produto interno bruto *per capita*, o que sugere a confirmação da CAK, ao menos em sua fase inicial (relação positiva a taxas decrescentes e posterior estabilização).

Os asiáticos Singapura e Coréia do Sul, por exemplo, atingiram o ponto de inflexão por volta de 1990, enquanto outras economias desenvolvidas o alcançaram em 2000. A Alemanha chegou a um ponto de estabilização em 1990, assim como os Estados Unidos, embora com algumas variações. Em economias desenvolvidas, os efeitos temporais heterogêneos sobre a taxa de geração de RSU *per capita* são mais

significativos do que os efeitos de renda heterogêneos, o que contrasta com as economias em desenvolvimento, que ainda estão em estágios iniciais da CAK. Os autores sugerem que, enquanto a renda *per capita* é um fator importante em países em desenvolvimento, a população é o principal fator impulsionador da geração total de RSU.

A revisão bibliográfica apresentada destaca estudos que abordam a geração de RSU e sua relação com variáveis socioeconômicas, permitindo concluir que o grau de desenvolvimento econômico, a urbanização e os padrões de consumo são fatores que contribuem significativamente para o aumento da geração de RSU. Entretanto, modelos de larga escala têm dificuldade em obter boas previsões devido à variabilidade espacial e temporal dos dados. É nítida a importância de utilizar dados locais e projeções demográficas para obter previsões mais precisas da geração de RSU.

Estudos como o de Pisani, Castro e Costa (2018) para municípios de São Paulo, e Wu *et al.* (2020) para a China, demonstram que a precisão das previsões aumenta significativamente quando os modelos são ajustados para regiões específicas, considerando suas particularidades. Izquierdo-Horna, Kahhat e Vázquez-Rowe (2022) recomendam uma abordagem holística que integre variáveis socioculturais, ambientais e econômicas, coletadas por meio de dados primários, para obter resultados mais representativos na gestão de resíduos.

No caso específico da Região Metropolitana de São Paulo, é possível que esteja no topo da Curva Ambiental de Kuznets (CAK), sugerindo que a taxa de geração de resíduos sólidos tende a se estabilizar e, eventualmente, diminuir. Dado o alto nível de urbanização e desenvolvimento econômico de São Paulo, vislumbra-se um papel minimizado do PIB como fator de aumento na geração de resíduos. Em vez disso, ganham relevância as tendências demográficas, de urbanização e os padrões de consumo da população.

### 3.3. Projeção populacional

#### 3.3.1. Tendências da população

São Paulo é o estado mais populoso do Brasil, com 44,41 milhões de habitantes, segundo o Censo de 2022. Em 2010, apresentava um contingente populacional de 41,26 milhões, ou seja, 3,15 milhões de habitantes a menos do que atualmente. A área de abrangência do PGIRS-AT cobre um total de 42 municípios e representa 47,0% da população do estado. O município de São Paulo, sozinho, com seus 11,45 milhões de habitantes, representa 25,8% da população estadual e 54,9% da população da área de estudo.

Para considerar as perspectivas futuras desse território de interesse, primeiramente, se observam os resultados do instrumento de planejamento mais próximo a este: o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo (PERS/SP) de 2020. Este plano estabelece diretrizes, metas e cenários para a gestão de resíduos, com um horizonte de planejamento de 20 anos. Eis que o PERS/SP utiliza projeções populacionais elaboradas pela Fundação SEADE.

Referencia-se diretamente, pois, o estudo "A População Regional Paulista em Perspectiva Histórica: Projeções demográficas até 2050" da Fundação SEADE (2017), que analisa a evolução da população do Estado de São Paulo e suas regiões desde o início do século XX, além de apresentar projeções demográficas até 2050 (Tabela 31). O trabalho destaca as transformações ocorridas na dinâmica populacional paulista ao longo do tempo, influenciadas por fatores como a transição demográfica, a urbanização e os fluxos migratórios.

Tabela 31: Projeções populacionais da Fundação SEADE.

	População Residente Projetada				
	2010	2020	2030	2040	2050
Estado de São Paulo	41.223.683	44.639.899	46.825.450	47.629.261	47.203.417
Região Metropolitana de São Paulo	19.667.558	21.138.247	22.143.440	22.622.218	22.588.519

Fonte: SEADE (2017). Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções indicam que a população do Estado de São Paulo continuará crescendo nas próximas décadas, porém em ritmo cada vez mais lento, passando de 44,6 milhões em 2020 para 47,2 milhões em 2050. Além disso, o estudo aponta para o envelhecimento populacional, com aumento da proporção de idosos e redução da participação de crianças e jovens na população total. Essas tendências terão impactos significativos em diversas áreas, como saúde, educação, previdência e mercado de trabalho, exigindo políticas públicas adequadas para lidar com os desafios futuros. A análise considerou resultados dos censos demográficos e as estatísticas do Registro Civil e produziu resultados a nível municipal, o que é relevante para este Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

As projeções populacionais realizadas no âmbito do Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (PBH-AT) de 2018, também fazem uso desse mesmo estudo da SEADE como base para pormenorizar as trajetórias dos municípios componentes da bacia e compilar seus graus de urbanização e densidade populacional. As projeções são apresentadas para os 40 municípios que integram a Bacia, com horizontes de 2019, 2027, 2035 e 2045.

Entre 2015 e 2045, espera-se um aumento populacional de aproximadamente 2,26 milhões de habitantes, principalmente em áreas periféricas já ocupadas, como Taboão da Serra. Na porção central da área de estudo, incluindo São Paulo, o crescimento populacional projetado é negativo. Cerca de 72% do incremento populacional projetado para 2045 deve ocorrer em áreas já ocupadas, indicando

adensamento, especialmente próximo a áreas de mananciais. Isso resulta do continuado processo de urbanização, que se projeta intensificar: o grau de urbanização chega em 2050 a 97,3%, especialmente na Região Metropolitanas de São Paulo.

Os principais incrementos populacionais projetados incluem:

- Cerca de 170 mil pessoas a mais em Itapevi, Barueri, Jandira e Carapicuíba;
- Cerca de 400 mil pessoas no entorno da Área de Proteção dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga;
- Cerca de 170 mil pessoas a mais em Diadema, São Bernardo do Campo e ao sul do município de São Paulo;
- Cerca de 410 mil pessoas a mais na região leste de São Paulo, Mauá, Ferraz de Vasconcelos, Poá e Itaquaquetuba;
- Cerca de 50 mil pessoas adicionais em Mogi das Cruzes e Suzano;
- Cerca de 190 mil pessoas adicionais em Guarulhos; e
- Cerca de 190 mil pessoas adicionais em Mairiporã, Caieiras, Franco da Rocha e Francisco Morato.

Outro órgão que realiza projeções populacionais de longo curso para o Brasil e para seus estados é o IBGE. Estas projeções articulam a dinâmica intercensitária e o desenrolar das passagens de gerações, as quais refletem as modificações no perfil demográfico. As duas últimas edições das projeções demográficas do IBGE foram publicadas em 2008 e 2018 (IBGE, 2018). Segundo as projeções da última revisão das projeções (2018) para São Paulo, o estado teria em 2022 uma população de 46,99 milhões de habitantes que subiria para 49,32 milhões em 2030, chegando a 51,01 milhões em 2040 e, finalmente, a 51,41 milhões em 2050.

Apesar de apontarem um crescimento absoluto da população, as taxas de crescimento são paulatinamente decrescentes, o que evidencia a estabilização das taxas de natalidade em patamares inferiores aos da reposição. O Estado de São Paulo atravessa uma transição demográfica bastante marcada pelas baixas taxas de crescimento populacional. Enquanto em 2010 a Taxa Geométrica de Crescimento (TGC)

era de 0,97, o IBGE projetou uma TGC de 0,81 para 2020, que se reduz para 0,49 em 2030, 0,22 em 2040 e atinge -0,03 em 2050.

Nota-se que para os 42 municípios da área de estudo, a TGC histórica já registra esse movimento de decréscimo. Entre 1991 e 2000, a população aumentou de 15,54 milhões para 17,98 milhões, com uma TGC de 1,63%. Entre os anos de 2000 e 2010, no entanto, a população passou para 19,80 milhões de habitantes, ou seja, uma TGC de 0,97%. Já entre os anos de 2010 e 2022, a população aumentou para os atuais 20,86 milhões de habitantes, denotando uma TGC de 0,44%.

Parte dessa acentuada queda decorre da redução na fecundidade total (número de filhos por mulher), que no Estado de São Paulo era de 1,67 em 2010, aumentou para 1,72 em 2020 e começará a diminuir para 1,70 em 2030. Nas décadas seguintes, a fecundidade total será de 1,68 em 2040 e de 1,67 em 2050. Esses níveis são comparáveis aos europeus (1,75) e estão significativamente abaixo da taxa de reposição de 2,1, necessária para compensar os indivíduos que morrem antes de atingir a idade reprodutiva.

Embora as taxas de fecundidade estejam estabilizadas abaixo da taxa de reposição, a quantidade absoluta da população tende a continuar subindo, embora a ritmos decrescentes. Parte da explicação para essa conclusão está na queda da taxa de mortalidade infantil: enquanto o Estado de São Paulo registrou uma taxa de mortalidade de 11,98 em 2010, esperava-se uma redução significativa para 8,77 em 2020. Em 2030, essa taxa deve chegar a 6,91 e, em 2040, atingir 5,85. Já em 2050, estima-se que a taxa seja de 5,26

A esperança de vida ao nascer é outro indicador que apresenta uma clara tendência de melhora. Segundo as projeções do IBGE, a expectativa de vida em São Paulo - que era de 76,10 anos em 2010, foi de XX em 2020. Já para as décadas seguintes, estima-se a expectativa salte para 80,86 em 2030; 81,83 em 2040; e 82,34 em 2050.

Os resultados do Censo Demográfico de 2022 revelaram que as projeções para a população paulista de 2022 eram superiores: enquanto estimava-se haver 46,99 milhões de paulistas, registrou-se efetivamente 44,41 milhões de habitantes. A diferença que o número absoluto revela se justifica com base em dois fatores: um deles é intrínseca à uma intensificação dos movimentos demográficos ora em comento, quais sejam, quedas maiores nas taxas de fecundidade, nas taxas de mortalidade infantil e ampliação da expectativa de vida ao nascer; o outro deles é o saldo das migrações internas e externas, que pode ter colaborado para a redução populacional.

Uma vez que os movimentos demográficos são lentos e menos voláteis que os movimentos em outras searas (como os econômicos, por exemplo), as projeções demográficas tendem a ser relativamente certas e estáveis. Não obstante, a combinação da mudança simultânea e em grande intensidade das características de fecundidade e mortalidade fez com que houvesse uma diferença razoável entre as estimativas e os resultados do censo (Tabela 32).

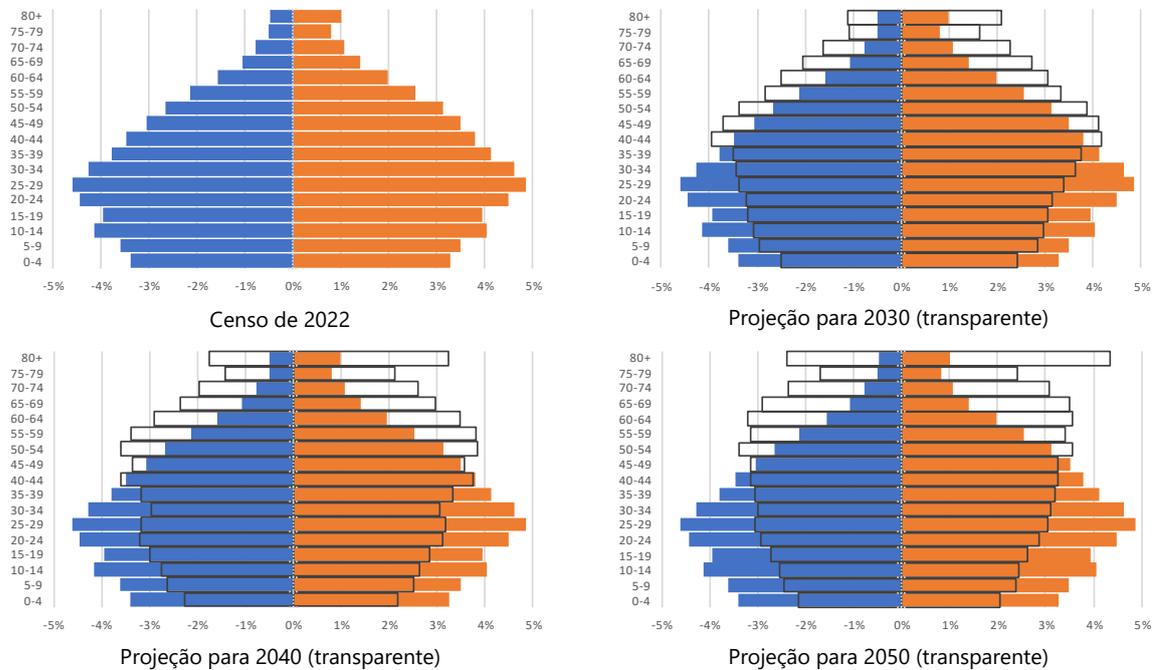
*Tabela 32: População atual total dos municípios da área de estudo contra estimativas pré-censitárias.*

	Resultados Populacionais (habitantes)	Diferença das estimativas para o Censo
Resultado do Censo Demográfico de 2022	20.858.955	-
População estimada pela Fundação SEADE para 2022	21.611.906	-752.951
População estimada pelo IBGE para 2021	22.178.748	-1.319.793

Fonte: IBGE e SEADE. Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

De toda forma, é ilustrativo observar a distribuição etária da população dos 42 municípios da área de estudo, revelando a continuidade do estreitamento da base da pirâmide etária concomitante ao alargamento do seu centro e, também, aumento de seu topo. Em 2010, 21,9% da população da área de estudo tinha menos de 15 anos; já em 2022, essa razão caiu para 18,0%. Em contrapartida, a proporção da população com mais de 65 anos, que era de 7,1% em 2010, passou a ser de 11,3% em 2022. Esta

modificação na estrutura etária pode ser observada pelas pirâmides demográficas abaixo, que seguem seu curso de mudança de acordo com as projeções do IBGE para os anos de 2030, 2040 e 2050 (Figura 6).



**Figura 6: Pirâmides etárias dos 42 municípios do PGIRS-AT (homens em azul, mulheres em laranja) em 2022 e projeções para 2030, 2040 e 2050.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Esses dados traduzem a modificação estrutural na demografia de todo o país e evidenciam a interação em diversos graus de aspectos como a independência feminina, melhor instrução, maior capacidade de planejamento familiar, melhores acessos às formas de controle de natalidade e uma maior renda. Existem, outrossim, uma miríade de outros aspectos plausíveis que, embora certamente influentes, são menos claros quando de uma análise generalista. De toda forma, como próxima fase da transição demográfica, os baixos níveis de fecundidade e mortalidade geram crescimento populacional mais lento, com diminuição do peso da população em idade ativa e significativo envelhecimento da estrutura etária.

Tem-se, assim, a comprovação do arrefecimento do fenômeno conhecido como "bônus demográfico", pois a população mais velha, que volta a demandar serviços

públicos e seguridade social, já passa a compor frações crescentes da população, reduzindo os ganhos econômicos da transição. Durante o "bônus demográfico", fase que infelizmente já perde forças, a proporção de pessoas em idade economicamente ativa é bastante superior à de dependentes (crianças e idosos), resultando em menor pressão sobre os recursos econômicos e sociais.

Em 2010, 50,4% da população da bacia tinha entre 15 e 44 anos; já em 2022, essa razão caiu para 46,1%. Em contrapartida, a proporção da população com idade entre os 45 e os 64 anos, que era de 20,6% em 2010, passou a ser de 24,6% em 2022. O índice de envelhecimento, calculado como a razão da população de 65 anos ou mais sobre a população de até 15 anos, que era de 34,38 em 2010, é estimado para 55,38 em 2020. Para 2030, esse índice deve ser de 84,83, subindo ainda mais para 120,13 em 2040 e finalmente chegando em 158,39 em 2050.

Embora haja expectativa de mudanças populacionais brandas em termos quantitativos, a modificação na estrutura etária evidenciada pelas pirâmides demográficas terá diversas consequências. Além dessa modificação, deverá ocorrer nas próximas décadas, outras duas mudanças significativas: a continuidade da diminuição da razão de habitantes por domicílio e a continuidade no processo de urbanização.

O primeiro fenômeno decorre, principalmente, de dois fatores, o primeiro sendo a "aproximação" relativa do meio periurbano e rural com o urbano, devido tanto à infraestrutura física (deslocamentos facilitados, tanto por via terrestre quanto aérea) quanto à virtual. As consequências da pandemia da Covid-19 permitiram reocupar, de certa forma, localidades mais remotas e menores sem romper vínculos de trabalho devido às possibilidades de teletrabalho. Embora ainda não se possa avaliar esse fenômeno com a devida precisão, pode-se de forma plausível conceber uma situação em que muitos desses profissionais permaneçam longe dos centros urbanos e, com isso, acabem por gerar uma alteração na dinâmica das cidades interioranas e nas franjas da Grande São Paulo.

Já o segundo elemento é uma combinação entre os ganhos de renda da população e as novas estruturas familiares. A relação de habitantes por domicílio no Estado de São Paulo, que era de 3,54 em 2000, passou a ser de 3,20 em 2010 e, segundo os resultados do último recenseamento (2022), caiu ainda mais para 2,72. Estes mesmos indicadores, ponderados pela população total de forma a produzir um índice único para os 42 municípios do PGIRS-AT, são de 3,55 em 2000; 3,22 em 2010; e 2,72 em 2022.

Embora esse fator seja crucial para o planejamento urbano e de seus serviços públicos correlatos (um dos principais deles sendo o gerenciamento dos resíduos sólidos), tende a ser informação de baixa repercussão nos planos setoriais (não sendo sequer mencionado no PERS/SP, por exemplo). A Tabela 33 apresenta os resultados da densidade domiciliar (moradores em domicílios particulares permanentes ocupados divididos pela quantidade de domicílios particulares permanentes ocupados) com base nos últimos três recenseamentos. Traz, ainda, a tendência linear calculada de duas formas: a primeira com base nas três informações (censos de 2000, 2010 e 2022), refletindo 20 anos de modificações demográficas, e a outra com base nos resultados dos últimos dez anos (2010 e 2022).

Tabela 33: Resultados e tendências da relação de habitantes por domicílio.

Município	Censo de 2000	Censo de 2010	Censo de 2022	Coeficiente angular	
				2000-2022	2010-2022
Arujá	3,8456	3,4833	2,9497	-0,0408	-0,0445
Barueri	3,7477	3,3514	2,8892	-0,0390	-0,0385
Biritiba Mirim	3,8288	3,3977	2,8385	-0,0451	-0,0466
Caieiras	3,7331	3,3982	2,8992	-0,0380	-0,0416
Cajamar	3,6744	3,3237	2,8360	-0,0382	-0,0406
Carapicuíba	3,7468	3,3982	2,8264	-0,0420	-0,0477
Cotia	3,8144	3,3884	2,8534	-0,0437	-0,0446
Diadema	3,6149	3,2853	2,7092	-0,0414	-0,0480
Embu-Guaçu	3,8608	3,5177	2,8429	-0,0466	-0,0562
Embu das Artes	3,8823	3,4468	2,8480	-0,0471	-0,0499
Ferraz de Vasconcelos	3,8731	3,4726	2,9085	-0,0439	-0,0470
Francisco Morato	3,9153	3,5082	2,8606	-0,0481	-0,0540
Franco da Rocha	3,8566	3,4044	2,8419	-0,0461	-0,0469
Guararema	3,6778	3,3141	2,8129	-0,0394	-0,0418
Guarulhos	3,6724	3,3672	2,8499	-0,0376	-0,0431
Itapecerica da Serra	3,8180	3,4831	2,8933	-0,0423	-0,0492
Itapevi	3,8750	3,4828	2,8346	-0,0475	-0,0540
Itaquaquecetuba	3,9418	3,5841	3,0207	-0,0420	-0,0469
Jandira	3,7485	3,3281	2,8095	-0,0427	-0,0432
Juquitiba	3,8210	3,2445	2,7287	-0,0494	-0,0430
Mairiporã	3,6957	3,4731	2,8299	-0,0398	-0,0536
Mauá	3,6642	3,3116	2,7341	-0,0425	-0,0481
Mogi das Cruzes	3,6904	3,3201	2,8400	-0,0387	-0,0400
Nazaré Paulista	3,5581	3,1550	2,7042	-0,0388	-0,0376
Osasco	3,5957	3,2958	2,7752	-0,0375	-0,0434
Paraibuna	3,7217	3,2109	2,6572	-0,0483	-0,0461
Pirapora do Bom Jesus	3,7815	3,5792	3,0046	-0,0357	-0,0479
Poá	3,8167	3,4602	2,9285	-0,0405	-0,0443
Ribeirão Pires	3,6740	3,3315	2,7768	-0,0410	-0,0462
Rio Grande da Serra	3,7956	3,3186	2,7992	-0,0452	-0,0433
Salesópolis	3,6224	3,3291	2,7901	-0,0381	-0,0449
Santa Isabel	3,6690	3,2835	2,8307	-0,0381	-0,0377
Santana de Parnaíba	3,8715	3,4403	2,9449	-0,0421	-0,0413
Santo André	3,4594	3,1278	2,6594	-0,0365	-0,0390
São Bernardo do Campo	3,5361	3,1849	2,6929	-0,0384	-0,0410
São Caetano do Sul	3,2067	2,9405	2,6607	-0,0248	-0,0233
São Lourenço da Serra	3,6938	3,2321	2,7387	-0,0433	-0,0411
São Paulo	3,4625	3,1362	2,6453	-0,0373	-0,0409
São Roque	3,6062	3,3107	2,7854	-0,0375	-0,0438
Suzano	3,8245	3,4975	2,9017	-0,0422	-0,0497
Taboão da Serra	3,7330	3,3762	2,7491	-0,0450	-0,0523
Vargem Grande Paulista	3,8427	3,4133	2,8515	-0,0451	-0,0468

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

O município com a maior densidade domiciliar em 2022 é Itaquaquecetuba, com 3,02 habitantes por domicílio, enquanto o menor valor é observado em São Caetano do Sul, com 2,66. Observa-se que a redução da densidade domiciliar ocorreu em todos os 42 municípios do PGIRS-AT.

Barueri, por exemplo, apresentou uma das menores quedas absolutas no período 2000-2022, passando de 3,75 para 2,89 habitantes por domicílio (-0,86). Seu coeficiente angular 2000-2022 foi de -0,0390, abaixo da média da área de estudo. Já o município de São Paulo, que concentra praticamente metade da população do território, teve uma redução de 3,46 para 2,65 habitantes por domicílio entre 2000 e 2022 (-0,82). Seu ritmo de queda, expresso pelo coeficiente angular de -0,0373, ficou próximo à média regional.

Já São Roque, também a título de exemplo, registrou uma diminuição um pouco mais acentuada, de 3,61 para 2,79 habitantes por domicílio (-0,82), com coeficiente angular de -0,0375 no período 2000-2022. As maiores reduções absolutas no período 2000-2022 ocorreram em Embu-Guaçu (-1,02), Francisco Morato (-1,05) e Itapevi (-1,04). Já as menores quedas foram registradas em São Caetano do Sul (-0,55), Pirapora do Bom Jesus (-0,78) e Barueri (-0,86).

O coeficiente angular da tendência linear dos últimos vinte anos (2000-2022), que representa a taxa média de redução anual da densidade domiciliar, varia de -0,0248 (São Caetano do Sul) a -0,0494 (Juquitiba). Valores mais negativos indicam um ritmo mais acelerado de queda. Comparando os coeficientes angulares dos últimos vinte anos com o dos últimos dez anos (2010-2022), nota-se que, na maioria dos municípios, a taxa de redução se intensificou na última década, o que sugere que a transição para arranjos domiciliares menores tem se acelerado.

Os resultados apresentados até aqui deixam claro que, embora os movimentos demográficos sejam mais lentos e menos voláteis que os movimentos em outras searas (econômicos, por exemplo), as projeções demográficas embutem incertezas. As

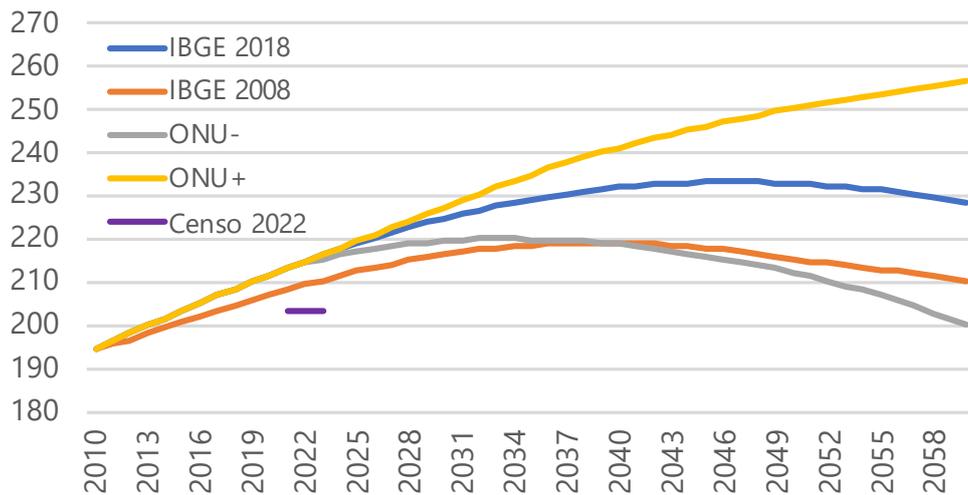
transformações simultâneas e intensas nas taxas de fecundidade, mortalidade e migração podem fazer com que haja um leque de futuros plausíveis nos próximos 20 anos. Dado que o objetivo dos cenários é embasar o planejamento estratégico e explicitar tais incertezas, deve-se elaborar cenários demográficos que permitam antecipar tendências, como o estreitamento da base e o alargamento do topo da pirâmide etária, e seus impactos sobre demandas correlatas aos resíduos sólidos.

Reconhecendo as inerentes incertezas quanto aos desdobramentos demográficos, cabe apresentar outras perspectivas de evolução da população, notadamente as trazidas pela divisão populacional da Organização das Nações Unidas (ONU, 2023). O órgão multilateral realiza estimativas para todas as nações globais em perspectivas de baixo, médio e de alto crescimento demográfico. As variações entre as três projeções levam em consideração uma diversidade de fatores globais, tais como a abertura comercial, a maior ou menor cooperação entre países, efeitos possíveis de guerras domésticas e outros fatores exógenos - exatamente o que se almeja ilustrar com a variação dos cenários, refletindo assim distintas possibilidades de futuro.

De acordo com a versão mais recente do estudo da ONU, em um contexto de crescimento demográfico acelerado, o Brasil terá cerca de 227 milhões de habitantes em 2030, continuando a crescer para 240 milhões em 2040 e 250 milhões em 2050. Embutido na previsão de alto crescimento estão maiores ganhos em longevidade - bem como a ausência de doenças e outros eventos que podem afetar grandes contingentes populacionais de forma abrupta, como por exemplo, o observado na pandemia de Covid-19.

Por outro lado, com projeções de baixo crescimento demográfico e a ocorrência de eventos desfavoráveis, o Brasil terá 219 milhões de habitantes em 2030, permanecerá estável com 219 milhões em 2040 e diminuirá para 212 milhões em 2050. Destaca-se que as projeções de crescimento médio da ONU estão alinhadas com as do IBGE em sua revisão mais recente (2018).

A Figura 7 apresenta as projeções de longo prazo para a população brasileira, partindo dos resultados do censo demográfico de 2010. A figura inclui também as projeções de alto e baixo crescimento demográfico da ONU (ONU+ e ONU-, respectivamente), bem como as duas projeções do IBGE (versão 2008 e versão 2018). Para referência, é apresentado o resultado do censo demográfico de 2022.



**Figura 7: Projeções demográficas para o Brasil (milhões de habitantes).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Nota-se que as projeções do IBGE de 2008 e 2018 superestimaram a população brasileira para 2022 em relação aos dados censitários. Observa-se também que as projeções da ONU apresentam um intervalo mais amplo, com a estimativa superior (ONU+) bem acima das projeções do IBGE e a inferior (ONU-) abaixo do Censo 2022 no longo prazo. Além de ilustrar as incertezas inerentes às projeções populacionais de longo prazo, essas projeções de referência para o Brasil serão utilizadas para derivar as projeções requeridas pelo presente Plano: projeções a nível municipal, incluindo segregações entre a população urbana e rural e a densidade de habitantes por domicílio.

### 3.3.2. Projeções populacionais municipais

Conforme pontuado acima, as projeções populacionais por município paulista, calculadas pela Fundação SEADE, não se apresentam como adequadas para a realização das projeções deste plano haja vista o descolamento entre as estimativas anteriores e os resultados do Censo Demográfico de 2022. Dessa forma, a opção escolhida para se realizar projeções populacionais a nível municipal é por meio da aplicação de metodologia de regionalização de projeções populacionais de referência para o Brasil (nas perspectivas de crescimento do IBGE e da ONU mais e menos intensa).

O primeiro passo para tal é a correção do viés de superestimação verificada entre as estimativas de 2022 e os resultados efetivos para o mesmo ano. Esse ajuste mantém a mesma trajetória das projeções de referência, porém iniciando-se de uma base conhecida. Para tal, aplica-se as variações percentuais das projeções de referência aos dados, ajustando-se as curvas de referência. Essa mecânica é feita para a projeção do IBGE de 2018 e para cada um dos dois cenários alternativos (ONU+ e ONU-).

A projeção da distribuição da população Brasil em cada UF e, posteriormente, a projeção da distribuição da população de cada UF em seus municípios componentes, se dá com base na metodologia *mutatis-mutandi*. Essa metodologia trata da alocação da variável desejada (a população municipal) por meio do grau de participação relativa projetado de seus agregados maiores, que são, nessa ordem: a região imediata na qual o município se encontra; a região intermediária na qual a região imediata se encontra; o estado no qual a região intermediária se encontra; e, por fim, a região do país na qual o estado se encontra.

Em termos matemáticos, tem-se como exemplificação o último passo da desagregação das projeções nacional para a municipal, que é dada pela passagem da projeção da participação relativa da região imediata para a população de um município  $i$  em um dado ano  $t$ :

$$Pop_{mun_{it}} = Pop_{região_{imediate}_{it}} \cdot GPR_{mun_{it}}$$

onde: GPR = grau de participação relativa, definido por sua vez como:

$$GPR_{mun_{it}} = GPR_{mun_{it-1}} \cdot \alpha_{mun_{it}}$$

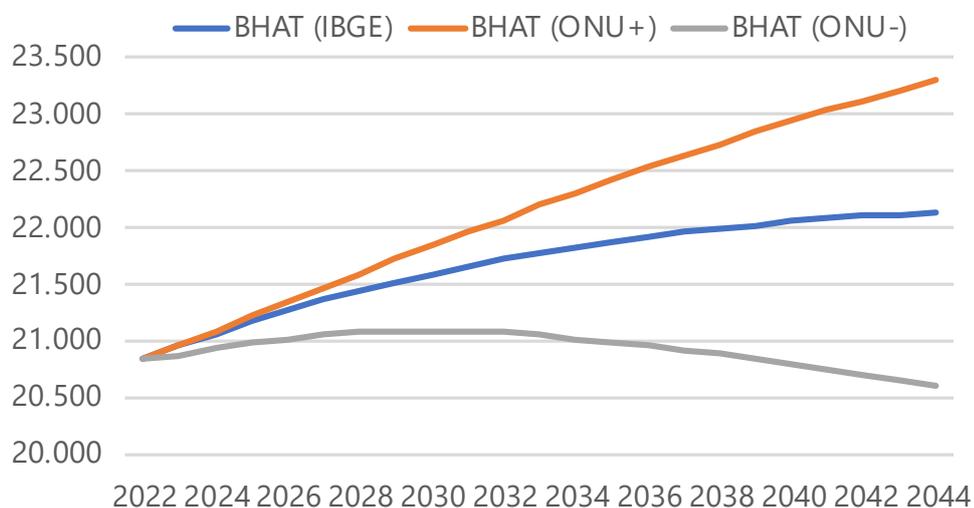
onde:  $\alpha$  = variação do grau de participação relativa do município na sua região imediata.

Como vê-se, na metodologia adotada é o grau de participação relativa que varia, ano a ano, em função da continuidade da tendência verificada pelo histórico de 2000 até 2022 sendo aplicado à projeção da população brasileira para os três cenários de população (IBGE, ONU+ e ONU-).

Um último ajuste se dá na continuidade limitada da influência do passado. De forma a não se carregar para o futuro influências de um histórico que não necessariamente irá se repetir, aplica-se um decréscimo geometricamente progressivo no grau de influência do passado, que se estende a partir do décimo ano de projeção até o vigésimo, a partir do qual a influência do histórico passa a ser nula.

Por fim, outro tratamento necessário às projeções demográficas de âmbito municipal, é o tratamento da população urbana e rural. Para tal, é projetada a continuidade do grau de urbanização passado (revelada pelos censos demográficos de 2000, 2010 e 2022) para cada município por meio de equação polinomial de 2º grau, com os seguintes limitadores: i) não se permite redução da urbanização, uma vez que o histórico mostra que essa situação, embora possível, seja exceção; e ii) não se permite urbanizar acima da taxa de urbanização dada pela soma da situação de 2022 com 85% da amplitude da urbanização verificada entre 2000 e 2022, de forma a impedir movimentos muito bruscos e, assim, possivelmente equivocados (como passar de 30% para 80% de urbanização, por exemplo), especificamente em municípios de menor porte.

Os resultados da regionalização das projeções demográficas, enfim, são apresentados na Figura 8, que ilustra o comportamento geral para todo o conjunto de municípios do PGIRS-AT, exibindo os três cenários de evolução populacional ao longo dos anos de 2022 a 2044. O cenário representado pela linha azul, que regionaliza as macrotendências do IBGE, pode ser visto como tendencial. Traz um crescimento populacional moderado, partindo dos 20,85 milhões de habitantes revelados pelo Censo Demográfico de 2022 e atingindo 22,14 milhões de habitantes em 2044. Trata-se do acréscimo de 1,29 milhão de habitantes, ou ainda 6,2% da população atual.



**Figura 8: Projeções demográficas para os municípios do PGIRS-AT (mil habitantes).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já o cenário de crescimento demográfico mais intenso, que regionaliza para cada município da área de estudo as projeções da ONU de alto crescimento, ilustrado pela linha laranja, projeta um crescimento populacional bastante acentuado, que atinge em 2044 23,30 milhões, superando os outros dois cenários. Representa o acréscimo de 2,46 milhões de habitantes, ou ainda 11,8% a mais do que a população atual da área de estudo.

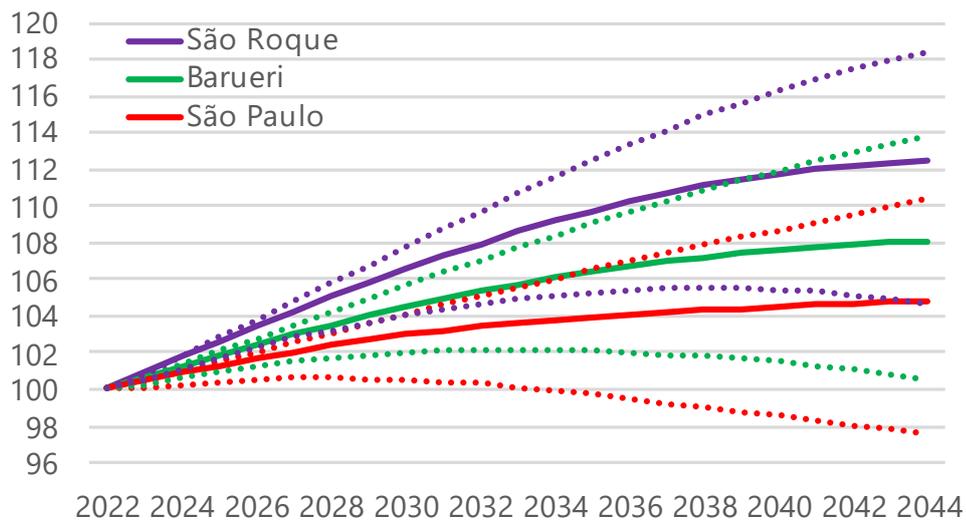
Em contraponto, o cenário ONU- (representado pela linha cinza) regionaliza as projeções da ONU de baixo crescimento. Nessa perspectiva, tão plausível quanto às demais, a população dos 42 municípios cresce em termos absolutos até o ano de 2030,

quando atinge 21,08 milhões de habitantes. Após esse ano, no entanto, a população passa a se reduzir até atingir 20,59 milhões em 2044. A variação nesse último ano de plano, daqui a vinte anos, seria de apenas 252 mil habitantes (1,2% a menos do que a população atual). Trata-se, pois, de um cenário que representa uma grande estabilidade populacional ao longo de todo o período de planejamento.

É importante ressaltar que, como todas as projeções, estas são estimativas baseadas em diferentes metodologias e premissas. Fatores como as taxas de natalidade, mortalidade e, principalmente, migração, serão determinantes da trajetória que será efetivamente percorrida ao longo dos próximos vinte anos.

Adicionalmente, as projeções de cada município apresentam variações próprias. Não são todos os municípios que têm suas populações reduzidas daqui a 20 anos no cenário ONU-; de forma análoga, mas em sentido oposto, não são todos os municípios que crescem relativamente pouco no cenário tendencial. É possível destacar, a título de exemplo dos movimentos individuais dos municípios, três deles que apresentam comportamentos distintos: São Roque, Barueri e São Paulo.

A Figura 9 apresenta as variações percentuais da população nos três cenários para estes municípios e usando o ano de 2022 como base 100. O uso dessa base significa que o valor populacional de 2022 é representado como 100, e os valores dos anos seguintes são exibidos como a variação em relação a esse valor base. Por exemplo, um resultado de 110 no ano de 2034 representa um crescimento de 10% sobre o valor do ano base, ou seja, sobre a população de 2022. Essa mecânica traz a vantagem de destacar o crescimento relativo de cada município em comparação com o ano inicial de 2022, independentemente do tamanho absoluto de suas populações.



**Figura 9: Projeções demográficas nos três cenários para municípios selecionados da área de estudo (Base 100 = 2022).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Torna-se claro, pela Figura 9, que o município de São Roque apresenta as maiores projeção de crescimento populacional relativo dentre os três municípios destacados. Sua população pode chegar a 2044 sendo de 5% a 18% maior, com o resultado tendencial apontando para um crescimento de 12%. De fato, as projeções para o município de São Roque são tão intensas que no cenário de menor crescimento (ONU-), sua população cresce mais (em termos relativos, claramente) do que a do município de São Paulo no cenário tendencial. Em termos absolutos, significa que o município que atualmente conta com 79,48 mil habitantes pode chegar a ter de 83 mil a 94,10 mil habitantes em 2044.

O município de São Paulo, por sua vez, com seus 11,45 milhões de habitantes, é o que apresenta as menores trajetórias de crescimento populacional. Em todos os três cenários, é o local onde mais cedo se dá a estabilização do crescimento de sua população. Sob a perspectiva de menor crescimento (ONU-), São Paulo chega a perder 2,5% de sua população atual (o que representa 280 mil pessoas). Na perspectiva tendencial (IBGE), chega a 2044 com um crescimento de 5%; já na perspectiva de maior crescimento (ONU+), atinge cerca de 10% de crescimento nesse mesmo ano

(adicionando, portanto, um contingente absoluto de 1,19 milhão de pessoas, o equivalente a 92% da população atual do município de Guarulhos).

Segundo projeções do Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo (PMSB-SP), a população do município chegará a 12,26 milhões em 2030 e a 12,76 milhões em 2040. As projeções sob cenário tendencial, ora realizadas, apontam para um contingente menor, de 11,79 milhões em 2030 e de 11,97 milhões em 2040. No cenário de maior crescimento (ONU+), as projeções aqui realizadas montam em 11,92 milhões em 2030 e 12,45 milhões em 2040. Os valores do PMSB-SP, portanto, se mostram superiores, mas relativamente alinhados ao cenário de maior crescimento.

Claramente, as projeções para o município de São Paulo são as mais relevantes em termos de resultados absolutos. No entanto, para a gestão de resíduos sólidos em escala regional, que é o objetivo deste Plano, as variações da população nos outros 41 municípios também são importantes. Como exemplo, o acréscimo de apenas 3,6 mil pessoas em Juquitiba representa um aumento de 13% na quantidade de resíduos sólidos urbanos a serem coletados, tratados e dispostos.

No município de Barueri, que atualmente conta com 316 mil habitantes, a trajetória prospectiva de crescimento se desenrola como em um meio termo entre as trajetórias de São Roque e São Paulo. No cenário de menor crescimento (ONU-), Barueri chegaria a 2044 com o mesmo contingente atual, tendo apresentado pico de crescimento (de cerca de 2% em relação à população atual) por volta de 2030. Já no cenário tendencial (IBGE), chega a 2044 com um contingente populacional 8% maior. Apesar do acréscimo, nota-se que o ritmo de crescimento é decrescente, projetando-se a estabilização ao final desta mesma década. Por fim, no cenário de maior crescimento (ONU+), as trajetórias populacionais de Barueri apontam para um contingente maior em cerca de 13% para o ano de 2044. Nessa perspectiva, a estabilização da população se dá em uma década mais tarde.

Muitos municípios de menor porte absoluto de população e que estão nas regiões satelitais da cidade de São Paulo são os que apresentam maiores tendências de crescimento populacional. No cenário tendencial, os municípios que apresentam as mais altas taxas de crescimento para o ano de 2044 são Barueri, Cotia, Nazaré Paulista, Paraibuna e São Roque. No cenário ONU+, estes municípios chegam a 2044 com populações superiores em 14%.

As três tabelas apresentadas a seguir ((Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36) detalham os resultados cenarizados de cada um dos municípios estudados nesse plano. A Tabela 34 apresenta os resultados para o curto prazo (próximos cinco anos); a Tabela 35, para o médio prazo (próximos dez anos); e a Tabela 36, apresenta o horizonte de longo prazo (próximos vinte anos). De forma a facilitar a interpretação das variações, as tabelas também apresentam a variação percentual da projeção em relação ao ano base (população atual, dada pelo Censo Demográfico de 2022).

Tabela 34: Projeções populacionais de curto prazo para a população total (2029).

Município	População Atual (Censo 2022)	Projeções de Curto Prazo (2029)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		População	Var. rel. atual	População	Var. rel. atual	População	Var. rel. atual
Arujá	86.678	90.038	3,88%	90.855	4,82%	88.177	1,73%
Barueri	316.473	329.250	4,04%	332.237	4,98%	322.447	1,89%
Biritiba Mirim	29.683	30.826	3,85%	31.106	4,79%	30.190	1,71%
Caieiras	95.032	98.705	3,87%	99.600	4,81%	96.665	1,72%
Cajamar	92.689	96.329	3,93%	97.203	4,87%	94.339	1,78%
Carapicuíba	386.984	401.870	3,85%	405.517	4,79%	393.567	1,70%
Cotia	274.413	285.489	4,04%	288.079	4,98%	279.591	1,89%
Diadema	393.237	408.236	3,81%	411.940	4,76%	399.801	1,67%
Embu-Guaçu	250.691	260.334	3,85%	262.696	4,79%	254.955	1,70%
Embu das Artes	66.970	69.552	3,86%	70.183	4,80%	68.115	1,71%
Ferraz de Vasconcelos	179.198	186.113	3,86%	187.802	4,80%	182.268	1,71%
Francisco Morato	165.139	171.514	3,86%	173.070	4,80%	167.970	1,71%
Franco da Rocha	144.849	150.457	3,87%	151.822	4,81%	147.348	1,73%
Guararema	31.236	32.443	3,86%	32.738	4,81%	31.773	1,72%
Guarulhos	1.291.771	1.341.727	3,87%	1.353.901	4,81%	1.314.005	1,72%
Itapecerica da Serra	158.522	164.620	3,85%	166.114	4,79%	161.219	1,70%
Itapevi	232.297	241.390	3,91%	243.580	4,86%	236.402	1,77%
Itaquaquecetuba	369.275	383.833	3,94%	387.315	4,89%	375.902	1,79%
Jandira	118.045	122.607	3,86%	123.720	4,81%	120.074	1,72%
Juquitiba	27.404	28.458	3,85%	28.716	4,79%	27.870	1,70%
Mairiporã	93.853	97.493	3,88%	98.378	4,82%	95.479	1,73%
Mauá	418.261	434.122	3,79%	438.060	4,73%	425.152	1,65%
Mogi das Cruzes	451.505	469.472	3,98%	473.732	4,92%	459.772	1,83%
Nazaré Paulista	18.217	19.140	5,07%	19.313	6,02%	18.744	2,89%
Osasco	728.615	757.253	3,93%	764.124	4,87%	741.607	1,78%
Paraibuna	17.667	18.508	4,76%	18.676	5,71%	18.125	2,59%
Pirapora do Bom Jesus	18.370	19.079	3,86%	19.252	4,80%	18.685	1,71%
Poá	103.765	107.740	3,83%	108.717	4,77%	105.513	1,68%
Ribeirão Pires	115.559	120.000	3,84%	121.089	4,79%	117.521	1,70%
Rio Grande da Serra	44.170	45.869	3,85%	46.285	4,79%	44.922	1,70%
Salesópolis	15.202	15.787	3,85%	15.930	4,79%	15.461	1,70%
Santa Isabel	53.174	55.223	3,85%	55.724	4,80%	54.082	1,71%
Santana de Parnaíba	154.105	160.221	3,97%	161.675	4,91%	156.911	1,82%
Santo André	748.919	778.577	3,96%	785.641	4,90%	762.490	1,81%
São Bernardo do Campo	810.729	842.077	3,87%	849.717	4,81%	824.678	1,72%
São Caetano do Sul	165.655	172.079	3,88%	173.641	4,82%	168.524	1,73%
São Lourenço da Serra	16.067	16.687	3,86%	16.838	4,80%	16.342	1,71%
São Paulo	11.451.999	11.759.871	2,69%	11.866.570	3,62%	11.516.893	0,57%
São Roque	79.484	84.113	5,82%	84.876	6,78%	82.375	3,64%
Suzano	307.429	319.554	3,94%	322.453	4,89%	312.951	1,80%
Taboão da Serra	273.542	284.211	3,90%	286.789	4,84%	278.338	1,75%
Vargem Grande Paulista	50.415	52.365	3,87%	52.840	4,81%	51.283	1,72%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 35: Projeções populacionais de médio prazo para a população total (2034).

Município	População Atual (Censo 2022)	Projeções de Médio Prazo (2034)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		População	Var. rel. atual	População	Var. rel. atual	População	Var. rel. atual
Arujá	86.678	91.706	5,80%	93.730	8,14%	88.302	1,87%
Barueri	316.473	335.710	6,08%	343.117	8,42%	323.249	2,14%
Biritiba Mirim	29.683	31.393	5,76%	32.085	8,09%	30.227	1,83%
Caieiras	95.032	100.526	5,78%	102.744	8,12%	96.795	1,86%
Cajamar	92.689	98.147	5,89%	100.312	8,22%	94.504	1,96%
Carapicuíba	386.984	409.238	5,75%	418.267	8,08%	394.048	1,83%
Cotia	274.413	291.089	6,08%	297.511	8,42%	280.284	2,14%
Diadema	393.237	415.631	5,69%	424.801	8,03%	400.203	1,77%
Embu-Guaçu	250.691	265.107	5,75%	270.956	8,08%	255.266	1,82%
Embu das Artes	66.970	70.832	5,77%	72.395	8,10%	68.203	1,84%
Ferraz de Vasconcelos	179.198	189.541	5,77%	193.723	8,11%	182.505	1,85%
Francisco Morato	165.139	174.675	5,77%	178.529	8,11%	168.191	1,85%
Franco da Rocha	144.849	153.241	5,79%	156.622	8,13%	147.553	1,87%
Guararema	31.236	33.042	5,78%	33.771	8,12%	31.816	1,86%
Guarulhos	1.291.771	1.366.511	5,79%	1.396.661	8,12%	1.315.789	1,86%
Itapeceira da Serra	158.522	167.639	5,75%	171.337	8,08%	161.416	1,83%
Itapevi	232.297	245.925	5,87%	251.351	8,20%	236.797	1,94%
Itaquaquecetuba	369.275	391.117	5,91%	399.746	8,25%	376.599	1,98%
Jandira	118.045	124.870	5,78%	127.625	8,12%	120.235	1,86%
Juquitiba	27.404	28.979	5,75%	29.618	8,08%	27.903	1,82%
Mairiporã	93.853	99.301	5,80%	101.492	8,14%	95.615	1,88%
Mauá	418.261	441.920	5,66%	451.670	7,99%	425.517	1,73%
Mogi das Cruzes	451.505	478.499	5,98%	489.057	8,32%	460.738	2,04%
Nazaré Paulista	18.217	19.648	7,86%	20.081	10,23%	18.918	3,85%
Osasco	728.615	771.565	5,89%	788.588	8,23%	742.925	1,96%
Paraibuna	17.667	18.961	7,32%	19.379	9,69%	18.257	3,34%
Pirapora do Bom Jesus	18.370	19.430	5,77%	19.859	8,11%	18.709	1,85%
Poá	103.765	109.703	5,72%	112.123	8,05%	105.631	1,80%
Ribeirão Pires	115.559	122.197	5,74%	124.893	8,08%	117.661	1,82%
Rio Grande da Serra	44.170	46.710	5,75%	47.741	8,08%	44.977	1,83%
Salesópolis	15.202	16.077	5,76%	16.432	8,09%	15.480	1,83%
Santa Isabel	53.174	56.238	5,76%	57.479	8,10%	54.151	1,84%
Santana de Parnaíba	154.105	163.291	5,96%	166.893	8,30%	157.230	2,03%
Santo André	748.919	793.447	5,95%	810.953	8,28%	763.996	2,01%
São Bernardo do Campo	810.729	857.628	5,78%	876.550	8,12%	825.794	1,86%
São Caetano do Sul	165.655	175.270	5,80%	179.138	8,14%	168.765	1,88%
São Lourenço da Serra	16.067	16.994	5,77%	17.369	8,10%	16.363	1,84%
São Paulo	11.451.999	11.883.353	3,77%	12.145.537	6,06%	11.442.263	-0,09%
São Roque	79.484	86.774	9,17%	88.689	11,58%	83.554	5,12%
Suzano	307.429	325.622	5,92%	332.806	8,25%	313.536	1,99%
Taboão da Serra	273.542	289.524	5,84%	295.911	8,18%	278.777	1,91%
Vargem Grande Paulista	50.415	53.333	5,79%	54.510	8,12%	51.353	1,86%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 36: Projeções populacionais de longo prazo para a população total (2044).

Município	População Atual (Censo 2022)	Projeções de Longo Prazo (2044)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		População	Var. rel. atual	População	Var. rel. atual	População	Var. rel. atual
Arujá	86.678	93.368	7,72%	98.274	13,38%	86.853	0,20%
Barueri	316.473	342.134	8,11%	360.108	13,79%	318.260	0,56%
Biritiba Mirim	29.683	31.957	7,66%	33.636	13,32%	29.727	0,15%
Caieiras	95.032	102.341	7,69%	107.718	13,35%	95.200	0,18%
Cajamar	92.689	99.957	7,84%	105.208	13,51%	92.982	0,32%
Carapicuíba	386.984	416.578	7,65%	438.464	13,30%	387.511	0,14%
Cotia	274.413	296.656	8,11%	312.242	13,79%	275.956	0,56%
Diadema	393.237	423.001	7,57%	445.224	13,22%	393.485	0,06%
Embu-Guaçu	250.691	269.862	7,65%	284.039	13,30%	251.031	0,14%
Embu das Artes	66.970	72.106	7,67%	75.895	13,33%	67.075	0,16%
Ferraz de Vasconcelos	179.198	192.955	7,68%	203.093	13,33%	179.491	0,16%
Francisco Morato	165.139	177.823	7,68%	187.165	13,34%	165.415	0,17%
Franco da Rocha	144.849	156.013	7,71%	164.210	13,37%	145.127	0,19%
Guararema	31.236	33.639	7,69%	35.406	13,35%	31.291	0,18%
Guarulhos	1.291.771	1.391.198	7,70%	1.464.288	13,36%	1.294.123	0,18%
Itapecerica da Serra	158.522	170.646	7,65%	179.611	13,30%	158.738	0,14%
Itapeví	232.297	250.441	7,81%	263.598	13,47%	232.966	0,29%
Itaquaquecetuba	369.275	398.367	7,88%	419.296	13,55%	370.570	0,35%
Jandira	118.045	127.124	7,69%	133.803	13,35%	118.254	0,18%
Juquitiba	27.404	29.499	7,64%	31.048	13,30%	27.440	0,13%
Mairiporã	93.853	101.102	7,72%	106.414	13,38%	94.048	0,21%
Mauá	418.261	449.695	7,52%	473.321	13,16%	418.316	0,01%
Mogi das Cruzes	451.505	487.481	7,97%	513.092	13,64%	453.465	0,43%
Nazaré Paulista	18.217	20.150	10,61%	21.209	16,42%	18.744	2,89%
Osasco	728.615	785.810	7,85%	827.094	13,52%	730.978	0,32%
Paraibuna	17.667	19.410	9,87%	20.429	15,63%	18.055	2,20%
Pirapora do Bom Jesus	18.370	19.780	7,68%	20.819	13,33%	18.400	0,16%
Poá	103.765	111.659	7,61%	117.526	13,26%	103.868	0,10%
Ribeirão Pires	115.559	124.386	7,64%	130.921	13,29%	115.707	0,13%
Rio Grande da Serra	44.170	47.548	7,65%	50.046	13,30%	44.230	0,14%
Salesópolis	15.202	16.366	7,66%	17.225	13,31%	15.224	0,14%
Santa Isabel	53.174	57.249	7,66%	60.257	13,32%	53.254	0,15%
Santana de Parnaíba	154.105	166.345	7,94%	175.084	13,61%	154.738	0,41%
Santo André	748.919	808.244	7,92%	850.707	13,59%	751.846	0,39%
São Bernardo do Campo	810.729	873.118	7,70%	918.989	13,35%	812.193	0,18%
São Caetano do Sul	165.655	178.449	7,72%	187.824	13,38%	165.997	0,21%
São Lourenço da Serra	16.067	17.300	7,67%	18.209	13,33%	16.093	0,16%
São Paulo	11.451.999	12.009.840	4,87%	12.640.806	10,38%	11.171.821	-2,45%
São Roque	79.484	89.406	12,48%	94.103	18,39%	83.167	4,63%
Suzano	307.429	331.662	7,88%	349.086	13,55%	308.519	0,35%
Taboão da Serra	273.542	294.814	7,78%	310.303	13,44%	274.242	0,26%
Vargem Grande Paulista	50.415	54.297	7,70%	57.149	13,36%	50.508	0,18%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez apresentadas as projeções populacionais para este Plano, retoma-se as realizadas em 2018 pelo PBH-AT, comparando-se as perspectivas para 2040 e 2044. O objetivo é retomar as conclusões do Plano de Bacia à luz das informações agregadas no intervalo entre sua elaboração e os dias atuais, com o acréscimo significativo dos resultados do recenseamento de 2022.

Como era de se esperar, as projeções de longo prazo para 2044 apresentam variações significativas em relação às projeções do PBH-AT de 2018. Em alguns casos, como São Paulo e Mogi das Cruzes, os incrementos populacionais são superiores, enquanto em outros, como a região leste de São Paulo e os municípios de Mairiporã, Caieiras, Franco da Rocha e Francisco Morato, os incrementos são inferiores. Abaixo, tece-se uma comparação para os principais resultados:

- Acerca do incremento de cerca de 170 mil pessoas em Itapevi, Barueri, Jandira e Carapicuíba: as projeções do cenário ONU+ se alinham às do PBH-AT, mas mesmo assim são inferiores, ocorrendo incremento de 142 mil pessoas para estes mesmos municípios.
- Acerca do incremento de cerca de 170 mil pessoas em Diadema, São Bernardo do Campo e região Sul de São Paulo: as projeções do cenário ONU+ se alinham às do PBH-AT para Diadema e São Bernardo do Campo, somando incremento de 160 mil pessoas para estes mesmos municípios.
- Acerca do incremento de cerca de 410 mil pessoas na região Leste de São Paulo, Mauá, Ferraz de Vasconcelos, Poá e Itaquaquetuba: as projeções do cenário ONU+ se alinham às do PBH-AT para os municípios citados, mas novamente em um nível ligeiramente inferior, de 142 mil (com destaque para Mauá, com incremento de 55 mil e Itaquaquetuba, com incremento de 50 mil).
- Acerca do incremento de cerca de 50 mil pessoas em Mogi das Cruzes e Suzano: as projeções do cenário ONU+ superam grandemente as do PBH-AT para os municípios citados, sendo que para Mogi das Cruzes projeta-se um incremento de 62 mil pessoas, e para Suzano, 42 mil pessoas (total de 103 mil, o dobro do que o valor do PBH-AT).
- Acerca do incremento de cerca de 190 mil pessoas em Guarulhos: as projeções do cenário ONU+ se alinham as do PBH-AT, projetando-se um incremento de 173 mil.

- Acerca do incremento de cerca de 190 mil pessoas em Mairiporã, Caieiras, Franco da Rocha e Francisco Morato: as projeções do cenário ONU+ são bastante inferiores às do PBH-AT, projetando-se um incremento de 66 mil habitantes para os municípios citados (Mairiporã com 13 mil; Caieiras com 13 mil; Franco da Rocha com 19 mil; e Francisco Morato com 22 mil).

Facilmente se percebe que o cenário de maior compatibilidade com o do PBH-AT é o de maior crescimento (ONU+) e não o tendencial. Grande parte dessa variação deve estar na atualização da população a partir do censo demográfico do IBGE: como observado no início deste capítulo, as estimativas oficiais se provaram superiores ao que fora verificado na prática.

Tão importante quanto a projeção da população total, está a perspectiva de urbanização da região. Afinal, as dinâmicas de coleta de RSU urbana e rural são bastante distintas. Como ponto de partida, tem-se que os municípios integrantes do PGIRS-AT contam com elevadíssimos graus de urbanismo na cena atual: 30 dos 42 municípios apresentam grau de urbanização superior a 95% - destes, 19 possuem populações 100% urbanizadas.

É importante ressaltar que os dados de grau de urbanização para o ano de 2022, apresentados a seguir, não são baseados diretamente no resultado censitário (ainda não publicado por completo). Em vez disso, esses valores foram estimados a partir de outros resultados do censo demográfico, especificamente a partir da relação entre o número total de domicílios e o número de domicílios com acesso à rede de abastecimento de água. Assumiu-se que os domicílios com acesso à rede de água são considerados urbanos para fins dessa estimativa.

A Tabela 37 apresenta os resultados para o cenário tendencial (IBGE), que é praticamente idêntico às perspectivas de urbanização nos demais cenários. A tendência de aumento da concentração da população urbana, especialmente nesta região que já apresenta um elevado grau de urbanismo e de conurbação entre diversos

municípios, tende a se alterar de forma menos intensa que a projeção da população total.

Tabela 37: Projeções para o grau de urbanização no cenário Tendencial (IBGE).

Município	Grau de Urbanização Atual (2022)	Cenário Tendencial (IBGE)		
		Curto Prazo (2029)	Médio Prazo (2034)	Longo Prazo (2044)
Arujá	96,01%	96,49%	98,11%	98,69%
Barueri	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Biritiba Mirim	85,83%	86,32%	88,18%	88,33%
Caieiras	97,52%	98,00%	99,81%	99,90%
Cajamar	97,99%	98,43%	100,00%	100,00%
Carapicuíba	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Cotia	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Diadema	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Embu-Guaçu	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Embu das Artes	97,33%	97,79%	99,49%	100,00%
Ferraz de Vasconcelos	95,51%	95,98%	97,54%	98,43%
Francisco Morato	99,83%	100,00%	100,00%	100,00%
Franco da Rocha	92,13%	92,61%	94,51%	95,00%
Guararema	86,05%	86,49%	88,11%	88,88%
Guarulhos	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Itapeverica da Serra	99,17%	99,60%	99,75%	99,75%
Itapevi	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Itaquaquecetuba	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Jandira	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Juquitiba	77,39%	82,34%	86,71%	91,10%
Mairiporã	87,42%	87,87%	89,55%	90,09%
Mauá	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Mogi das Cruzes	92,14%	92,60%	94,55%	95,20%
Nazaré Paulista	84,75%	85,21%	87,23%	87,72%
Osasco	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Paraibuna	30,15%	34,42%	39,06%	43,89%
Pirapora do Bom Jesus	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Poá	98,42%	98,84%	99,10%	99,12%
Ribeirão Pires	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Rio Grande da Serra	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Salesópolis	63,66%	68,47%	73,12%	78,05%
Santa Isabel	78,47%	78,88%	80,72%	85,84%
Santana de Parnaíba	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Santo André	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
São Bernardo do Campo	98,33%	98,82%	98,99%	99,30%
São Caetano do Sul	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
São Lourenço da Serra	91,03%	91,52%	93,50%	94,00%
São Paulo	99,11%	99,59%	99,70%	99,73%
São Roque	90,70%	91,19%	92,75%	93,83%
Suzano	96,48%	96,91%	98,96%	99,56%
Taboão da Serra	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Vargem Grande Paulista	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 37 permite observar resultados relevantes, alguns dos quais são aqui pontuados. A cidade de Guarulhos, por exemplo, tem 100% de grau de urbanização, com projeção de que esse patamar seja mantido. Além desse município, vale ressaltar que Barueri, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu-Guaçu, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mauá, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santana de Parnaíba, Santo André, São Caetano do Sul, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista já apresentam 100% de grau de urbanização.

A urbanização no Brasil é um fenômeno que vêm se intensificando desde os anos 1970. Naquele ano, o resultado do Censo Demográfico trazia uma população brasileira 56% urbana; no Estado de São Paulo, no entanto, a população já era 80% urbana. Nos censos demográficos subsequentes, de 1980, 1991, 2000 e 2010, a taxa de urbanização do país passou a ser de, respectivamente, 68%, 76%, 81% e 84%. Já o Estado de São Paulo, que se consolidou como majoritariamente urbano desde antes, passou por um ritmo menos intenso de crescimento de sua população urbana, registrando, respectivamente, graus de: 89%, 93%, 93% e 96%.

De toda forma, um aspecto fundamental nesse processo é o fato de que a decisão sobre a delimitação de áreas urbanas é de competência dos municípios. Os governos municipais desempenham um papel crucial nessa definição dos limites territoriais, e podem fazê-lo por incentivo fiscal. O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), principal fonte de receita própria para os municípios, só pode ser cobrado das propriedades localizadas em áreas classificadas como urbanas. Consequentemente, muitos municípios tendem a favorecer a expansão das áreas urbanas, uma vez que isso lhes permite ampliar sua base de arrecadação do IPTU.

Essa prática é impulsionada pela necessidade de recursos financeiros para investimentos em infraestrutura, serviços públicos e projetos de desenvolvimento urbano. Nem sempre, no entanto, essa decisão é pautada por um planejamento urbano criterioso, levando em consideração aspectos como o adensamento adequado, o

impacto ambiental, a capacidade de atendimento de serviços básicos - dentre eles, a coleta de resíduos e a limpeza urbana; a qualidade de vida da população; a disponibilidade de recursos naturais; entre outros.

Os municípios de Caieiras, Cajamar, Embu das Artes e Ferraz de Vasconcelos apresentam tendência de aumento gradual do grau de urbanização, chegando a níveis próximos ou iguais a 100% até 2044, indicando um processo de urbanização mais acelerado. Os municípios de Jujutiba e Paraibuna se destacam por apresentarem os menores graus de urbanização na cena atual (77% e 30%, respectivamente) e, embora projetem aumentos significativos até 2044 (91% e 44%, respectivamente), ainda manterão áreas rurais relevantes.

As projeções refletem as diferentes dinâmicas de urbanização na Região Metropolitana de São Paulo, com alguns municípios já totalmente urbanizados, outros em processo acelerado de urbanização e alguns ainda mantendo áreas rurais significativas, mesmo em um cenário tendencial que favorece, de forma geral, o crescimento das áreas urbanas sob as rurais.

Por fim, a análise da dinâmica demográfica na capital paulista requer um grau de detalhamento mais elevado, dado seu porte e sua relevância em todo o território da área de estudo. O município de São Paulo já apresentava 99% de sua população habitando áreas urbanas no censo demográfico de 1970. A partir de então, o grau de urbanismo flutuou da seguinte forma: em 1980 foi de 98,2%; em 1991 foi de 98%; caindo em 2000 para 94,1%, e subindo novamente em 2010 para 99,1%. O elevado grau de urbanização de 2010 é mantido na perspectiva de 2022, mas observa-se a tendência de que haja um aumento gradual, chegando a 99,7% em 2044.

Isso não significa que as áreas rurais remanescentes, notadamente ao sul do território, serão totalmente transformadas em territórios urbanos: ao contrário, a perspectiva denota que o crescimento demográfico previsto tende a se concentrar na região já urbanizada, bem como na tendência já observada de se expandir a malha

urbana em regiões atualmente rurais. Estes movimentos são suficientes para elevar a proporção de habitantes em área urbana, refletido no grau de urbanismo crescente.

O município de São Paulo apresenta, afinal, grandes assimetrias de crescimento dentro do seu próprio território. Para ilustrar as transformações em curso - principalmente ao sul do município, destacam-se as dinâmicas de dois distritos: Grajaú e Parelheiros. No período de 1980 a 1991, o distrito de Grajaú apresentou uma taxa de crescimento populacional de 4,7%, enquanto Parelheiros registrou uma taxa ainda mais elevada, de 5,2%. Em contraste, o município de São Paulo como um todo teve um crescimento populacional mais modesto, de 1,2%, durante o mesmo período.

Entre 1991 e 2000, as taxas de crescimento populacional desses distritos aumentaram ainda mais, com Grajaú atingindo 6,2% e Parelheiros, 7,1%. Novamente, essas taxas foram consideravelmente superiores à do município de São Paulo, que foi de apenas 0,9% nesse intervalo. No entanto, de 2000 a 2010, observou-se uma desaceleração significativa no crescimento populacional desses distritos. Grajaú registrou uma taxa de 0,8%, enquanto Parelheiros teve uma taxa de 2,5%. Embora menores, essas taxas ainda superaram a do município de São Paulo como um todo, que foi de 0,8% durante esse período. Infelizmente não se dispõe ainda dos resultados equivalentes para o censo de 2022.

Inobstante, a diferença entre as taxas de crescimento dos dois distritos contra a do município de São Paulo como um todo é gritante: enquanto no último tem-se evidências do lento e inexorável atingimento de platô demográfico, refletido na projeção tendencial (cenário IBGE), ambos distritos periféricos apresentam histórico de expansão demográfica muito acima da média. Como forma de se atentar para a diferença das taxas, tem-se por suposição simplista que em 1980 houvessem 1.000 habitantes em cada um dos dois distritos aqui exemplificados e também 1.000 habitantes em São Paulo: ao final de 1991 teríamos um total de 1,65 mil habitantes em Grajaú e 1,75 mil em Parelheiros contra 1,14 em São Paulo; já em 2000 essas

populações seriam de respectivos 2,84 mil e 3,24 mil contra 1,23 mil; por fim, no ano de 2010 o saldo do crescimento populacional exemplificado resultaria em (respectivamente) 3,08 mil e 4,14 mil contra 1,33 mil.

O exercício simplificador também permite apreciar a diferença na queda das taxas de crescimento no intervalo censitário de 2000 e 2010, que indicam que no distrito de Grajaú a maior das ondas migratórias passou. Espera-se que os resultados do censo 2022 apresentem a consolidação deste distrito. Já para o distrito de Parelheiros, que diferentemente do distrito de Grajaú, ainda conta com área para expansão, tem-se a continuidade (embora de forma menos intensa) do padrão de expansão de outrora.

Um último tópico que deve ser analisado antes de se encerrarem as projeções demográficas é aquele que retoma a questão dos domicílios. Na hipótese de manutenção das taxas de redução da razão entre habitantes por domicílio, como visto no Subcapítulo 3.3.1, pode-se esperar que ocorra uma ampliação na quantidade de domicílios em relação às projeções demográficas. Em outras palavras: mesmo que a população não cresça de forma tão intensa, os habitantes ocuparão uma proporção maior de domicílios.

A Tabela 38 apresenta essa estimativa para os próximos dez anos (horizonte de médio prazo, 2034), no qual o cenário tendencial apresenta uma projeção de acréscimo de nada menos que 1,72 milhão de domicílios. No cenário de crescimento acelerado, esse incremento pode chegar a ser de 1,93 milhão. No contraponto do cenário de menor crescimento (ONU-), no entanto, esse acréscimo fica em 1,38 milhão. São perspectivas relevantes, pois apenas na cidade de São Paulo, na qual não se tem projeções de forte crescimento demográfico, espera-se um acréscimo tendencial de 916 mil habitações que precisarão ser incorporadas aos serviços de coleta e manejo de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 38: Projeções para a quantidade de domicílios particulares permanentemente ocupados.

Município	Domicílios particulares (Censo 2022)	Projeções de Médio Prazo (2034)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		Domicílios	Var. rel. atual	Domicílios	Var. rel. atual	Domicílios	Var. rel. atual
Arujá	29.348	36.145	23,16%	36.942	25,88%	34.803	18,59%
Barueri	109.460	132.790	21,31%	135.720	23,99%	127.861	16,81%
Biritiba Mirim	10.436	13.024	24,80%	13.311	27,55%	12.540	20,16%
Caieiras	32.684	39.947	22,22%	40.828	24,92%	38.464	17,68%
Cajamar	32.640	39.929	22,33%	40.809	25,03%	38.447	17,79%
Carapicuíba	136.793	171.471	25,35%	175.254	28,12%	165.106	20,70%
Cotia	95.935	119.120	24,17%	121.748	26,91%	114.699	19,56%
Diadema	144.824	183.043	26,39%	187.081	29,18%	176.248	21,70%
Embu-Guaçu	87.990	113.626	29,14%	116.133	31,98%	109.408	24,34%
Embu das Artes	23.396	29.530	26,22%	30.181	29,00%	28.434	21,53%
Ferraz de Vasconcelos	61.301	76.313	24,49%	77.997	27,24%	73.480	19,87%
Francisco Morato	57.668	73.794	27,96%	75.422	30,79%	71.055	23,21%
Franco da Rocha	49.319	61.618	24,94%	62.977	27,69%	59.331	20,30%
Guararema	11.086	13.619	22,85%	13.920	25,56%	13.114	18,29%
Guarulhos	450.559	555.100	23,20%	567.347	25,92%	534.495	18,63%
Itapecerica da Serra	54.563	68.486	25,52%	69.997	28,29%	65.944	20,86%
Itapevi	81.808	104.983	28,33%	107.299	31,16%	101.087	23,57%
Itaquaquecetuba	122.134	151.293	23,87%	154.631	26,61%	145.677	19,28%
Jandira	42.009	51.889	23,52%	53.034	26,24%	49.963	18,93%
Juquitiba	10.005	12.400	23,94%	12.674	26,68%	11.940	19,34%
Mairiporã	33.058	42.348	28,10%	43.282	30,93%	40.776	23,35%
Mauá	152.619	192.591	26,19%	196.840	28,97%	185.443	21,51%
Mogi das Cruzes	158.693	193.816	22,13%	198.092	24,83%	186.622	17,60%
Nazaré Paulista	6.724	8.341	24,05%	8.525	26,78%	8.031	19,44%
Osasco	261.473	324.134	23,96%	331.285	26,70%	312.102	19,36%
Paraibuna	6.628	8.475	27,87%	8.662	30,69%	8.161	23,13%
Pirapora do Bom Jesus	6.100	7.576	24,20%	7.744	26,95%	7.295	19,59%
Poá	35.377	43.562	23,14%	44.523	25,85%	41.945	18,57%
Ribeirão Pires	41.451	51.844	25,07%	52.988	27,83%	49.919	20,43%
Rio Grande da Serra	15.740	19.452	23,58%	19.882	26,32%	18.731	19,00%
Salesópolis	5.397	6.713	24,38%	6.862	27,14%	6.464	19,77%
Santa Isabel	18.733	22.658	20,95%	23.158	23,62%	21.818	16,47%
Santana de Parnaíba	52.312	63.835	22,03%	65.243	24,72%	61.465	17,50%
Santo André	280.389	344.390	22,83%	351.989	25,54%	331.607	18,27%
São Bernardo do Campo	300.683	370.815	23,32%	378.997	26,05%	357.051	18,75%
São Caetano do Sul	61.995	71.630	15,54%	73.211	18,09%	68.972	11,25%
São Lourenço da Serra	5.841	7.187	23,04%	7.345	25,75%	6.920	18,47%
São Paulo	4.307.665	5.223.750	21,27%	5.339.002	23,94%	5.029.853	16,77%
São Roque	28.469	36.414	27,91%	37.218	30,73%	35.063	23,16%
Suzano	105.752	133.111	25,87%	136.048	28,65%	128.170	21,20%
Taboão da Serra	99.423	127.499	28,24%	130.311	31,07%	122.766	23,48%
Vargem Grande Paulista	17.654	22.038	24,83%	22.525	27,59%	21.220	20,20%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tomando-se os resultados do cenário tendencial, observa-se que os municípios com maior projeção de domicílios em 2034 são: São Paulo (5.223.750), Guarulhos (555.100), São Bernardo do Campo (370.815) e Santo André (344.390), em linha com a quantidade absoluta de moradores que já apresentam. Surpreende, no entanto, o incremento de domicílios em relação à cena atual: Guarulhos tem acréscimo tendencial de 105 mil, São Bernardo do Campo de 70 mil e Santo André de 64 mil domicílios. Em termos de maiores resultados relativos, destacam-se Vargem Grande Paulista (24,8% no cenário tendencial), Mairiporã (28,1%) e Cajamar (22,3%).

### 3.4. Projeção da geração de RSU

Esse subcapítulo investiga e apresenta os demais condicionantes da geração de RSU, para então apresentar as projeções quantitativas para os municípios do PGIRS-AT.

#### 3.4.1. Tendências da geração e composição de RSU

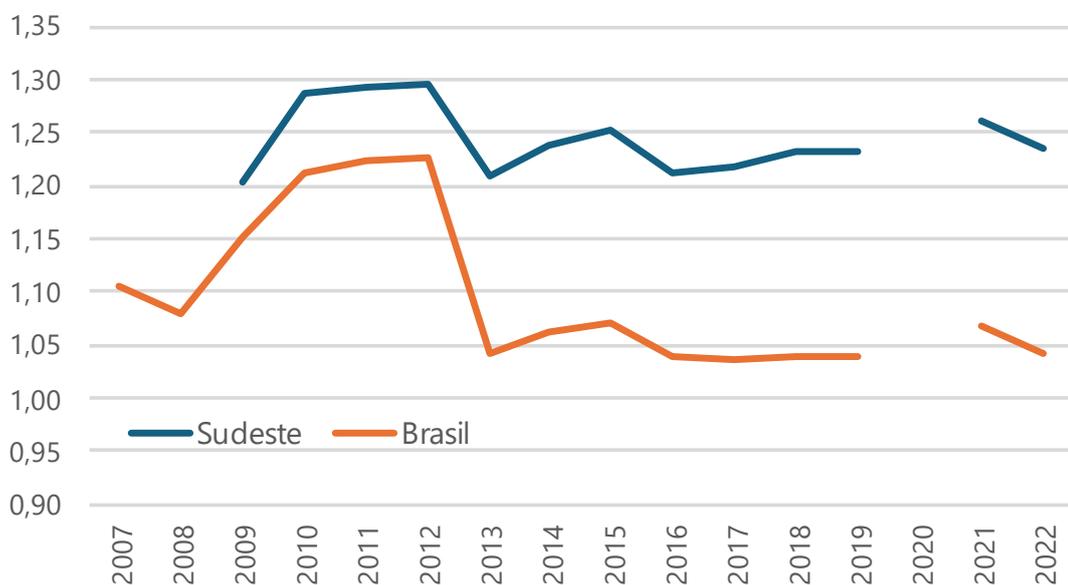
Partindo-se da projeção populacional, investigam-se aqui os possíveis desdobramentos da taxa de geração de RSU *per capita* para os municípios da área de interesse. Conforme conclusões de Pisani, Castro e Costa (2018), no entanto, os dados da geração de RSU apresentam grande dispersão. Ademais, a ausência pretérita de sistemas de gestão faz com que o histórico da geração de resíduos seja falho. Não obstante, destacam-se duas referências que permitem acessar o histórico do setor e, de forma geral, embasar as conclusões acerca de seu comportamento futuro.

##### 3.4.1.1. Dados da ABRELPE para a Região Sudeste

A primeira fonte de informações advém da publicação anual "Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil", da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). Este documento é uma referência importante para profissionais do setor, autoridades públicas, e acadêmicos, fornecendo uma visão

abrangente sobre a gestão de resíduos sólidos no país e nas suas grandes regiões geográficas. O Panorama tem sido publicado anualmente por duas décadas, com a edição mais recente lançada em 2022. O relatório abrange diversos aspectos da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, incluindo a geração, coleta, coleta seletiva e destinação final de RSU. Ainda, traz informações sobre a aplicação de recursos financeiros e de empregos gerados pelo setor.

Desde 2007 a publicação do Panorama traz dados consolidados para o Brasil e para a região Sudeste, incluindo a taxa de geração *per capita* de RSU (Figura 10), padronizada em quilograma por habitante por dia (kg/hab/dia). Dada a dispersão dos dados municipais, observar as informações consolidadas para uma grande região do País, tal como a Sudeste, se torna ilustrativo das grandes tendências. Embora os relatórios dos anos de 2008 e 2020 não tenham estes registros, observa-se que é possível compreender tendências.



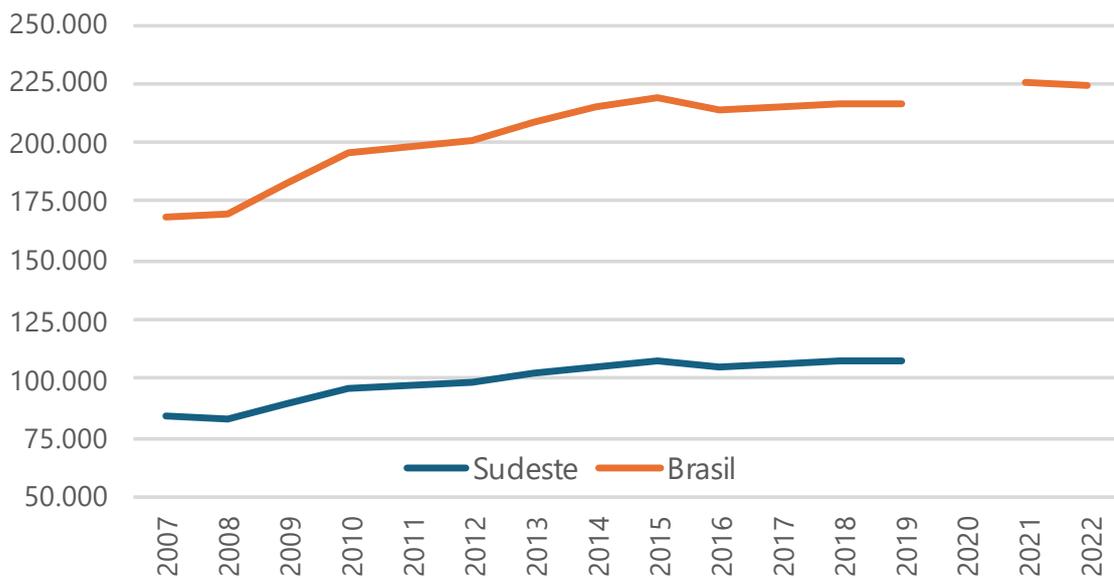
**Figura 10: Geração *per capita* de RSU (kg/hab/dia).**

Fonte: ABRELPE. (2022).

Observa-se, primeiramente, uma notável distinção entre o nível das taxas de geração de resíduos sólidos urbanos, sendo que no Sudeste gera-se mais resíduos do que no País como um todo (que engloba, em seus resultados, o Sudeste e as demais

regiões). Em 2022, a taxa foi de 1,23 kg/hab/dia para o Sudeste e 1,04 kg/hab/dia para o Brasil. Mais interessante é perceber que não há uma clara tendência de modificação nas taxas, principalmente após o ano de 2013. De fato, o coeficiente angular do histórico das taxas do Sudeste é positivo (indicando crescimento), embora singelo (+0,0004 kg/hab/dia por ano, o que representa um acréscimo de 0,04% por ano sobre o resultado de 2022 de 1,23 kg/hab/dia). Esse mesmo coeficiente, calculado para a série Brasil, retorna um valor negativo mais expressivo, embora ainda tímido, de -0,0090 kg/hab/dia (equivalente a -0,86% por ano).

Embora não se possa afirmar que os dados apresentados comprovem a existência da Curva Ambiental de Kuznets, certamente corroboram os achados de Bayer, Uranga e Fochezatto (2022) de que não se está em uma curva de tendência ascendente. Observa-se na Figura 11 que a geração total de RSU, mensurada em toneladas por dia, apresenta uma clara tendência de aumento, tanto no Brasil como no Sudeste. Mesmo com a ausência dos dados da região Sudeste para os anos de 2020 em diante, observa-se que a tendência é positiva, embora tenha crescido no último quinquênio a taxas menores do que no primeiro. O coeficiente angular da série existente para a região Sudeste aponta para um incremento anual da ordem de 2,12 mil toneladas por dia, o que significa um acréscimo anual de 1,96% sobre os resultados de 2019 (de 107.989 t/dia).

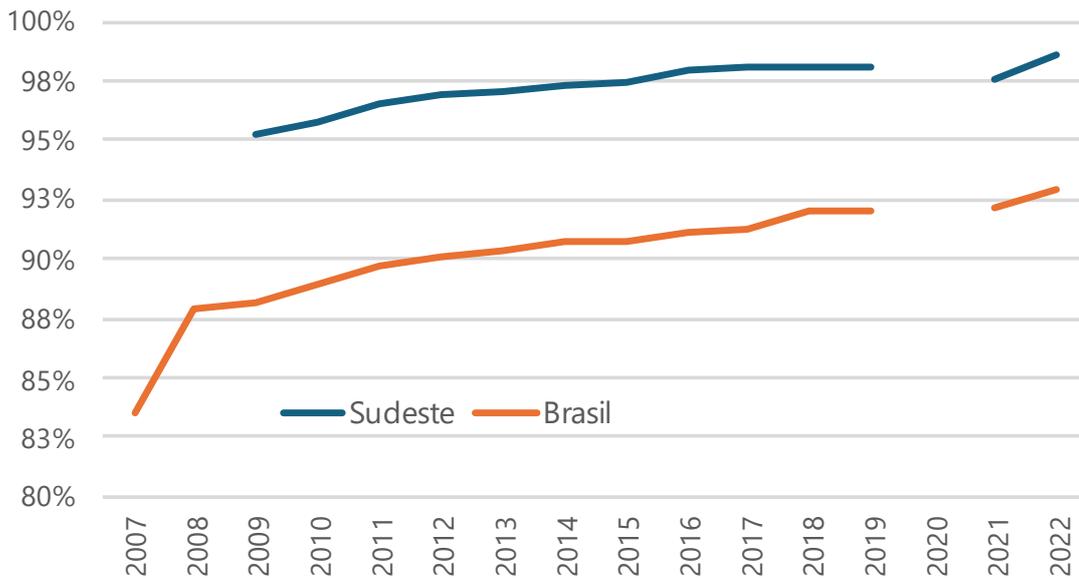


**Figura 11: Geração per capita RSU (t/dia).**

Fonte: ABRELPE. (2022).

A explicação para o crescimento absoluto na geração de resíduos mediante uma taxa de geração *per capita* estável recai exatamente sobre o crescimento populacional. Como observado no Subcapítulo 3.3, esse crescimento tende a se reduzir no futuro, o que fará com que a geração absoluta de RSU também se estabilize ou mesmo caia. É possível, em outras palavras, que o pico de geração de RSU esteja próximo de ocorrer. Isso não significa, no entanto, que não haverá modificações estruturantes.

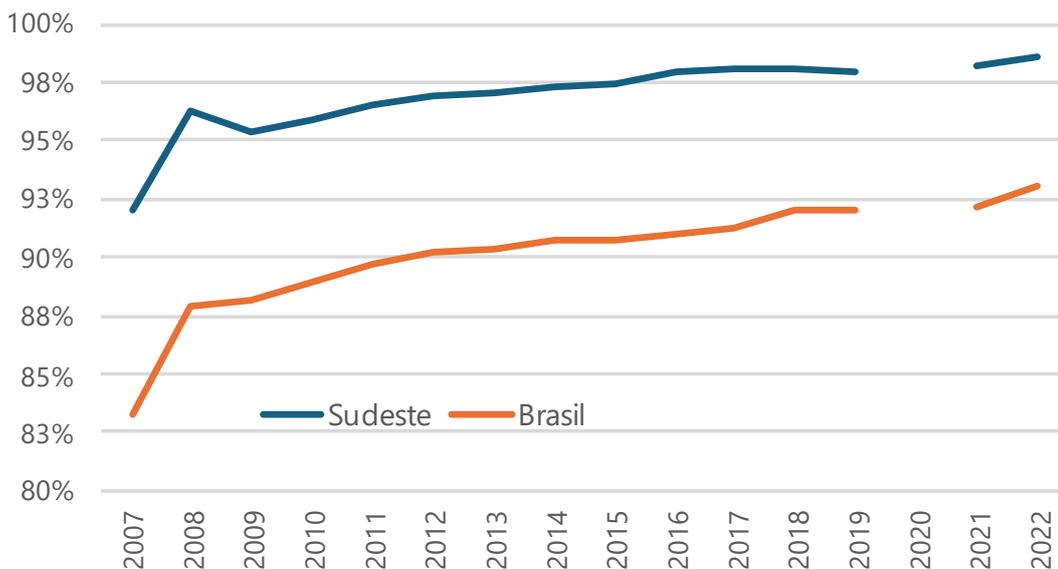
Por um lado, a quantidade de resíduos não coletados tende a diminuir com os esforços de universalização da coleta - seja via porta-a-porta, seja via coleta containerizada. A Figura 12 aponta a evolução do percentual de cobertura da coleta de RSU, que no Sudeste foi de 99% pela primeira vez na história, tendo partido de 95% em 2009.



**Figura 12: Cobertura da coleta de RSU (%).**

Fonte ABRELPE. (2022).

Outra modificação esperada é o perfil dessa coleta: é crescente a quantidade de municípios que realizam alguma iniciativa de coleta seletiva. De acordo com os dados da ABRELPE, observa-se que 99% dos municípios da região contam com alguma fração de coleta seletiva. A eficiência dessa coleta, no entanto, é muito baixa - como já se destacou no Diagnóstico deste Plano (Figura 13).



**Figura 13: Municípios com iniciativas de coleta seletiva (%).**

Fonte: ABRELPE. (2022).

Os dados compilados dos Panoramas anuais da ABRELPE indicam grandes tendências que são válidas para a região Sudeste; além disso, destacam as significativas diferenças entre esta região, na qual os municípios do estudo se encontram, e a totalidade dos municípios brasileiros.

### 3.4.1.2. *Dados do SNIS para os municípios da área de estudo*

A segunda base de informações que se pode observar é de nível municipal e advém do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Em consulta ao SNIS-RS para os 42 municípios do Estado de São Paulo componentes do PGIRS-AT, observa-se que 38 responderam ao sistema em 2022, último ano disponível<sup>2</sup>. Em relação aos dados históricos para o ano de 2003, vinte anos atrás, observa-se que apenas quatro municípios responderam ao sistema. Ao longo dos anos, uma quantidade maior de municípios passou a responder ao sistema, compondo uma série de informações cada vez mais robusta, porém, de menor expansão temporal. Nem todos os municípios, portanto, apresentam respostas para todos os anos.

Para lidar com as informações disponíveis de forma a não perder a representatividade das respostas nos anos mais recentes, mas tampouco sacrificar o histórico de vinte anos deixado pelos municípios pioneiros, segregam-se quatro grupos de municípios respondentes ao SNIS:

- O primeiro acompanha os 4 municípios (Guarulhos, Mauá, Santo André e São Paulo) que respondem ao SNIS de forma ininterrupta desde 2003 e abrange o período de 20 anos.
- O segundo grupo agrega dez municípios<sup>3</sup> que passaram a responder ao SNIS de forma consistente desde 2008, perfazendo um histórico de 15 anos de dados. Em conjunto com os 4 municípios que respondem ao SNIS desde 2003, tem-se assim um total de 14 municípios da área de estudo com histórico de 15 anos de dados.

<sup>2</sup> Dos 42 municípios da área de estudo, os que não responderam ao SNIS em 2022 foram: Nazaré Paulista, Paraibuna, Pirapora do Bom Jesus e São Roque.

<sup>3</sup> Sendo eles: Diadema, Embu das Artes, Guararema, Itapecerica da Serra, Itapevi, Mogi das Cruzes, Osasco, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Taboão da Serra.

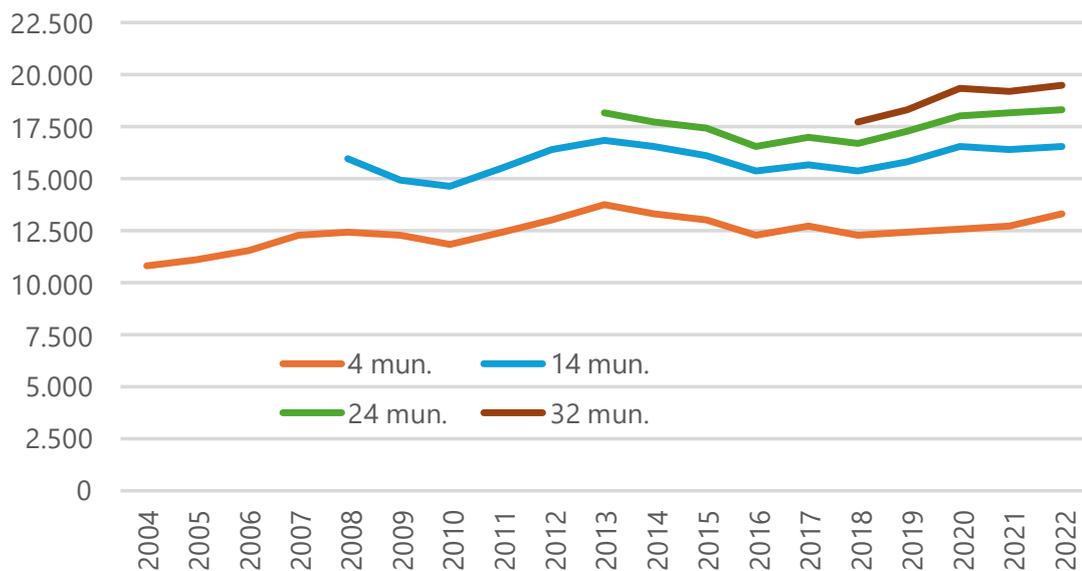
- Já o terceiro grupo agrega ainda outros dez municípios<sup>4</sup> que respondem anualmente ao SNIS com histórico dos últimos dez anos (desde 2013), perfazendo um grupo de 24 municípios no total.
- Por fim, os últimos cinco anos (desde 2018) congregam outros 8 municípios<sup>5</sup>, totalizando informações completas para um total de 32 municípios que trazem dados para os últimos 5 anos.

Nota-se que a listagem histórica só permite incluir os dados de 32 dos 42 municípios componentes do PGIRS-AT (devidamente listados nos quatro grupos apenas descritos), pois os demais apresentam respostas ao SNIS de forma não sequencial e/ou inferior aos cinco anos de dados do último grupo.

Com base nos dados destes quatro grupos de municípios e seus respectivos históricos, é possível observar o ocorrido em termos de geração e coleta de RSU na região do estudo. Nota-se que o SNIS não coleta informações sobre a geração de RSU, mas sim sobre os resíduos que adentram o ciclo formal de coleta pública (seja convencional ou seletiva). Isso quer dizer que os dados não consideram a quantidade de resíduos coletados informalmente (coleta seletiva de catadores autônomos e encaminhamento/venda direta para a indústria da reciclagem) e tampouco a quantidade de resíduos descartados irregularmente em logradouros desocupados, espaços públicos ou cursos d'água. Feita essa ressalva, observa-se na Figura 14 o volume total de RSU que é coletado formalmente pelos titulares dos serviços dos 32 municípios do estudo, medido em toneladas por dia.

<sup>4</sup> Sendo eles: Arujá, Caieiras, Cotia, Ferraz de Vasconcelos, Franco da Rocha, Poá, Ribeirão Pires, Santa Isabel, Santana de Parnaíba e Suzano.

<sup>5</sup> Sendo eles: Barueri, Carapicuíba, Embu-Guaçu, Francisco Morato, Itaquaquecetuba, Rio Grande da Serra, Salesópolis e Vargem Grande Paulista.



**Figura 14: Volume de resíduos coletados por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (t/dia).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024).

Uma vez que o município de São Paulo é o mais populoso e também é um dos quatro que responde ao SNIS desde o início da série histórica, observa-se a influência de seu porte na (relativamente pequena) diferença entre os volumes das séries com os 4 municípios pioneiros e os dez adicionais que perfazem a série histórica de 15 anos. Considerando-se os dados do ano de 2022, verifica-se que São Paulo, sozinho, é responsável por 58% (11,29 mil t/dia) das 19,48 mil t/dia coletadas no conjunto dos 32 municípios aqui considerados. O mesmo se observa com a entrada de 10 outros municípios para a série histórica dos últimos 10 anos: como são municípios pequenos em tamanho, a quantidade agregada de resíduos coletados é relativamente pequena frente ao que é coletado por São Paulo.

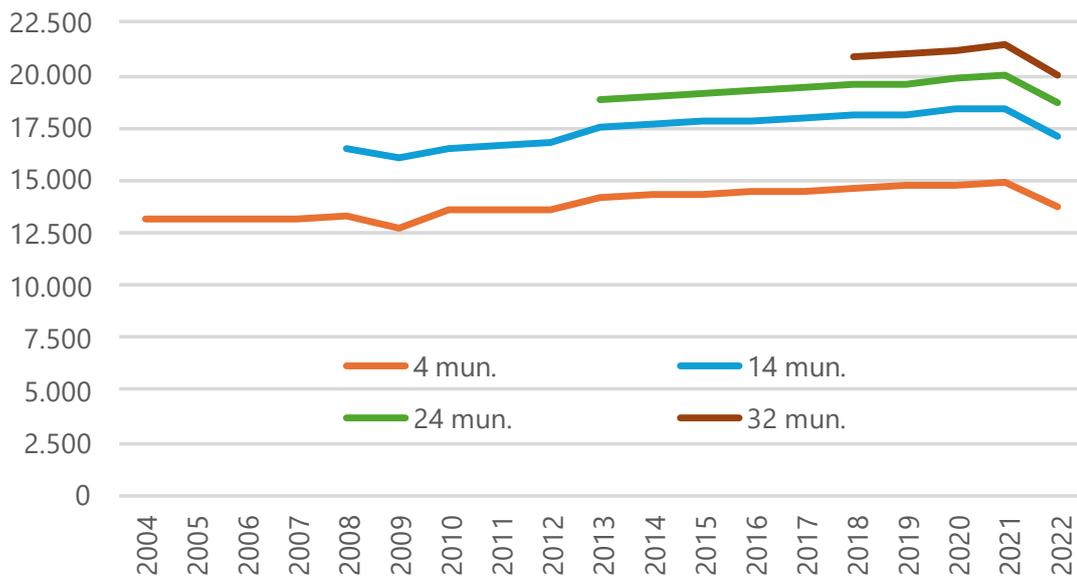
De toda forma, as séries históricas revelam um ligeiro crescimento na quantidade coletada de RSU ao longo dos anos, bastante notável na série mais longa, que abrange o grupo dos 4 municípios pioneiros nas respostas ao SNIS. O coeficiente angular desta série indica um crescimento na coleta equivalente a 0,6% ao ano, que se traduz em um acréscimo de 82 toneladas por dia a cada ano. Caso essa taxa se mantenha inalterada

para os próximos dez anos, ter-se-á um acréscimo absoluto correspondente a 845 toneladas por dia de RSU.

Nota-se que o comportamento das séries mais curtas, porém que agregam maiores quantidades de municípios respondentes, segue a mesma tendência e também registram aumentos ligeiros. Para a série de dez anos pretéritos, que abrange informações de 24 municípios, calcula-se um coeficiente angular correspondente ao acréscimo de 0,3% ao ano. Já para a série de dados mais curta, na qual municípios de menor porte somam suas informações aos municípios anteriores, nota-se um coeficiente angular mais agudo, que representa 2,2% de acréscimo ao ano.

A avaliação dos dados remonta, novamente, à hipótese da existência da Curva Ambiental de Kuznets para a geração de RSU, na qual municípios de maior nível de renda apresentam taxas estáveis ou até decrescentes de geração de RSU, enquanto municípios de menor renda, que ainda tem diferenças de riqueza para conquistar, geram taxas maiores de resíduos. Para testar essa hipótese nos municípios do PGIRS-AT, é importante observar a quantidade de pessoas atendidas.

A Figura 15 apresenta a evolução da população total atendida pelos serviços de coleta de RSU. Nota-se, de forma contundente, o efeito do resultado do Censo Demográfico de 2022, que "derrubou" a quantidade de pessoas atendidas. De fato, os municípios informam ao SNIS o percentual de atendimento, e este é então multiplicado pela quantidade estimada de habitantes no município, produzindo então o indicador de quantidade absoluta de pessoas atendidas. Dessa forma, uma vez que o denominador foi reduzido, um mesmo percentual de coleta (de, digamos, 99%), é aplicado para uma base menor de pessoas atendidas.



**Figura 15: População atendida com coleta, por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (mil habitantes).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024).

De toda forma, ao se observar a evolução das séries até o ano de 2021, identifica-se o paulatino acréscimo de pessoas à base de serviços de coleta prestados. Considerando-se a taxa anualizada entre o ano de 2021 e os primeiros anos das séries respectivas, tem-se uma evolução de 0,72% para a série de vinte anos e quatro municípios; 0,78% para a série de 15 anos e 14 municípios; 0,65% para a série de 10 anos e 24 municípios; e finalmente de 0,58% para a série de 5 anos e 32 municípios. Parte expressiva do crescimento no volume absoluto de RSU coletado, portanto, se deve ao crescimento da base de usuários atendidos.

Com base na razão entre a quantidade de RSU que é coletado e a quantidade de pessoas atendidas, é possível calcular a taxa de coleta de RSU *per capita*. A Figura 16 apresenta estes resultados na unidade convencional (kg/hab/dia), destacando-se novamente o efeito do Censo Demográfico de 2022. A grande oscilação da taxa de coleta *per capita* ilustra as conclusões de Pisani, Castro e Costa (2018) e de Dias *et al.* (2012) de que este tipo de informação é disperso e de difícil modelagem, mesmo quando estimado a partir de dados confiáveis.



**Figura 16: Taxa de coleta de RSU per capita, por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (kg/hab/dia).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024).

A taxa de coleta de RSU per capita do ano de 2021 foi a seguinte: 0,854 para a série de vinte anos e quatro municípios; 0,892 para a série de quinze anos e quatorze municípios; 0,909 para a série de dez anos e vinte e quatro municípios; e finalmente de 0,899 para a série de cinco anos e trinta e dois municípios. Considerando-se a taxa anualizada entre o ano de 2021 e os primeiros anos das séries respectivas, tem-se uma evolução de 0,18%; -0,57%; -0,65%; e 1,45%.

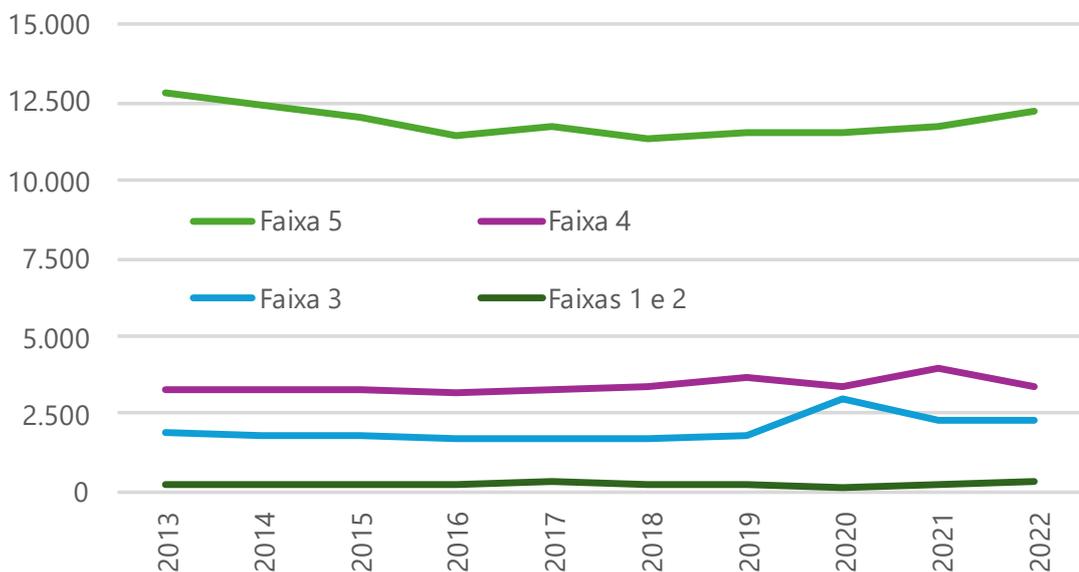
Como forma de se averiguar a eventual ocorrência da Curva Ambiental de Kuznets, parte-se da série histórica de 10 anos e segrega-se seus 24 municípios componentes nas faixas populacionais utilizadas pelo próprio SNIS ("Faixa-Porte do Município"), a saber:

- **Faixa 1:** Municípios com até 30 mil habitantes (Guararema);
- **Faixa 2:** Municípios com população entre 30 mil e 100 mil habitantes (Arujá, Caieiras e Santa Izabel);
- **Faixa 3:** Municípios com população entre 100 mil e 250 mil habitantes (Cotia, Embu das Artes, Ferraz de Vasconcelos, Franco da Rocha, Itapeverica da Serra, Itapevi, Poá, Ribeirão Pires, Santana de Parnaíba, São Caetano do Sul e Taboão da Serra);



- **Faixa 4:** Municípios com população entre 250 mil e 1 milhão de habitantes (Diadema, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo e Suzano);
- **Faixa 5:** Municípios com mais de 1 milhão de habitantes (Guarulhos e São Paulo).

Dada a baixa representação de municípios na faixa 1 (apenas Guararema), considerou-se esta somada à faixa 2. A série histórica de 10 anos de RSU coletados nos 24 municípios do estudo revela que há uma tendência negativa nos municípios de faixa 5 (Guarulhos e São Paulo), evidenciado pelo coeficiente angular equivalente a -0,6%. Nas demais faixas, no entanto, este mesmo coeficiente é positivo: de +1,3% para municípios de faixa 4; de +3,4% para os de faixa 3; e de +1,7% para os de faixas 1 e 2. Mesmo positivos, são coeficientes relativamente baixos, salvo pelo da faixa 3 que representa um acréscimo em dez anos de 916 toneladas por dia sobre o volume atual de 2,33 mil t/dia (Figura 17).

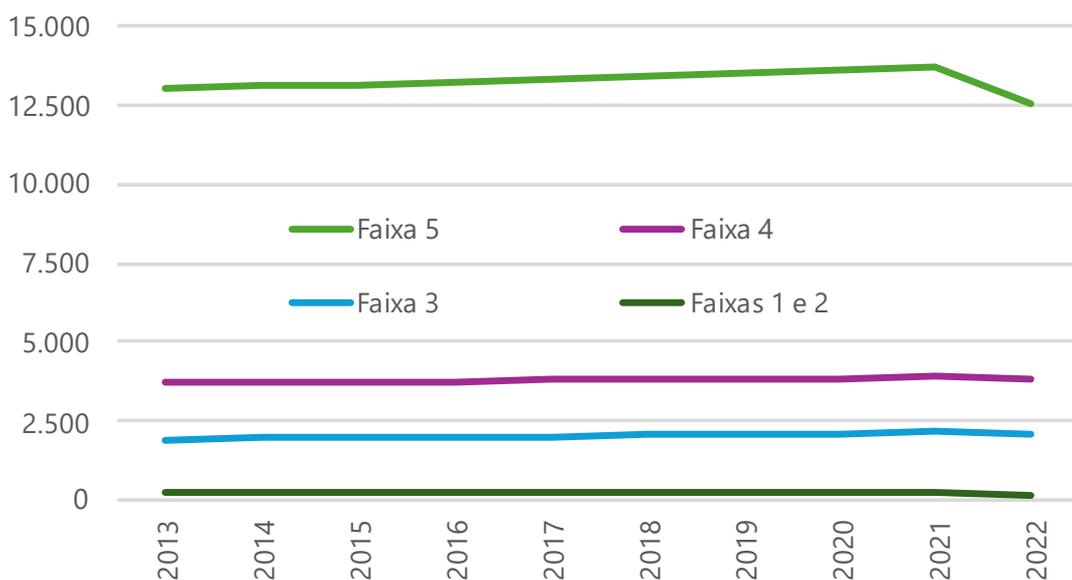


**Figura 17: Volume de resíduos coletados, por porte municipal (t/dia).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024).

Interessante notar, pela Figura 18, que a população atendida com coleta nos municípios agrupados por suas respectivas faixas populacionais é crescente em todas as quatro faixas. Desconsiderando-se o ano de 2022, de forma a se manter a mesma

base de comparação com os anos pretéritos, identifica-se que os municípios de faixa 5 cresceram sua população atendida pela coleta à taxa anualizada de 0,56% nos últimos 9 anos - resultado praticamente idêntico dos municípios de faixa 4: 0,57%. Já os de faixa 3 cresceram de forma mais acentuada em 1,29% ao ano. Por fim, os de faixa 2 e 1, cresceram 1,23% (variação claramente positiva, mas não facilmente observável na figura devido à menor escala da população em relação aos municípios de faixa 5).



**Figura 18: População atendida com coleta, por porte municipal (mil habitantes).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024)..

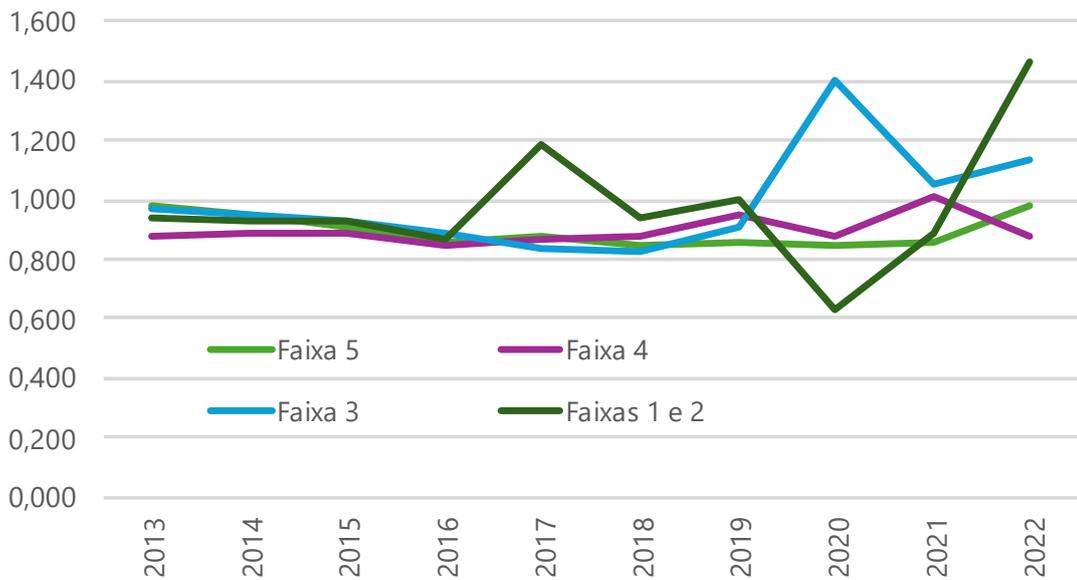
De toda forma, taxas de crescimento positivas para a população atendida representam uma estabilidade ou mesmo decréscimo nas taxas de resíduos coletados *per capita*. A Figura 19 apresenta o resultado da divisão entre os RSU coletados e a quantidade de pessoas atendidas pela coleta. Na média dos 9 anos até 2021 (novamente isolando o ano de 2022 devido à sua incomparabilidade com os anos pretéritos, embora seja o único com dados populacionais medidos e não estimados), os municípios maiores, de faixa 5, apresentaram resultado de 0,889 kg/hab/dia, e um coeficiente angular negativo, equivalente a -1,83% ao ano. Caso esse resultado se mantenha estático pelos próximos 10 anos, ter-se-á uma taxa de coleta *per capita* de

0,713/dia, ou seja, 169 gramas a menos por habitante por dia do que a taxa atual (ano de 2021) de 0,858 kg/hab/dia.

Os municípios de faixa 4 apresentaram uma média *per capita* praticamente idêntica, de 0,899, porém com um coeficiente angular positivo equivalente a 1,09%. Caso esse resultado se mantenha, em 10 anos a taxa passará a ser de 1,127 kg/hab/dia, ou seja, 115 gramas a mais por habitante por dia do que a taxa atual (ano de 2021) de 1,011 kg/hab/dia.

Já os municípios de faixa 3 foram os que apresentaram a mais alta média per capita: 0,973 kg/hab/dia. A tendência de variação dessa taxa, ademais, é positiva em equivalentes 2,44%. No caso hipotético de manutenção desse coeficiente de crescimento, em 10 anos a taxa passará a ser de 1,337 kg/hab/dia, ou seja, 272 gramas a mais por habitante por dia do que a taxa atual (ano de 2021) de 1,050 kg/hab/dia.

Por fim, os municípios de faixas 1 e 2 também apresentam uma média alta, de 0,925 kg/hab/dia. A tendência dessa taxa, no entanto, é variar para menos, ao forte ritmo de -1,62%. Na hipotética manutenção desse ritmo, em 10 anos a taxa será de 0,755 kg/hab/dia, ou seja, 150 gramas a menos por habitante por dia do que a taxa atual (ano de 2021) de 0,889 kg/hab/dia.



**Figura 19: Taxa de coleta de RSU *per capita*, por porte municipal (kg/hab/dia).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024)..

Eis que os ritmos de variação encontrados para os últimos 9 anos dificilmente se manterão estáticos pelos próximos 10 anos, pois como demonstra a Figura 19, as oscilações podem ser abruptas de um ano para o outro. Ademais, o próprio dado acerca da população beneficiária dos serviços de coleta de RSU (denominador da taxa de geração) é incerto, pois não é um valor medido (e, no caso do município de São Paulo e tantos outros, sequer cobrado). De toda forma, o sinal encontrado para a tendência das taxas *per capita* de RSU coletados revelam que há de fato uma distinção importante entre faixas populacionais, o que é uma informação importante para se pensar a evolução prospectiva da geração de resíduos. Revelam, adicionalmente, que as taxas de geração de RSU podem ter parado de subir para os municípios de maior porte, conforme postulado pela CAK.

Em resumo, a investigação dos dados do SNIS corrobora, de certa forma, os dados da região Sudeste trazidos pela ABRELPE. Conclui-se que é possível que municípios com maiores níveis de renda *per capita* estejam no topo de suas Curvas Ambientais de Kuznets e que não haja tendência de incremento nas taxas de geração de RSU *per capita*. Nesses casos, apenas a variação populacional, absoluta, responderia

pela variação futura na quantidade de resíduos. Já para municípios com menores níveis de renda *per capita*, que são representados pelos de menor porte populacional, há clara tendência de aumento nas taxas de geração *per capita*. Muita incerteza ainda cerca estas conclusões, fato pelo qual resultado se afasta de ser determinístico e passa a ser apenas uma âncora para conceber estratégias eficientes de gestão.

### 3.4.1.3. Condicionantes da geração de RSU

Conforme aponta a revisão bibliográfica realizada, pode-se esperar que nos próximos 20 anos ocorram modificações socioeconômicas que, por sua vez, se reflitam em uma geração menor de RSU, ou ao menos em um perfil diferente dessa geração (modificando a gravimetria atual). As mudanças podem ser impulsionadas por diversos condicionantes, destacando-se: i) legislações focadas no incentivo à reciclagem de RSU, incluindo os acordos setoriais de logística reversa; ii) legislações que afetam de forma direta a produção ou o consumo de bens cujo consumo gera determinados resíduos; iii) regulação da prestação de serviços; e iv) uma maior conscientização da população sobre a importância da redução e do gerenciamento adequado dos resíduos.

Estas condicionantes são sequencialmente exploradas, iniciando-se pela **atuação do setor público no incentivo à reciclagem e os acordos setoriais de logística reversa**.

No âmbito federal, principalmente após a PNRS (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010), o Governo tem adotado medidas para promover a reciclagem e a logística reversa. Entre essas medidas, destaca-se o aumento para 18% das alíquotas de imposto de importação para resíduos de papel, plástico e vidro, visando desestimular a importação desses materiais e incentivar a reciclagem interna. Recentemente, os seguintes diplomas foram editados:

- Lei Federal nº 14.260/2021, que estabelece incentivos à indústria da reciclagem e cria o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem



(Favorecicle) e os Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecycle).

- Lei Federal nº 11.300/2022, que institui o Sistema de Logística Reversa de Embalagens de Vidro.
- Lei Federal nº 11.413/2023, que introduz o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura, no âmbito dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33 da PNRS.

O conjunto das Leis Federais nº 14.260/2021, nº 11.300/2022 e nº 11.413/2023 contempla incentivos econômicos novos e ainda não estabelecidos. Não obstante, o potencial destes incentivos é grande ao promover o investimento em tecnologias de reciclagem e em práticas sustentáveis a partir da motivação do setor privado. A exitosa experiência europeia mostra que incentivos econômicos são cruciais para o sucesso da reciclagem.

Já no âmbito estadual paulista, o principal instrumento que condiciona a gestão de RSU é o PERS/SP (2020). O Plano prevê a implantação de programas de educação ambiental para sensibilizar a população sobre a importância da separação dos resíduos na fonte. Também indica que é necessário investir em infraestrutura adequada para a coleta seletiva, incluindo a aquisição de veículos específicos e a construção de centrais de triagem de forma a incrementar a recuperação de recicláveis - uma prioridade para reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários. Destacam-se as seguintes diretrizes capazes de modificar o panorama diagnosticado:

- Apoio a Cooperativas: fortalecer as cooperativas de catadores de materiais recicláveis, proporcionando apoio técnico e financeiro.
- Mercado de Recicláveis: desenvolver o mercado de recicláveis, incentivando a indústria a utilizar materiais reciclados em seus processos produtivos.
- Logística Reversa: implementar sistemas de logística reversa para embalagens, eletroeletrônicos e outros produtos, conforme os acordos setoriais.
- Compostagem: promover a compostagem dos resíduos orgânicos.

- Aproveitamento Energético: incentivar a instalação de usinas de aproveitamento energético de resíduos.
- Aterros Sanitários: melhorar a gestão dos aterros sanitários existentes e reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros.

Destaca-se, ainda no âmbito paulista, a Decisão de Diretoria CETESB nº 054/2024/P, que obriga a estruturação e implementação de sistemas de logística reversa como condicionante para a emissão ou renovação de licenças ambientais de operação. Essa decisão também estabelece metas para a logística reversa do setor de embalagens em geral, determinando que em 2024 devem ser recuperados 30% de recicláveis frente ao total (peso) colocado no mercado pelo setor e 32% em 2025 (CETESB, 2024).

Além das legislações, programas estaduais como o Integra Tietê, o Programa Água é Vida e o Programa Integra Resíduos possuem ações voltadas à melhoria da reciclagem nos municípios.

Destaca-se, tanto em âmbito Federal como no Estadual, a celebração do acordo setorial e termos de compromisso com o setor de embalagens em geral pós-consumo para implantar a logística reversa. Os acordos setoriais de logística reversa desempenham um papel importante no aumento da reciclagem que pode ser realizada antes que o resíduo entre no ciclo formal de coleta (e participe, então, da rota tecnológica). Os acordos setoriais e termos de compromisso de logística reversa desempenham um papel importante no aumento da captação de resíduos recicláveis, seja antes de entrar na coleta formal ou no processo formal. No Estado de São Paulo, já existem Termos de Compromisso assinados com os setores de embalagens em geral, o que garante maiores investimentos no cumprimento da logística reversa por conta do setor privado, aumentando o volume de materiais de recicláveis processados.

Como abordado no Diagnóstico do presente Plano e pelos novos acordos setoriais recém firmados, a tendência é que novas ações sejam implementadas nos próximos anos, abrangendo outros tipos de resíduos e ampliando a capacidade de

reciclagem e reutilização de materiais. Isso pode levar a uma redução na quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, mas é impossível prever quanto.

Em paralelo aos acordos setoriais, existe a crescente possibilidade de que novas **legislações possam coibir a produção de certos tipos de bens cujo consumo gera determinados resíduos**. Dessa forma, tais legislações podem também contribuir para a mudança no perfil dos resíduos gerados. Por exemplo, a Lei Municipal de São Paulo de nº 17.261/2020, conhecida como Lei dos Plásticos, visa reduzir o uso de produtos plásticos descartáveis em diversos estabelecimentos da cidade, como restaurantes, bares, supermercados, hotéis e eventos. Da mesma forma que para os acordos setoriais, no entanto, torna-se muito difícil prever quais novas legislações podem surgir e, caso surjam, qual será sua real efetividade.

Continuando o exemplo da Lei dos Plásticos no município de São Paulo, embora esteja prevista sua fiscalização, o número de autuações por descumprimento ainda é baixo. Adicionalmente, nem sempre existem opções viáveis e acessíveis de produtos biodegradáveis ou reutilizáveis para substituir os descartáveis de plástico, exigindo um esforço conjunto do governo, indústria e sociedade civil para viabilizar soluções alternativas. Corroborando com essa conclusão o disposto pela Portaria SMA nº 56/2023, que estabelece critérios e procedimentos para a certificação de produtos biodegradáveis e compostáveis. Essa medida visa garantir a qualidade e confiabilidade dos produtos alternativos ao plástico, facilitando sua adoção por consumidores e empresas.

O país atravessa um longo e intenso período de desindustrialização, tornando improváveis quaisquer restrições ao setor. Esse processo de perda gradual da capacidade produtiva industrial não é um fenômeno novo - remontando ao início da década de 1980, quando a participação da indústria manufatureira no PIB era de 23%. Atualmente, esse índice caiu para menos de 10%. Os números gerais da indústria nacional escondem uma assimetria entre seus setores: os extrativos e relacionados ao

setor primário (tais como a manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos e a fabricação de produtos alimentícios) se mantiveram ou mesmo cresceram, em detrimento da queda dos demais setores manufatureiros, especialmente os voltados para a economia doméstica.

Conjectura-se que deve haver, em algum grau, se não uma reversão, ao menos um arrefecimento deste processo de desindustrialização nacional. Mesmo assim, não há, ainda, orientação nacional quanto às perspectivas para a atividade industrial no âmbito do planejamento nacional (à exceção do Plano Nacional de Mineração de 2021, não se tem conhecimento de algum plano equivalente para a indústria manufatureira). Não obstante, é difícil vislumbrar um futuro para o país sem uma forte reindustrialização. De toda forma, retornando ao efeito disso nos resíduos sólidos e dado o contexto da desindustrialização, dificilmente serão promulgadas leis que afetam a indústria brasileira e sua competitividade.

Partindo das políticas industriais para enfocar as políticas urbanas, observa-se que o Programa Nacional de Agricultura Urbana e Periurbana (PNAUP), instituído pelo Decreto Federal nº 11.700/2023, traz um grande potencial de influência na quantidade e no perfil de RSU que é disponibilizado pela população para a coleta pública. Entre suas diretrizes, destacam-se o apoio à transição agroecológica, a conservação das águas e do solo, e a restrição do uso de defensivos e insumos químicos de alta toxicidade nessas áreas.

Um dos objetivos desse programa é justamente promover a gestão de resíduos sólidos orgânicos ao longo da cadeia produtiva e fomentar a circularidade dos alimentos, por meio de ações de produção, distribuição, consumo e reciclagem de resíduos orgânicos, visando reduzir a perda e o desperdício alimentar. Nesse sentido, o Programa pode influenciar diretamente no desvio de RSU orgânicos dos aterros sanitários ao incentivar práticas de compostagem e aproveitamento do material como insumos para a agricultura urbana e periurbana. Além disso, ao promover a

circularidade dos alimentos, o Programa contribui para a redução da geração de resíduos orgânicos, uma vez que estimula o consumo consciente e o reaproveitamento de sobras e restos alimentares. Embora os desdobramentos práticos do Programa ainda sejam incertos, suas intenções apontam para o fomento da reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos orgânicos, em consonância com os princípios da economia circular e da sustentabilidade ambiental.

Enfim, outro condicionante com potencial de afetar a quantidade de resíduos e/ou seu perfil é a **regulação dos serviços de resíduos sólidos urbanos**, que no Brasil ainda é incipiente, além de altamente fragmentada. Essa situação, no entanto, tem perspectivas de melhoria a partir da promulgação e prática do Novo Marco do Saneamento (NMSB) (Lei Federal nº 14.026/2020), que atribuiu a coordenação nacional regulatória em resíduos à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Segundo a Análise de Impacto Regulatório (AIR) realizada pela ANA sobre as condições gerais de prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos, um dos pontos críticos do setor seria a descontinuidade dos serviços - que está relacionada à capacidade institucional limitada dos municípios para planejar e gerir os serviços de forma eficaz. A ausência de planejamento de longo prazo, a falta de planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS) e a baixa capacidade técnica e regulatória são fatores que contribuem para a prestação inadequada dos serviços. Além disso, a baixa adesão à regionalização dos serviços impede a geração de ganhos de escala e a viabilidade técnico-econômica da universalização do acesso.

Afinal, a maioria dos serviços de coleta e tratamento de resíduos é gerida diretamente pelos municípios, que frequentemente carecem de recursos e capacidade técnica para implementar práticas avançadas de gestão, demonstrando inclusive dificuldades no simples monitoramento da atividade. É notória a ausência de padrões mínimos de referência e a diversidade de regulamentações infranacionais resultam em

uma prestação de serviços assimétrica e ineficiente. Isso se traduz em uma indefinição das responsabilidades dos atores envolvidos, normas divergentes e sobreposição de custos, o que dificulta a comparabilidade e a padronização dos serviços em nível nacional.

Além disso, a tarifação explícita para os serviços de RSU é rara, e os custos são frequentemente cobertos por outras receitas municipais, o que dificulta a implementação de um sistema de regulação econômica eficaz. A dependência de recursos do tesouro municipal, que são frequentemente insuficientes e competem com outras prioridades, como saúde e educação, faz da falta de sustentabilidade financeira um grande impeditivo para os investimentos necessários.

Ainda conforme a avaliação crítica da ANA (2023), a regulação insuficiente é outro problema identificado. Apenas uma pequena fração dos municípios possui entidades reguladoras definidas e muitas não estão estruturadas para realizar uma regulação técnica e econômica adequada. A falta de regulação resulta em contratos sem conteúdo mínimo e na não observância das condições gerais de prestação dos serviços, o que agrava a qualidade e a eficiência dos serviços prestados.

Conforme demonstram experiências internacionais, como a de Portugal, a adoção de uma regulação intensiva e abrangente pode se traduzir em ganhos expressivos para a prestação dos serviços, com desdobramentos na quantidade e tipologia dos resíduos. Conforme apontam Simões, Pires e Marques (2013), a regulação da qualidade do serviço, como praticada pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) em Portugal, utiliza indicadores de desempenho para avaliar e comparar os prestadores de serviços, sistema que incentiva os prestadores a melhorar continuamente a prestação para evitar a exposição negativa e ganhar reconhecimento público. A publicação anual dos resultados de desempenho dos prestadores de serviços, como feito pela ERSAR, promove a transparência e a prestação de contas,

permitindo que os cidadãos e outros stakeholders monitorem a eficiência e a eficácia dos serviços de RSU, pressionando por melhorias onde necessário.

Ademais, a implementação de tarifas específicas para os serviços de RSU, baseadas no princípio do usuário-pagador, pode garantir a sustentabilidade financeira dos serviços e motivar menores índices de geração de RSU e de reciclagem. Por fim, a regulação pode também incentivar investimentos em infraestrutura de manejo de resíduos, como aterros sanitários, estações de triagem e unidades de valorização orgânica. Em Portugal, a criação de sistemas "multimunicipais" e intermunicipais permitiu o aproveitamento de economias de escala e a implementação de tecnologias avançadas de tratamento de resíduos (Simões, Pires e Marques, 2013), não distante do que almeja a Lei Federal nº 14.026/2020 ao prever a regionalização.

A atuação da ANA como agência reguladora prevê a edição de Normas de Referência (NR) que visam padronizar e melhorar a qualidade dos serviços prestados. Destaca-se a NR nº 1/ANA/2021, que trata do regime, estrutura e parâmetros da cobrança pela prestação do Serviço Público de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SMRSU), além dos procedimentos e prazos para fixação, reajuste e revisões tarifárias. A Resolução ANA nº 178, de 15 de janeiro de 2024, aprova a Norma de Referência nº 5/2024, que regula os serviços públicos de saneamento básico, incluindo aspectos relacionados ao RSU.

Mais recentemente, a Resolução ANA nº 187, de 19 de março de 2024, aprova a Norma de Referência nº 7/2024 para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, que dispõe sobre as condições gerais para a prestação direta ou mediante concessão dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos. A NR visa uniformizar terminologias e conceitos com a consolidação de redações de normas da ABNT, entidades reguladoras e literatura técnica, descrevendo as atividades em linhas gerais.

As normas editadas e a serem editadas pela ANA são essenciais para garantir a uniformidade e a eficiência na gestão dos resíduos sólidos em todo o país. A depender da consolidação de práticas regulatórias eficientes, as normas devem se traduzir em expressiva melhoria dos serviços de saneamento básico no Brasil. Uma das Normas de Referência que constam da Agenda Regulatória da ANA é sobre indicadores e padrões de eficiência e eficácia na prestação dos serviços. Essa NR poderá instituir a regulação no estilo "sunshine", ou regulação por comparação. Trata-se de um modelo regulatório que se baseia na medição, comparação e discussão pública dos resultados de desempenho dos prestadores de serviços públicos. Este modelo visa aumentar a transparência e a eficiência dos serviços, expondo publicamente os resultados para estimular melhorias através da pressão social e política - tal como a ERSAR realiza em Portugal (Simões, Pires e Marques, 2013).

A principal vantagem da regulação 'sunshine' é a promoção da eficiência e da qualidade dos serviços públicos. Ao tornar os resultados públicos, os prestadores de serviços são incentivados a melhorar seu desempenho para evitar constrangimentos. Esse método também facilita a comparação entre diferentes prestadores, promovendo a competitividade e a transparência. Além disso, a regulação 'sunshine' pode ser combinada com outras metodologias, como o benchmarking, para aumentar sua eficácia.

No caso da Arsae/MG, Agência Reguladora de Minas Gerais, a aplicação da regulação "sunshine" tem mostrado resultados positivos, com melhorias na prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (Feitosa, 2022). Espera-se que a regulação da ANA possa ter o mesmo efeito para a prestação dos serviços de manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana. Dificilmente, no entanto, se consegue prever os efeitos ex-ante e em termos quantitativos da regulação mais eficaz no setor.

Novamente, pode-se fazer uso dos resultados obtidos em Portugal, a partir das relativamente recentes mudanças estruturais ocorridas tanto no âmbito regulatório

quanto fiscal, impulsionadas pela Reforma da Fiscalidade Verde (RFV), para perscrutar os possíveis rumos do setor no Brasil à luz das regulações e legislações perspectivas.

De acordo com Santos (2021), a RFV implementada em 2014, introduziu a Taxa de Gestão de Resíduos (TGR), que sofreu aumentos graduais e significativos entre 2015 e 2020. A autora amostrou 9 municípios portugueses para comparar as tarifas de gestão de resíduos e avaliar o impacto da taxa, desvendando que se atingiu a almejada sustentabilidade na prestação dos serviços. Em termos de prestação de serviços de coleta, houve um notável ganho em qualidade. No entanto, esse progresso não se refletiu na disposição final, pois o aterro sanitário continuou sendo o principal destino dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, a autora nota que as taxas de recuperação dos materiais (reciclagem) aumentaram, mas sem atingir os altos níveis almejados.

Da mesma forma que as legislações e a regulação, **políticas públicas voltadas para a educação ambiental e a conscientização da população** sobre a importância da redução, reutilização e reciclagem de resíduos podem influenciar positivamente os padrões de consumo. Tanto a PNRS como o PERS/SP estabelecem diretrizes para a gestão integrada e sustentável dos resíduos, priorizando a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos. Como para os outros temas, no entanto, é difícil prever as modificações quantitativas que serão observadas.

Por fim, nota-se que há uma crescente preocupação da sociedade com questões ambientais, com a qual a busca por um estilo de vida mais sustentável também pode influenciar os padrões de consumo nos próximos anos. Consumidores mais conscientes tendem a optar por produtos com menos embalagens, mais duráveis e recicláveis, reduzindo assim a geração de resíduos. Iniciativas como a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que incluem metas relacionadas ao consumo e produção responsáveis, podem impulsionar tais mudanças.

Em uma digressão, caso essas mesmas palavras acima tivessem sido escritas a 20 anos atrás, o que teria ocorrido nesse transcorrer hipotético até os dias atuais?

Acerca dos acordos setoriais de Logística Reversa, os últimos 20 anos evidenciaram o início de sua implementação, o que marca um passo avante significativo. O estabelecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e os decretos regulamentadores, como o Decreto nº 7.404/2010, estabeleceram a base para esses acordos, promovendo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Acordos para lâmpadas fluorescentes, eletroeletrônicos e outros produtos foram aplicados e também fortalecidos. No entanto, a abrangência dos acordos e sua capacidade de efetivamente aumentar as taxas de reciclagem ainda são muito tímidos. Existe um claro atraso em relação ao que se esperava atingir em 20 anos, não menos pela notável resistência do setor privado em aceitar sua responsabilidade.

Sobre a expectativa de Novas Legislações, um olhar para os 20 anos passados revela que o grande avanço foi a Lei Nacional de Resíduos Sólidos, promulgada em 2010. O PLANARES, no entanto, foi publicado apenas em 2022. Em São Paulo, destaca-se a Lei Estadual nº 12.300/2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e seu decreto regulamentador, de nº 54.645/2009. A gestão da disposição final dos RSU sem dúvida apresentou avanços, mas ainda se engatinha frente as metas de maiores índices de coleta seletiva, reciclagem efetiva de resíduos, melhores condições para os catadores e respeito à pirâmide invertida. Pode-se dizer que, em termos de legislação, o passado demonstra o quão difícil é a negociação social acerca do tema.

Já quanto às políticas públicas e de educação ambiental, nos últimos 20 anos observou-se um avanço notável em termos de divulgação da temática e maior conscientização da população. Os resultados práticos, no entanto, são mistos e dificilmente mensuráveis de forma objetiva. Resultados objetivos como a infraestrutura de coleta seletiva e reciclagem, no entanto, ainda são flagrantemente insuficientes, limitando o impacto das políticas de sustentabilidade e da própria ação que é supostamente derivada da educação ambiental.

Da mesma forma, há 20 anos atrás havia uma expectativa de que os produtos físicos diminuiriam como proporção do consumo geral, com um aumento no consumo de experiências e produtos digitais. Embora certamente o consumo de experiências e produtos digitais tenha aumentado, a demanda por produtos físicos não diminuiu - os consumidores não migraram massivamente para experiências digitais e provou-se assim a resiliência e a adaptabilidade do consumo de produtos físicos - não menos pelo crescente mercado de compras via internet que demanda embalagens além daquelas já utilizadas na distribuição dos produtos.

A expectativa pregressa de que a conscientização ambiental e a busca por sustentabilidade influenciariam os padrões de consumo certamente se materializou. A questão é: em que grau? A conscientização ambiental aumentou, mas a mudança nos padrões de consumo certamente não foi tão profunda quanto esperado. A adoção de produtos sustentáveis ainda enfrenta barreiras como o custo mais alto e a ampla e irrestrita prática de *greenwashing*.

Não obstante, certamente estes fatores condizionarão o futuro, essa breve análise crítica sugere que dificilmente será possível antever de forma plausível (quanto mais quantificada) as modificações na geração e perfil da geração de resíduos sólidos com base na expectativa de legislações e avanço regulatório, cumprimento de acordos setoriais, ações de educação ambiental e modificações nos padrões de consumo.

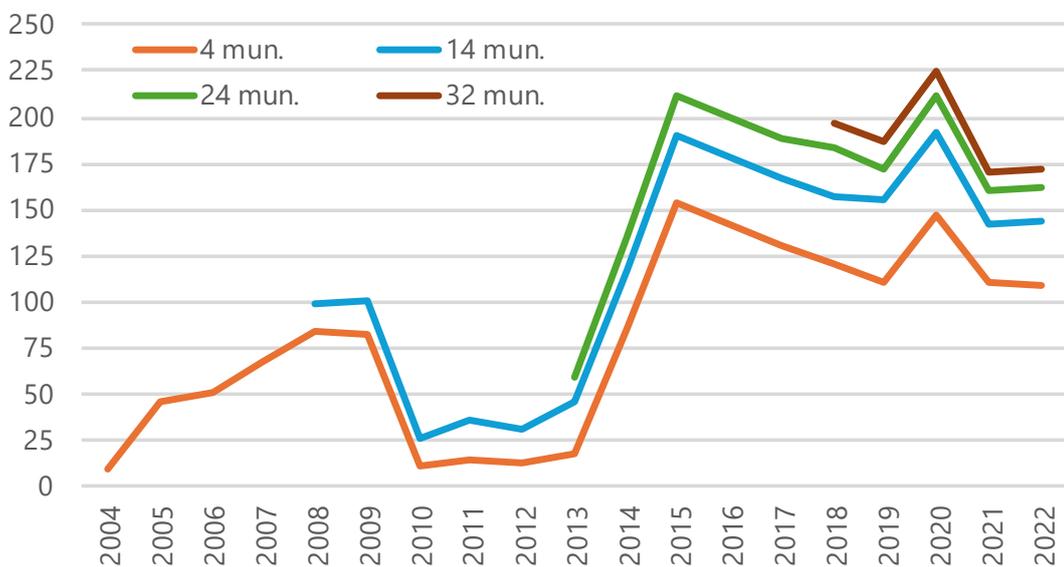
### 3.4.2. *Perspectivas da reciclagem*

Um dos elementos fulcrais para se conceber um plano robusto de gestão de resíduos sólidos para o conjunto de municípios do PGIRS-AT é a avaliação da prática de reciclagem.

### 3.4.2.1. Reciclagem na região de estudo por meio da coleta seletiva formal

Aqui, os dados históricos do SNIS se mostram úteis para observar o que de fato ocorreu nos 20 anos pregressos em relação à recuperação de materiais recicláveis e consequente desvio destes à destinação final.

Com base nos mesmos recortes dos dados históricos do SNIS para os municípios do estudo, observa-se pela Figura 20 que a quantidade de recicláveis efetivamente recuperada não apenas é baixíssima em relação ao total coletado (171 toneladas por dia frente a 19.483 toneladas por dia), como já foi maior no passado. O histórico revela que houve, em 2013, um aumento expressivo na quantidade de materiais recuperados a partir da coleta seletiva formal, mas que esse ganho foi sendo perdido, aos poucos, desde então. Observa-se, também, que o salto obtido em 2020 como consequência direta da pandemia da Covid-19 não afetou a trajetória histórica, mas sim promoveu uma modificação pontual.

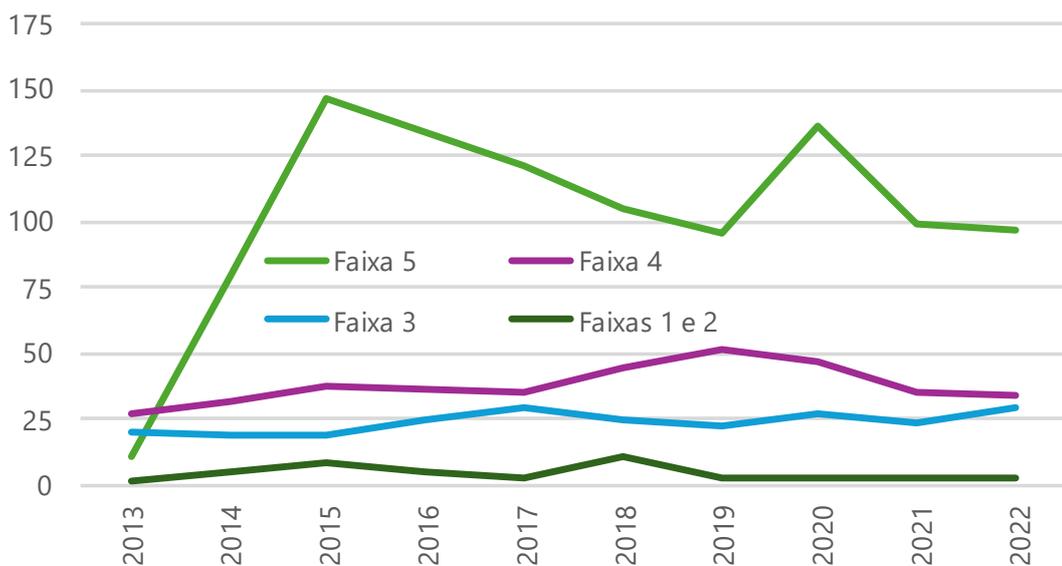


**Figura 20: Recicláveis recuperados, por agrupamento de municípios em quatro séries temporais (t/dia).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024).

Observa-se, ainda, que o volume de recicláveis recuperados entre 2009 e 2013, que caem de forma evidente quando contrastados ao que teria sido um paulatino aumento desde 2004, não tem explicação clara. Uma vez que se trata de dados absolutos (quantidade de materiais recuperados em toneladas por dia) e não relativos (divididos pela população atendida, por exemplo), pode-se conceber que houve alguma modificação na forma de monitoramento e reporte dos dados. Torna-se claro, ademais, que essa queda se dá de forma exclusiva no município de São Paulo. Por seu porte fora de escala, todos os resultados se alteram de acordo com esse movimento.

Já no recorte dos 24 municípios com série temporal de 10 anos pregressos, segregados em quatro faixas populacionais, nota-se que os resultados são ainda mais desanimadores: o salto expressivo e positivo observado em 2013 foi conquistado exclusivamente pela cidade de São Paulo; os demais municípios tiveram aumentos inexpressivos na recuperação de recicláveis, principalmente nos municípios de menor porte, nos quais a recuperação de materiais chega a pífiás dezenas de quilogramas por dia. Foi também, exclusivo da cidade de São Paulo, o salto na quantidade de materiais recuperados durante o ano da pandemia (Figura 21).



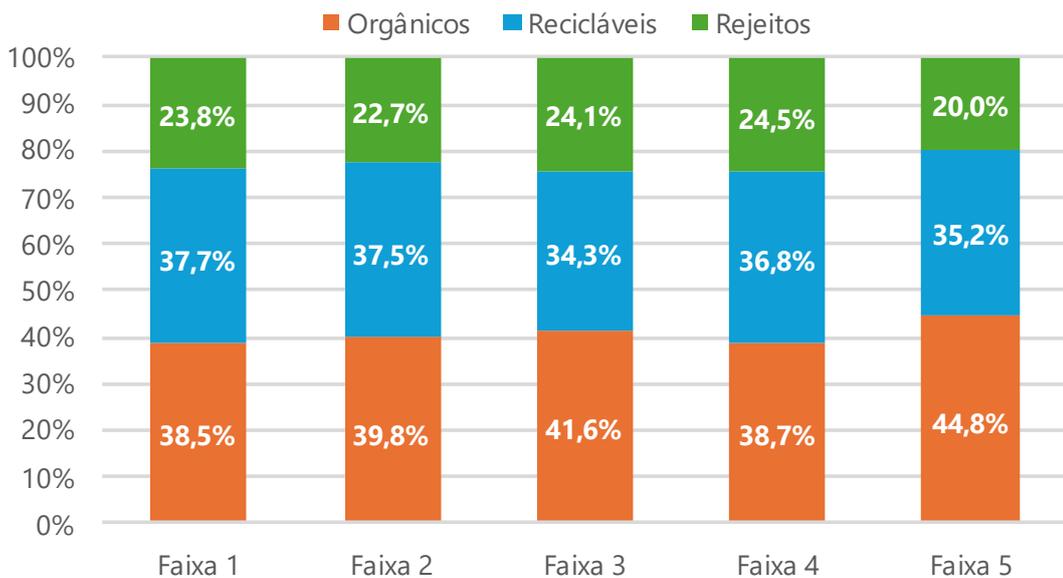
**Figura 21: Recicláveis recuperados, por porte municipal (t/dia).**

Fonte: Adaptado de SNIS – Série Histórica (2024)..

Ao se dividir a quantidade de materiais recicláveis recuperados pela quantidade total de resíduos sólidos urbanos coletados, obtém-se a taxa de recuperação de recicláveis sobre o coletado. Embora em 2013 tenha-se atingido um percentual de 1,2% de recuperação de materiais, atualmente recupera-se apenas 0,9%. Reforça-se que estes dados refletem apenas os materiais que compõe a coleta formal de RSU, e é justamente o papel da coleta informal que explica - em grande parte - a paulatina perda de eficiência da coleta seletiva formal de resíduos, como é descrito a seguir.

Antes, porém, é necessário apresentar a gravimetria dos resíduos que compõem a coleta formal (seletiva e indiferenciada). Afinal, mudanças significativas no perfil da geração de RSU e nos padrões de coleta seletiva devem refletir-se na gravimetria dos resíduos destinados à coleta convencional de RSU, que atualmente seguem para o destino final em aterros sanitários.

Com base nas análises gravimétricas realizadas no âmbito do Diagnóstico deste Plano - que consideraram os resíduos recebidos na destinação final, foi adicionada a fração reciclada por meio da coleta formal para obter a gravimetria do RSU destinado à coleta formal. A Figura 22 apresenta os três grandes grupos de resíduos conforme as faixas populacionais.

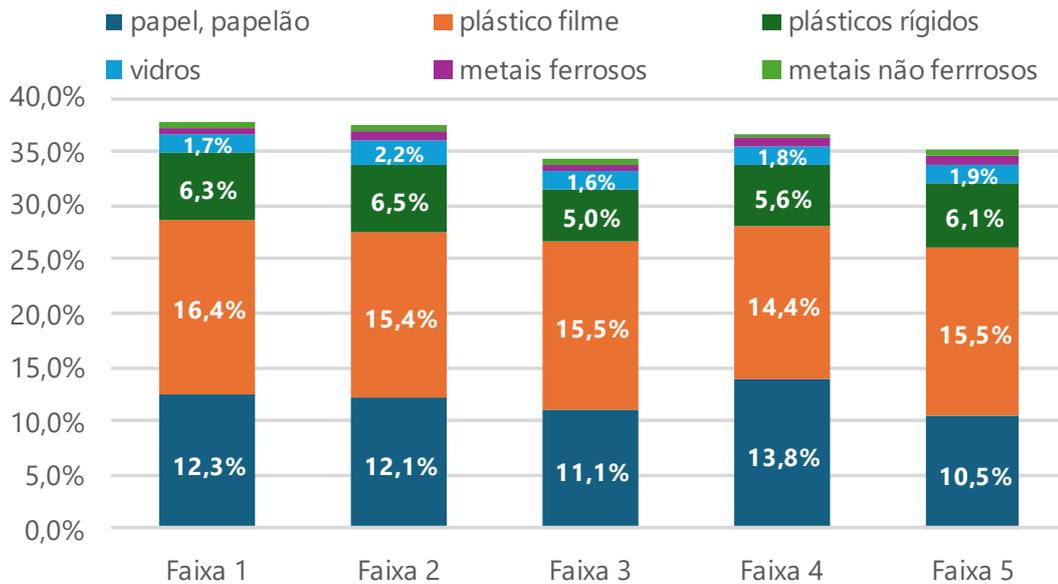


**Figura 22: Gravimetria dos RSU por faixa de população na região de estudo (%).**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Nos municípios pequenos (Faixa 1), a fração de resíduos orgânicos é de 38,5%, enquanto os recicláveis representam 37,7% e os rejeitos 23,8%. À medida que a população dos municípios aumenta, observa-se uma tendência de crescimento na proporção de resíduos orgânicos, atingindo 44,8% nos municípios muito grandes (Faixa 5), como São Paulo e Guarulhos. Por outro lado, a fração de recicláveis apresenta uma leve variação, com os municípios pequenos registrando 37,7% e os muito grandes 35,2%. Esta pequena diferença pode ser explicada pela maior eficiência e infraestrutura de coleta seletiva e reciclagem em municípios maiores, embora a quantidade absoluta de recicláveis gerados seja maior. Os rejeitos, no entanto, mostram uma tendência inversa, diminuindo de 23,8% nos municípios pequenos para 20,0% nos muito grandes.

Mais relevante, o perfil dos resíduos recicláveis também se altera de acordo com as faixas populacionais dos municípios, como se observa na Figura 23.



**Figura 23: Gravimetria dos recicláveis por faixa de população na área de estudo (%).**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Nos municípios da Faixa 1, a fração de papel e papelão é de 12,3%, enquanto nos municípios de São Paulo e Guarulhos, essa fração é de 10,5%. A fração de plástico filme apresenta uma leve variação, com 16,4% nos municípios pequenos e 15,5% nos maiores, sendo esse tipo de plástico amplamente utilizado em embalagens. Já os plásticos rígidos, que incluem itens como garrafas e recipientes, variam de 6,3% nos municípios pequenos a 6,1% nos muito grandes, com uma leve queda nas faixas intermediárias. A fração de vidros também é relativamente constante, variando de 1,7% a 2,2% entre as diferentes faixas populacionais. Os metais ferrosos, como latas de aço, representam uma pequena fração dos resíduos recicláveis, variando de 0,7% a 0,9%. Os metais não ferrosos, como alumínio, têm uma fração ainda menor, variando de 0,4% a 0,5%.

Modificações no perfil de resíduos e - principalmente - na forma com a qual estes são dispostos para a coleta podem afetar a viabilidade de rotas tecnológicas, e por isso é importante simular tais possibilidades. A mais relevante das modificações no perfil dos RSU advém da atuação dos catadores autônomos de materiais recicláveis, que reduzem a quantidade e o perfil de certos tipos de material que são disponibilizados

para a coleta seletiva formal. Observa-se na Figura 23, por exemplo, a baixa porcentagem de metais não ferrosos, que pode ser atribuída ao seu alto valor de mercado, que incentiva a coleta informal e a reciclagem antes mesmo de chegarem aos sistemas de coleta municipal.

#### 3.4.2.2. *Reciclagem na região de estudo por meio da coleta autônoma*

Conforme demonstrado pelos dados da ABRELPE para a região Sudeste e os dados do SNIS para os municípios do estudo, tem-se:

- Taxa de geração de RSU de 1,23 kg/hab/dia para o Sudeste em 2022, conforme relatórios da ABRELPE;
- Taxa de coleta de RSU (convencional e seletiva) de 0,899 kg/hab/dia para a série histórica de cinco anos com informações de 32 municípios.

Percebe-se uma distância significativa entre as taxas de geração e de coleta de RSU. Na prática, significa assumir que 0,331 kg/hab/dia (ou seja, 27% do que é gerado) tem como destino: a disposição irregular no ambiente; "tratamentos" inadequados como a queima ou o enterramento; reaproveitamento adequado (construção de casas com garrafas PET e de vidro, por exemplo); reciclagem via coleta informal.

Parte da grande diferença encontrada, claramente, pode estar na própria estimativa dos valores, ou seja, pode se tratar apenas de uma diferença "contábil", aparente e irreal. Afinal, a estimativa da ABRELPE é realizada para a região Sudeste do país, sem sequer discriminar a diferença de taxas entre municípios de portes distintos. Outra fonte de disparidade pode ser a inclusão de resíduos volumosos ou outras tipologias nas estimativas.

De fato, o PERS/SP adota, de forma arbitrária, taxas bastante inferiores de geração de resíduos. São as seguintes: taxa de geração de 0,7 kg/hab/dia para os municípios com até 25.000 habitantes; 0,8 kg/hab/dia para município até 100.000 habitantes; 0,9 kg/hab/dia para municípios com 500.000 habitantes; e finalmente 1,1 kg/hab/dia nos municípios com mais de 500.000 habitantes.

Eis que as taxas adotadas pelos PERS/SP estão em desacordo com os dados do SNIS e são baixas em demasia, mesmo para os municípios de menor porte. Afinal, os dados do SNIS não refletem a geração de RSU, mas sim a taxa de coleta de RSU. Nesse caso, refletem valores mais próximos da realidade, pois são fruto de pesagens do resíduo que é efetivamente coletado pelos prestadores de serviços. Mesmo que os caminhões coletores não sejam sistematicamente pesados, são dados próximos da realidade. Conforme a análise dos dados do SNIS apresentada anteriormente, em 2021, as taxas de coleta por habitante por dia foram de: 0,889 para municípios de Faixa populacional 1 e 2 (pequenos); 1,050 para municípios de Faixa 3; 1,011 para municípios de Faixa 4; e de 0,858 para os municípios de São Paulo e Guarulhos.

De toda forma, há uma geração de RSU superior ao que é efetivamente coletado pelos prestadores de serviço. Ou seja, o RSU que adentra a rota tecnológica via coleta formal (seletiva e indiferenciada) é menor e diferente em perfil do que o total de RSU que é gerado pela população. Embora seja bastante desafiador estimar quantitativamente a parcela dos RSU gerados que é disposta de forma irregular pela população ou reaproveitada, é possível calcular a fração que é desviada pela coleta informal de materiais recicláveis.

Antevê-se, inclusive, que a quantidade desviada pela coleta informal seja bastante significativa. Conforme já abordado no Diagnóstico deste Plano, Costa (2023) realizou uma comparação entre as quantidades de resíduos coletados seletivamente pelos municípios, ou seja, pela coleta formal, e os dados de reciclagem divulgados pelas associações representativas dos setores da indústria (que processam recicláveis da coleta formal e informal), notando uma diferença de 5 a 6 vezes a mais, através da massa efetivamente reciclada quando comparada a massa coletada formalmente.

Retomando o que fora descrito no Diagnóstico: catadores e comerciantes intermediários desempenham um papel crucial na cadeia de reciclagem, conectando a fonte geradora de resíduos às empresas recicladoras (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI,

2017). A coleta informal de resíduos é a principal atividade que desvia os resíduos domésticos municipais da disposição final (FEHR, 2014). Além disso, os catadores autônomos são a base da indústria de reciclagem, o que contribui para a alta taxa de recuperação de alguns resíduos, como o alumínio (CAMPOS, 2014).

Estudos internacionais corroboram essas afirmações no contexto de países desenvolvidos e também de países em desenvolvimento. Conforme Scheinberg (2012), o setor informal de catadores e recicladores é responsável pela maior parte dos resíduos reciclados em cidades em desenvolvimento. Medina (2010) destacou que os catadores abastecem a indústria com matéria-prima, estabelecendo fortes vínculos com o setor formal, vínculos esses que, em alguns casos, existem há séculos.

Para realizar estimativa similar no âmbito dos municípios do estudo, parte-se de um dado conhecido: em 2022 havia 33.074 famílias de catadores na região do estudo, devidamente cadastradas no CadÚnico (19.500 delas somente no município de São Paulo). Considerando que cada família cadastrada conte apenas com um catador, são 33.074 catadores nos 42 municípios. Sabe-se, ademais, que 1.818 pessoas deste contingente atuam na triagem de RSU por meio de 67 unidades de triagem que recebem os materiais da coleta seletiva formal. Dessa forma, assume-se que 31.256 catadores de materiais recicláveis atuem na catação e triagem informal de resíduos, ou seja, são catadores autônomos.

Estimando-se a quantidade de materiais recicláveis que cada catador autônomo consegue desviar por dia, pode-se calcular o volume total envolvido. Para tanto, primeiramente assume-se algumas premissas a partir dos dados da "Pesquisa Ciclosoft 2023" (que entrevistou 300 catadores e catadoras nas cidades de Fortaleza, Porto Alegre e São Paulo) em relação ao esforço diário de trabalho dos catadores autônomos. A maioria dos catadores (39,7%) trabalha 4,5 horas por dia; 36% dos catadores trabalham 12 horas por dia; 23% dos catadores trabalham 8 horas por dia; 1,3% dos catadores trabalham de forma esporádica. A média geral de horas trabalhadas por dia

entre todos os catadores, portanto, se aproxima de 8 horas, notando-se que esse tempo não é todo dispendido realizando a catação propriamente dita, mas também contabiliza a segregação dos materiais.

Segundo a referida pesquisa, 60% dos entrevistados atuam todos os dias do ano. Com base nessa informação, adota-se a premissa que de que essa fração (60%) trabalha 6 dias na semana (313 dias no ano), enquanto a parcela restante (40%) trabalha na catação durante uma terça-parte do ano. Na média ponderada, cada catador autônomo exerce seu esforço diário de 8 horas durante 236 dias no ano.

Existe uma grande discrepância na forma da catação, e conseqüentemente na sua eficiência. Enquanto 50% transportam os recicláveis em sacos, carrinhos de compra ou carroças, apenas 2,7% dos catadores possuem veículo motorizado para realizar a atividade. Sabe-se que a eficiência da coleta é uma função da densidade populacional, pois locais mais adensados apresentam mais resíduos para serem coletados. Essa variação, ademais, é grande: locais de alto adensamento podem render 85 kg/dia de recicláveis, enquanto locais de baixa densidade pode render apenas 25 kg/dia. Na média, portanto, assume-se que a coleta não-motorizada tenha uma eficiência de 50 quilogramas por dia. Adicionalmente, pressupõe-se que a coleta motorizada seja seis vezes mais eficiente. Considerando a proporção de catação motorizada (2,7%), a eficiência média é de 56,75 kg/dia.

Com base na estimativa de eficiência diária da coleta de um catador autônomo médio, aplica-se a quantidade de dias no ano em que esse "catador médio" exerce sua profissão para se obter o volume total desviado em um ano: 13,38 toneladas. Uma vez que o catador autônomo seleciona o resíduo que cata, não há descontos de rejeitos, sendo este o peso médio coletado das ruas por cada catador informal.

Como os municípios do estudo contam com o trabalho de 31.256 catadores cadastrados no CadÚnico, a quantidade anualmente desviada soma surpreendentes

418 mil toneladas. Isso representa 5,8% dos 7,19 milhões de t/ano coletados no sistema formal (coleta seletiva e indiferenciada).

Para estimar a quantidade total de RSU gerados - desconsiderando as frações de disposição irregular e reaproveitamento que não podem ser estimadas, a fração de recicláveis desviada da coleta formal deve ser adicionada aos 7,19 milhões de t/ano. Isso resulta em 7,61 milhões de t/ano, elevando assim, a taxa *per capita* para 0,949 kg/hab/dia na RMSP.

Mais do que auxiliar na compreensão acerca da real taxa de geração de RSU *per capita*, os dados aqui revelados evidenciam a importância dos catadores autônomos na gestão de resíduos sólidos urbanos dos municípios paulistas componentes do PGIRS-AT. Os catadores contribuem significativamente para o aumento da quantidade de resíduos recicláveis coletados. Senão, vejamos: na totalidade dos 42 municípios, a coleta formal de recicláveis atinge uma taxa pífia de recuperação de 0,96% do total de RSU, ou seja, 69,32 mil t/ano. Nota-se que o volume efetivamente coletado pela coleta seletiva formal é maior, totalizando 126,04 mil t/ano, o que representa 1,75% do total coletado. Parte expressiva dessa coleta seletiva, no entanto, é rejeito que, após ser triado, é direcionado aos aterros sanitários. A fração efetivamente reciclada é equivalente à uma taxa de recuperação de 2,70% sobre os 2,57 milhões de t/ano de resíduos recicláveis coletados formalmente.

Adicionando-se o papel dos catadores autônomos aos volumes da coleta formal, a quantidade estimada de material reciclável que é gerado na região sobe para 2,99 milhões de t/ano (saltando de 35,7% do total para 39,3% do total), fazendo com que a eficiência da coleta formal seja ainda mais diminuta. Do total de recicláveis gerados, 487,59 mil t/ano são efetivamente recuperados, sendo que 418,26 mil t/ano são via coleta autônoma (85,8%) e os outros 69,32 mil t/ano (14,2%) são via coleta seletiva formal. O papel da coleta autônoma é tão expressivo que aumenta a taxa de

recuperação de recicláveis de 0,96% para 6,41% sobre o total de RSU gerados, e de 2,70% para 16,32% sobre o total de recicláveis gerados.

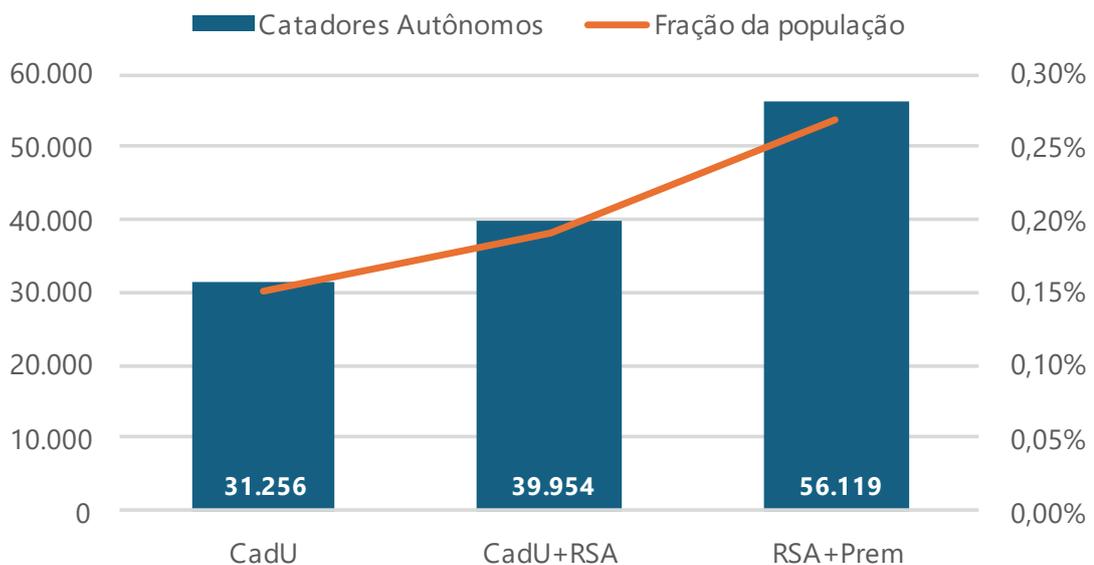
Eis que o papel dos catadores autônomos deve ser, na prática, ainda maior do que o exposto até aqui. Segundo a Pesquisa Ciclosoft 2023, 67,7% deles não acessam benefícios sociais dos governos federal, estadual ou municipal, como o Auxílio Brasil (atual Bolsa Família), Auxílio Emergencial, ou mesmo aposentadorias. Dessa forma, infere-se que o número de catadores autônomos que atuam nos municípios do PGIRS-AT seja - seguramente - superior aos 31.256 identificados pelo CadÚnico. Resta estimar essa diferença em termos quantitativos. Para fins de apresentação dos dados, denomina-se o cenário no qual apenas os catadores cadastrados no CadÚnico são considerados como "CadÚnico". Esse é, afinal, o número mínimo conhecido de catadores atuantes nos municípios.

Em relação ao município de Santo André, apresenta um caso de interesse: nele, estavam cadastradas como catadores um total de 628 famílias no CadÚnico de 2022. No entanto, ao realizar o estudo intitulado "Um olhar integrado sobre os catadores de materiais recicláveis de Santo André/SP", realizado pela SEMASA (2022), identificou-se um total de 1.831 pessoas envolvidas com a catação. A diferença, de 1,2 mil pessoas, representa uma subestimação do CadÚnico de 2,92 vezes. Pode-se, portanto, aplicar essa mesma taxa de subestimativa aos demais municípios de porte populacional similar (faixa populacional 4). Dessa forma, o universo de catadores seria maior em 8,7 mil, totalizando 39.954. Denomina-se esse cenário de CadÚnico+RSA (em alusão ao CadÚnico e ao uso da referência de Santo André).

Pode-se, ademais, conceber um cenário no qual os municípios nas demais faixas populacionais também apresentem resultados subestimados no CadÚnico (para além dos de faixa 4, conforme a referência de Santo André). Como premissas ainda conservadoras, adota-se que municípios de faixa populacional 1, 2 e 3 tenham o dobro de catadores efetivos do que os cadastrados no CadÚnico; já os municípios de faixa 5

(Guarulhos e São Paulo) tenham, arbitrariamente, uma subnotificação de 1,5 vezes os cadastrados no CadÚnico. A partir disso, chega-se na estimativa de 56,12 mil catadores informais nas ruas dos 42 municípios do PGIRS-AT, ou seja, 24,86 mil catadores a mais do que os cadastrados no CadÚnico. Se esse cenário for assertivo, tem-se que 0,27% da população total do território atua com catação de resíduos. Denomina-se esse último cenário de RSA+Prem (em alusão ao uso da referência de Santo André e às premissas aqui declaradas).

A Figura 24 sintetiza os três cenários para a quantidade de catadores autônomos atuantes nos 42 municípios do PGIRS-AT, reforçando-se que o primeiro deles (CadÚnico) representa o número mínimo conhecido de catadores atuantes nos municípios.

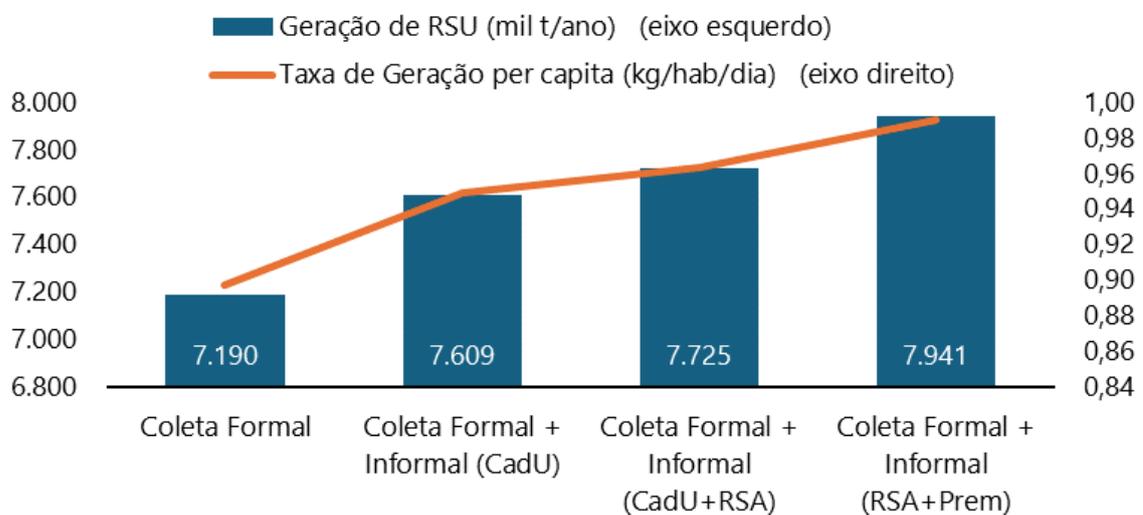


**Figura 24: Cenários para a quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo.**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Frente aos três cenários da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo, foram realizadas novas estimativas do papel das estimativas de geração dos RSU na região. A geração de RSU, quando é estimada por meio do que é coletado pelo poder público municipal (coleta formal), é de 7,19 milhão de t/ano, o

que representa uma taxa *per capita* de 0,8968 kg/hab/dia. Quando se inclui a coleta informal em sua estimativa mínima (dados do CadÚnico), a geração total aumenta para 7,61 milhões de t/ano, resultando em uma taxa de geração de 0,9490 kg/hab/dia. Com o cenário intermediário de quantidade de catadores autônomos, são 7,73 milhões de t/ano (taxa de 0,9635 kg/hab/dia). Já com a estimativa de um maior número de catadores, a geração passa a ser de 7,94 milhões de t/ano (10% a mais), o que eleva a taxa *per capita* para 0,9905 kg/hab/dia (Figura 25).

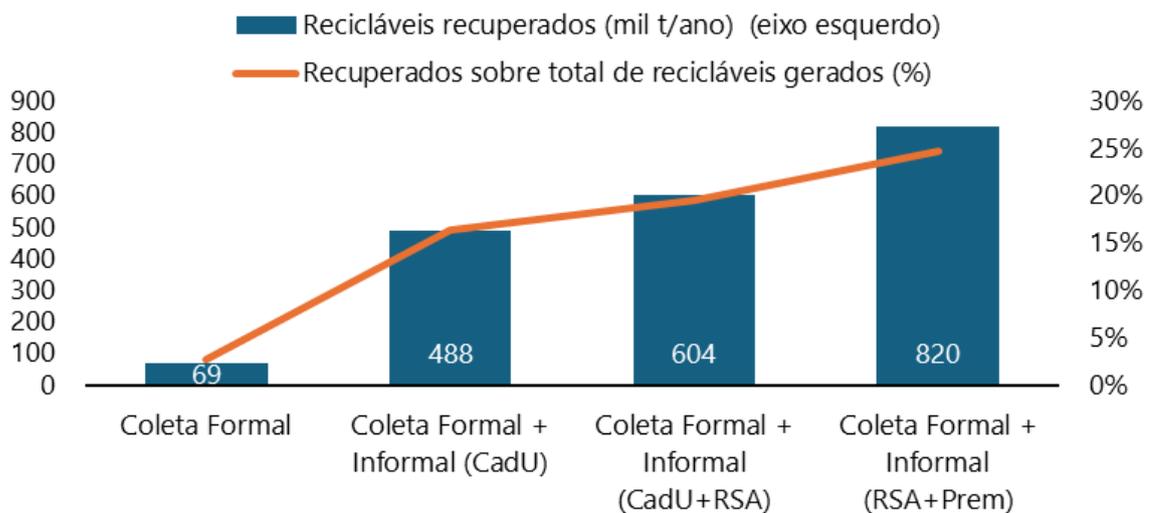


**Figura 25: Variações possíveis da geração de RSU e da taxa de geração *per capita* a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo.**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Na Figura 26, pode se observar a quantidade de recicláveis recuperados exclusivamente por meio da coleta formal realizada pelo poder público municipal é de apenas 69 mil t/ano, representando 2,7% do total de recicláveis gerados. Quando se inclui a coleta informal em sua estimativa mínima (dados do CadÚnico), a quantidade recuperada aumenta para 488 mil t/ano, com 86% desse total oriundo da catação, resultando em 16,3% do total de recicláveis gerados. Nesse cenário, a coleta informal representa 5,8% do total gerado. Com o cenário intermediário de quantidade de catadores autônomos, são 604 mil t/ano (89% oriundo da catação), o que representa

19,5% do total de recicláveis gerados. Nesse cenário intermediário, a coleta informal representa 7,4% do total gerado. Já com a estimativa de um maior número de catadores, a quantidade recuperada passa a ser de 820 mil t/ano (92% oriundo da catação), o que representa uma recuperação efetiva de 24,7% do total de recicláveis gerados. Nesse último cenário de maior quantidade de catadores autônomos, a coleta informal representa 10,4% do total gerado - ou seja, a cada 10 toneladas de RSU geradas na região de estudo uma é coletada informalmente. Nota-se que a adição de materiais reciclados nesse cenário representa a superação em 10,8 vezes do que é reciclado exclusivamente via coleta formal. Eis o tamanho do impacto positivo que os catadores autônomos geram nos 42 municípios do estudo (Figura 26).



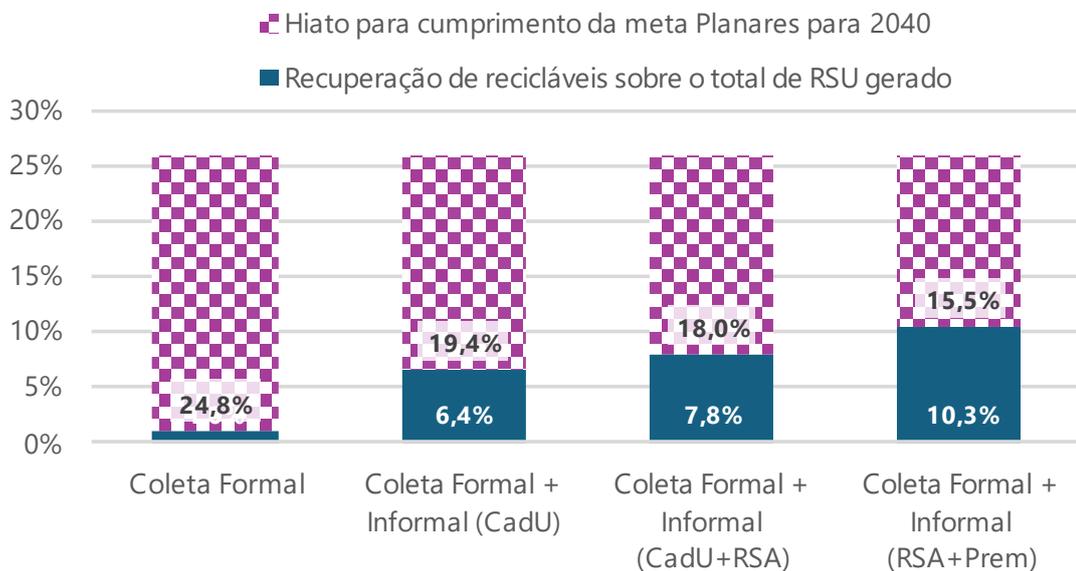
**Figura 26: Variações possíveis da recuperação de resíduos recicláveis a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo.**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

De acordo com o estudo de Costa (2023): ao comparar a quantidade de materiais reciclados na indústria (oriundos da coleta formal e informal) frente à quantidade de resíduos oriundos exclusivamente da coleta seletiva formal, foi identificada uma diferença de 5 a 6 vezes a mais, que só pode estar sendo fornecida pela coleta informal (catadores autônomos). Os resultados aqui obtidos no âmbito da região de estudo

estão exatamente na mesma ordem de grandeza dos achados de Costa (2023): a massa efetivamente reciclada (incluindo a coleta informal) em relação à massa coletada formalmente é de 3,9 vezes a mais no cenário CadÚnico, 4,8 vezes a mais do que no cenário intermediário (CadÚnico+RSA) e de 6,5 vezes a mais no cenário de maior quantidade de catadores (RSA+Prem).

Cabe, também, reavaliar o status de cumprimento da meta trazida pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos de se atingir 25,8% de recuperação de recicláveis em relação à massa total de RSU até 2040 para a Região Sudeste. Inicialmente, vale pontuar que a recuperação de recicláveis deve se dar com base na quantidade de recicláveis gerados, e não sobre a massa total de RSU. Dito isso, observa-se na Figura 27 o quão distante a meta se encontra - mesmo quando se considera o efeito preponderante dos catadores informais na promoção de tal recuperação. Torna-se evidente que, salvo por mudanças profundas na gestão atual de RSU, não existem perspectivas favoráveis para o cumprimento dessa meta.

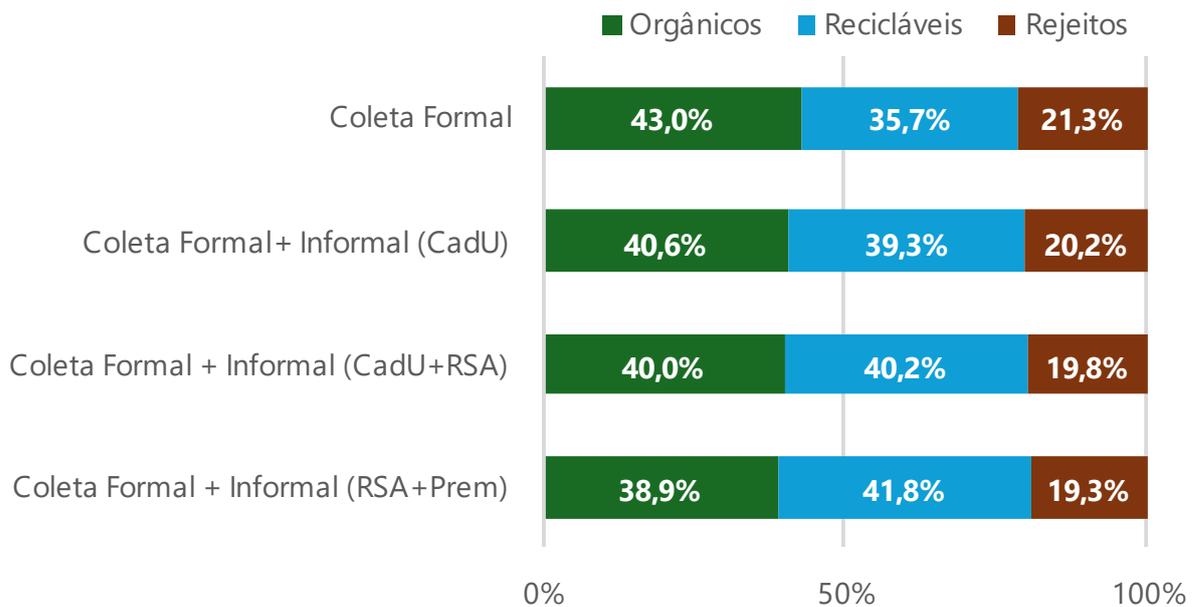


**Figura 27: Fração do RSU total que é recuperado a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo e hiato para cumprimento da meta Planares para 2040.**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Como visto, a atuação dos catadores autônomos altera a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados, pois as análises da composição do resíduo realizadas a partir do que chega no aterro sanitário já não contabilizam os recicláveis retirados antes da coleta formal. Dessa forma, e com base nas estimativas realizadas para as quantidades coletadas pelos catadores autônomos (em seus três cenários), é possível refazer as gravimetrias.

Como demonstra a Figura 28, a partir da adição de materiais recicláveis coletados pelos catadores autônomos, tem-se um impacto significativo na composição dos resíduos. Considerando apenas a coleta formal, os resíduos orgânicos representam 43% do total, os recicláveis 36%, e os rejeitos 21%. Quando se inclui a coleta informal em sua estimativa mínima (dados do CadÚnico), a fração de resíduos orgânicos diminui para 41%, enquanto os recicláveis aumentam para 39% e os rejeitos caem para 20%. Com o cenário intermediário de quantidade de catadores autônomos, os resíduos orgânicos representam 40%, os recicláveis 40%, e os rejeitos permanecem em 20%. Já com a estimativa de um maior número de catadores, a fração de resíduos orgânicos reduz-se ainda mais para 39%, os recicláveis aumentam para 42%, e os rejeitos diminuem para 19%.



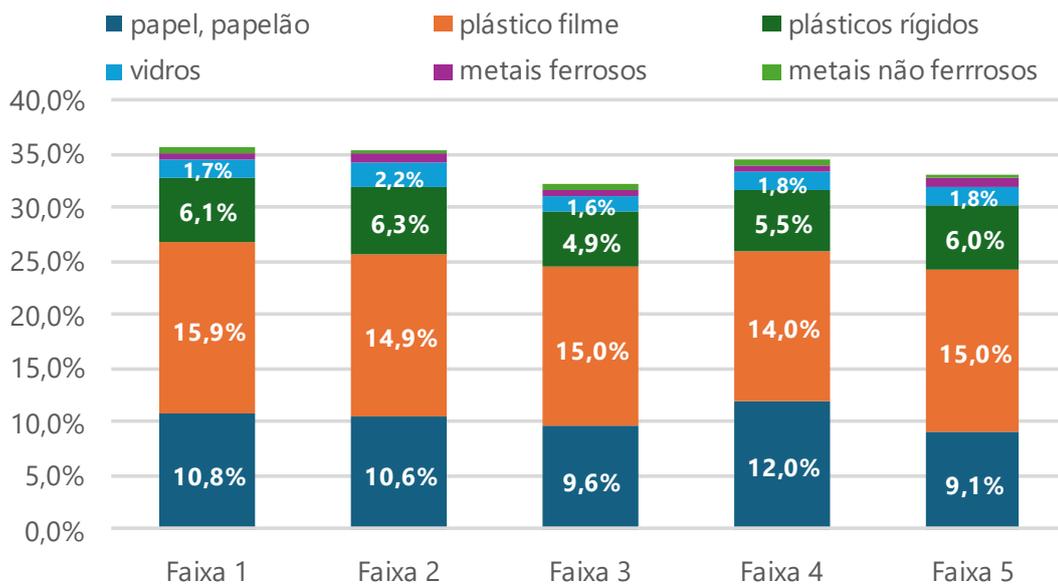
**Figura 28: Variações possíveis da recuperação de resíduos recicláveis a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na região de estudo.**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Destaca-se, portanto, que os catadores informais de materiais recicláveis nos 42 municípios do território do PGIRS-AT possuem fundamental importância na cadeia da reciclagem, garantindo que mais resíduos recicláveis sejam efetivamente recuperados. A importância econômica dos catadores autônomos é explorada no Capítulo 0.

A mudança na gravimetria do resíduo gerado afeta a gravimetria do resíduo que adentra a rota tecnológica (coleta formal) após a atuação da coleta informal. Desta forma, a gravimetria computada no aterro sanitário não sofre a influência dos catadores. Não obstante, um acréscimo no papel dos catadores pode modificar essa gravimetria ainda mais. Para tanto, simula-se uma nova gravimetria dos materiais recicláveis que chegam na rota tecnológica mediante um aumento de 4,6% no desvio realizado por catadores autônomos. Essa fração de aumento reflete o intervalo de incerteza que se tem acerca do papel já realizado pelos catadores autônomos, calculado pelo intervalo entre os cenários de maior quantidade de catadores (RSA+Prem) e o de menor (CadÚnico). As diferenças apresentadas na Figura 29 podem parecer sutis, mas repercutem em uma redução real destes materiais

adentrando a rota. Na faixa populacional 3, por exemplo, a quantidade total de material reciclável se reduz de 34,3% do total coletado para 32,1%. A fração de papel e papelão, da mesma forma, se reduz de 11,1% para 9,6%, enquanto a fração de vidros (1,6%) se mantém praticamente inalterada.



**Figura 29: Gravimetria dos recicláveis por faixa de população na área de estudo com simulação do aumento do desvio por catadores autônomos (%).**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 3.4.3. Projeção da variação absoluta de RSU

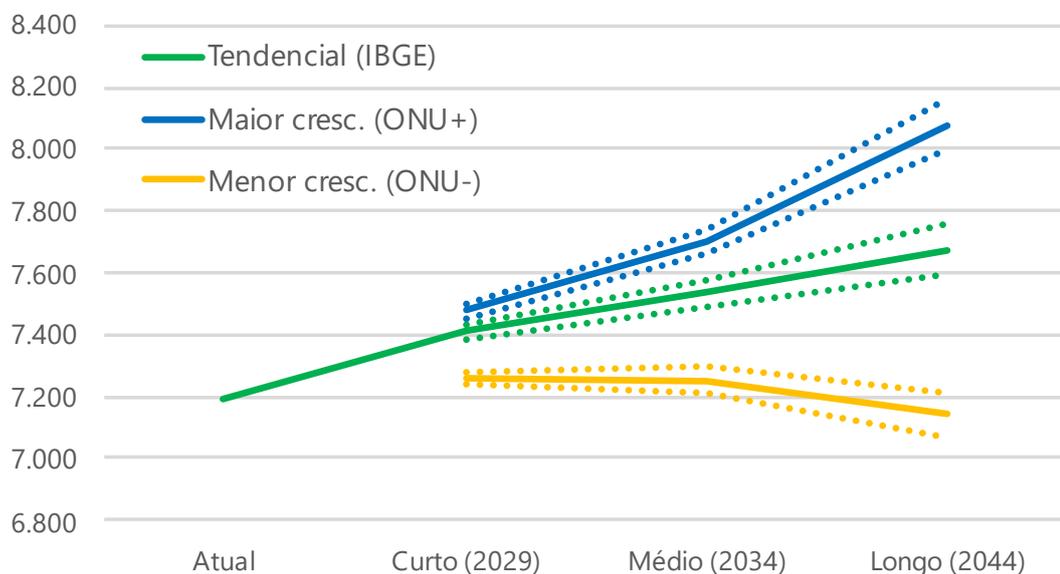
Como forma de se projetar a variação absoluta na geração de RSU para os municípios da região de estudo, congregam-se as informações acerca das taxas de geração *per capita* e das perspectivas populacionais. Para ilustrar as diferenças quantitativas produzidas pelas variações nas taxas de geração *per capita*, consideraram-se três simulações: a primeira delas sem incremento nas taxas; a segunda, adotando-se a continuidade de pequena elevação na taxa, desvendada pelos dados da região Sudeste (ABRELPE); e a terceira, ilustrativa, adotando-se o dobro dessa variação.

Retomando-se, o incremento adotado é fruto do coeficiente angular do histórico das taxas de geração *per capita* de RSU em kg/hab/dia para a região Sudeste, que é

positivo (+0,0004 kg/hab/dia por ano, o que representa um acréscimo de 0,04%). Conforme discutiu-se anteriormente, é bastante possível que diversos dos maiores municípios da região de análise estejam no ápice de suas Curvas Ambientais de Kuznets em relação à geração de resíduos *per capita*. Dessa forma, a simulação de incremento é realizada de forma indicativa.

Para gerar as projeções absolutas de geração de RSU, basta multiplicar a população projetada em cada cenário e para cada intervalo temporal pela taxa de geração *per capita*. Esta última foi aplicada município a município, com base nos resultados do SNIS. Nota-se, no entanto, que os indicadores do SNIS só permitem observar as taxas de coleta *per capita*, e não as taxas de geração *per se* (que embutem os resíduos descartados irregularmente, reaproveitados e, principalmente, os recicláveis desviados da coleta formal pelos catadores autônomos).

Conforme a Figura 30 demonstra, o maior efeito na estimativa futura de RSU que serão disponibilizados para a coleta formal é dado pela variação na população.



**Figura 30: Projeção da quantidade de RSU disponibilizada para a coleta formal nos municípios da região de estudo (mil t/ano).**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Sob perspectivas de uma taxa constante e crescente de geração de RSU *per capita* (0,04% ao ano), no cenário tendencial (IBGE), a quantidade de RSU aumenta de 7,19 milhões toneladas na cena atual para 7,41 milhões em 2029, seguido de 7,53 milhões em 2034 e finalmente chegando a 7,68 milhões em 2044, denotando um crescimento constante e moderado ao longo do tempo que equivale a 6,7% entre o fim do plano e a cena atual. No cenário de maior crescimento (ONU+), a quantidade de RSU aumenta de 7,48 milhões toneladas em 2029 para 7,70 milhões de toneladas em 2034 e para 8,08 milhões em 2044, refletindo um aumento significativo na geração de RSU devido a um crescimento populacional mais elevado. Nesse cenário, o total de RSU cresce 12,3% entre a cena atual e 2044. Já no cenário de menor crescimento (ONU-), a quantidade de RSU diminui de 7,26 milhões toneladas em 2029 para 7,14 milhões toneladas em 2044, indicando uma tendência de estabilização e até mesmo uma leve redução na quantidade de RSU ao longo do tempo, devido a um crescimento populacional mais baixo. Nesse cenário, a quantidade de RSU disponibilizada para a coleta em 2044 é 0,8% inferior à atual.

Sob perspectiva tendencial, observa-se que adoção de uma taxa de geração *per capita* de RSU constante faz com que apenas a população seja responsável pela modificação da quantidade total de resíduos, o que implica em um crescimento de 5,6% em 2044. A consideração da continuação da taxa histórica, que indica leve crescimento na geração *per capita*, pode acrescentar 78 mil toneladas aos RSU coletados em 2044 (6,7% de crescimento em relação a cena atual); já a consideração de uma taxa de crescimento dobrada para a geração *per capita* resulta em um acréscimo de 157 mil toneladas nesse mesmo ano (7,8% de crescimento em relação a cena atual).

No cenário de menor crescimento (ONU-), a quantidade de RSU diminui de 7,26 milhões de toneladas em 2029 para 7,14 milhões de toneladas em 2044. Isso sugere uma tendência de estabilização e até mesmo uma leve redução na quantidade de RSU

ao longo do tempo - devido ao crescimento populacional mais baixo. Assim, em 2044, a quantidade de RSU disponível para coleta será 0,8% inferior à atual.

Desta forma, na perspectiva de menor crescimento (ONU-), a adoção da taxa de geração *per capita* constante representa um decréscimo de 1,8% na geração de RSU em 2044 (7,07 milhões de toneladas). A continuação da variação na taxa *per capita* histórica pode acrescentar 73 mil toneladas aos RSU coletados em 2044, reduzindo a queda para -0,8% em relação a cena atual; já a consideração de uma taxa de crescimento dobrada resulta em um acréscimo de 146 mil toneladas nesse mesmo ano o que faz com que a variação em relação a cena atual passe a ser ligeiramente positiva (+0,3%).

O intervalo das diferenças encontradas entre os resultados das projeções das taxas *per capita* (ou seja, da adoção da taxa constante para a adoção da taxa dobrada) é de 2,18% na quantidade final de RSU gerada no cenário de crescimento tendencial; de 2,29% na quantidade gerada no cenário de maior crescimento; e de 2,03% na do cenário de menor crescimento. Isso faz com que os intervalos de possibilidade máximo e mínimo de RSU a serem disponibilizados para coleta nos municípios da área de estudo em 2044 sejam de: 7,14 milhões a 8,16 milhões t/ano.

Os números apresentados até aqui resultam da soma das projeções individuais de cada um dos 42 municípios. As três tabelas a seguir (Tabela 39, Tabela 40 e Tabela 41) detalham os resultados para cada município de forma específica. A primeira tabela (Tabela 39) mostra a quantidade de RSU a ser disponibilizada para coleta no curto prazo (próximos cinco anos); a segunda (Tabela 40), para o médio prazo (próximos 10 anos); e a terceira (Tabela 41), para o longo prazo (próximos 20 anos). Todas as tabelas consideram apenas a perspectiva de aumento constante na taxa de geração *per capita* de RSU (representada pelas linhas sólidas na figura Figura 30), refletindo um resultado tendencial.

Tabela 39: Projeções de RSU disponibilizados para coleta (toneladas) no curto prazo (2029).

Município	Quantidade atual de RSU disponibilizado para coleta formal	Projeções de Curto Prazo (2029)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		Qtde. RSU	Var. rel. atual	Qtde. RSU	Var. rel. atual	Qtde. RSU	Var. rel. atual
Arujá	28.940	29.961	3,53%	30.233	4,47%	29.342	1,39%
Barueri	99.000	102.604	3,64%	103.534	4,58%	100.484	1,50%
Biritiba Mirim	5.507	5.712	3,72%	5.763	4,66%	5.594	1,58%
Caieiras	26.281	27.229	3,61%	27.476	4,55%	26.666	1,46%
Cajamar	28.800	29.814	3,52%	30.084	4,46%	29.198	1,38%
Carapicuíba	124.653	129.041	3,52%	130.212	4,46%	126.375	1,38%
Cotia	118.604	122.843	3,57%	123.958	4,51%	120.305	1,43%
Diadema	111.518	115.479	3,55%	116.527	4,49%	113.093	1,41%
Embu-Guaçu	121.979	126.156	3,42%	127.300	4,36%	123.549	1,29%
Embu das Artes	15.300	15.858	3,65%	16.002	4,59%	15.531	1,51%
Ferraz de Vasconcelos	62.400	64.590	3,51%	65.176	4,45%	63.255	1,37%
Francisco Morato	43.914	45.500	3,61%	45.913	4,55%	44.560	1,47%
Franco da Rocha	33.868	35.115	3,68%	35.434	4,62%	34.389	1,54%
Guararema	13.219	13.673	3,44%	13.797	4,38%	13.390	1,30%
Guarulhos	355.044	367.853	3,61%	371.191	4,55%	360.253	1,47%
Itapecerica da Serra	53.233	55.104	3,52%	55.604	4,46%	53.966	1,38%
Itapevi	57.737	59.859	3,68%	60.402	4,62%	58.622	1,53%
Itaquaquecetuba	88.915	92.207	3,70%	93.043	4,64%	90.301	1,56%
Jandira	31.139	32.266	3,62%	32.559	4,56%	31.599	1,48%
Juquitiba	6.071	6.284	3,51%	6.341	4,44%	6.154	1,37%
Mairiporã	27.856	28.844	3,55%	29.106	4,49%	28.248	1,41%
Mauá	125.928	130.374	3,53%	131.557	4,47%	127.680	1,39%
Mogi das Cruzes	328.127	339.419	3,44%	342.499	4,38%	332.406	1,30%
Nazaré Paulista	6.225	6.506	4,51%	6.565	5,45%	6.371	2,35%
Osasco	274.805	284.483	3,52%	287.064	4,46%	278.605	1,38%
Paraibuna	3.600	3.755	4,29%	3.789	5,24%	3.677	2,13%
Pirapora do Bom Jesus	5.098	5.279	3,57%	5.327	4,51%	5.170	1,43%
Poá	30.139	31.217	3,58%	31.500	4,52%	30.572	1,44%
Ribeirão Pires	37.733	39.063	3,52%	39.418	4,46%	38.256	1,39%
Rio Grande da Serra	10.000	10.371	3,71%	10.465	4,65%	10.157	1,57%
Salesópolis	3.037	3.151	3,77%	3.179	4,71%	3.086	1,62%
Santa Isabel	20.081	20.782	3,49%	20.971	4,43%	20.353	1,35%
Santana de Parnaíba	75.355	77.986	3,49%	78.694	4,43%	76.375	1,35%
Santo André	236.837	245.357	3,60%	247.583	4,54%	240.287	1,46%
São Bernardo do Campo	289.749	299.897	3,50%	302.618	4,44%	293.700	1,36%
São Caetano do Sul	60.036	62.133	3,49%	62.697	4,43%	60.850	1,35%
São Lourenço da Serra	5.058	5.235	3,49%	5.282	4,43%	5.126	1,35%
São Paulo	4.009.122	4.109.786	2,51%	4.147.075	3,44%	4.024.871	0,39%
São Roque	22.498	23.689	5,30%	23.904	6,25%	23.200	3,12%
Suzano	97.738	101.246	3,59%	102.164	4,53%	99.154	1,45%
Taboão da Serra	85.691	88.765	3,59%	89.570	4,53%	86.931	1,45%
Vargem Grande Paulista	14.558	15.080	3,59%	15.217	4,53%	14.769	1,45%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 40: Projeções de RSU disponibilizados para coleta (toneladas) no médio prazo (2034).

Município	Quantidade atual de RSU disponibilizado para coleta formal	Projeções de Médio Prazo (2034)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		Qtde. RSU	Var. rel. atual	Qtde. RSU	Var. rel. atual	Qtde. RSU	Var. rel. atual
Arujá	28.940	30.591	5,70%	31.266	8,04%	29.114	0,60%
Barueri	99.000	104.854	5,91%	107.167	8,25%	99.854	0,86%
Biritiba Mirim	5.507	5.841	6,06%	5.969	8,40%	5.576	1,27%
Caieiras	26.281	27.819	5,85%	28.433	8,19%	26.512	0,88%
Cajamar	28.800	30.439	5,69%	31.111	8,02%	28.956	0,54%
Carapicuíba	124.653	131.749	5,69%	134.656	8,02%	125.404	0,60%
Cotia	118.604	125.472	5,79%	128.240	8,12%	119.363	0,64%
Diadema	111.518	117.934	5,75%	120.536	8,09%	112.338	0,73%
Embu-Guaçu	121.979	128.705	5,51%	131.544	7,84%	122.318	0,28%
Embu das Artes	15.300	16.208	5,94%	16.566	8,27%	15.458	1,03%
Ferraz de Vasconcelos	62.400	65.940	5,67%	67.395	8,00%	62.748	0,56%
Francisco Morato	43.914	46.490	5,87%	47.515	8,20%	44.311	0,90%
Franco da Rocha	33.868	35.898	6,00%	36.690	8,33%	34.251	1,13%
Guararema	13.219	13.950	5,54%	14.258	7,86%	13.259	0,31%
Guarulhos	355.044	375.836	5,86%	384.129	8,19%	358.178	0,88%
Itapecerica da Serra	53.233	56.259	5,69%	57.500	8,02%	53.546	0,59%
Itapevi	57.737	61.190	5,98%	62.540	8,32%	58.357	1,07%
Itaquaquecetuba	88.915	94.278	6,03%	96.358	8,37%	89.933	1,15%
Jandira	31.139	32.969	5,88%	33.697	8,22%	31.427	0,93%
Juquitiba	6.071	6.415	5,67%	6.557	8,00%	6.105	0,56%
Mairiporã	27.856	29.456	5,74%	30.106	8,08%	28.043	0,67%
Mauá	125.928	133.123	5,71%	136.060	8,05%	126.783	0,68%
Mogi das Cruzes	328.127	346.315	5,54%	353.957	7,87%	328.898	0,24%
Nazaré Paulista	6.225	6.693	7,52%	6.840	9,89%	6.413	3,02%
Osasco	274.805	290.454	5,69%	296.862	8,03%	276.300	0,54%
Paraibuna	3.600	3.856	7,12%	3.941	9,48%	3.691	2,52%
Pirapora do Bom Jesus	5.098	5.392	5,78%	5.511	8,11%	5.136	0,75%
Poá	30.139	31.887	5,80%	32.590	8,13%	30.381	0,80%
Ribeirão Pires	37.733	39.884	5,70%	40.764	8,03%	37.966	0,62%
Rio Grande da Serra	10.000	10.605	6,05%	10.840	8,40%	10.126	1,26%
Salesópolis	3.037	3.223	6,16%	3.295	8,50%	3.080	1,44%
Santa Isabel	20.081	21.214	5,64%	21.682	7,97%	20.182	0,50%
Santana de Parnaíba	75.355	79.603	5,64%	81.359	7,97%	75.667	0,41%
Santo André	236.837	250.656	5,83%	256.186	8,17%	238.676	0,78%
São Bernardo do Campo	289.749	306.147	5,66%	312.901	7,99%	291.276	0,53%
São Caetano do Sul	60.036	63.423	5,64%	64.823	7,97%	60.329	0,49%
São Lourenço da Serra	5.058	5.343	5,64%	5.461	7,97%	5.084	0,51%
São Paulo	4.009.122	4.163.152	3,84%	4.255.004	6,13%	3.933.078	-1,90%
São Roque	22.498	24.520	8,99%	25.061	11,39%	23.656	5,15%
Suzano	97.738	103.425	5,82%	105.707	8,15%	98.480	0,76%
Taboão da Serra	85.691	90.676	5,82%	92.677	8,15%	86.367	0,79%
Vargem Grande Paulista	14.558	15.405	5,82%	15.745	8,15%	14.676	0,81%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 41: Projeções de RSU disponibilizados para coleta (toneladas) no longo prazo (2044).

Município	Quantidade atual de RSU disponibilizado para coleta formal	Projeções de Longo Prazo (2044)					
		Tendencial (IBGE)		Crescimento Acelerado (ONU+)		Crescimento Desacelerado (ONU-)	
		Qtde. RSU	Var. rel. atual	Qtde. RSU	Var. rel. atual	Qtde. RSU	Var. rel. atual
Arujá	28.940	31.298	8,15%	32.943	13,83%	29.114	0,60%
Barueri	99.000	107.344	8,43%	112.983	14,12%	99.854	0,86%
Biritiba Mirim	5.507	5.995	8,86%	6.310	14,58%	5.576	1,27%
Caieiras	26.281	28.501	8,45%	29.998	14,14%	26.512	0,88%
Cajamar	28.800	31.128	8,08%	32.764	13,76%	28.956	0,54%
Carapicuíba	124.653	134.810	8,15%	141.893	13,83%	125.404	0,60%
Cotia	118.604	128.317	8,19%	135.059	13,87%	119.363	0,64%
Diadema	111.518	120.764	8,29%	127.109	13,98%	112.338	0,73%
Embu-Guaçu	121.979	131.494	7,80%	138.402	13,46%	122.318	0,28%
Embu das Artes	15.300	16.618	8,61%	17.491	14,32%	15.458	1,03%
Ferraz de Vasconcelos	62.400	67.455	8,10%	70.999	13,78%	62.748	0,56%
Francisco Morato	43.914	47.635	8,47%	50.137	14,17%	44.311	0,90%
Franco da Rocha	33.868	36.820	8,72%	38.755	14,43%	34.251	1,13%
Guararema	13.219	14.254	7,83%	15.002	13,50%	13.259	0,31%
Guarulhos	355.044	385.046	8,45%	405.275	14,15%	358.178	0,88%
Itapecerica da Serra	53.233	57.563	8,13%	60.587	13,82%	53.546	0,59%
Itapevi	57.737	62.734	8,66%	66.030	14,36%	58.357	1,07%
Itaquaquecetuba	88.915	96.679	8,73%	101.758	14,45%	89.933	1,15%
Jandira	31.139	33.785	8,50%	35.560	14,20%	31.427	0,93%
Juquitiba	6.071	6.563	8,10%	6.908	13,78%	6.105	0,56%
Mairiporã	27.856	30.146	8,22%	31.730	13,91%	28.043	0,67%
Mauá	125.928	136.294	8,23%	143.454	13,92%	126.783	0,68%
Mogi das Cruzes	328.127	353.570	7,75%	372.146	13,42%	328.898	0,24%
Nazaré Paulista	6.225	6.894	10,74%	7.256	16,56%	6.413	3,02%
Osasco	274.805	297.026	8,09%	312.631	13,76%	276.300	0,54%
Paraibuna	3.600	3.968	10,22%	4.176	16,00%	3.691	2,52%
Pirapora do Bom Jesus	5.098	5.521	8,30%	5.811	13,99%	5.136	0,75%
Poá	30.139	32.660	8,37%	34.376	14,06%	30.381	0,80%
Ribeirão Pires	37.733	40.814	8,16%	42.959	13,85%	37.966	0,62%
Rio Grande da Serra	10.000	10.885	8,85%	11.457	14,57%	10.126	1,26%
Salesópolis	3.037	3.311	9,05%	3.485	14,77%	3.080	1,44%
Santa Isabel	20.081	21.696	8,04%	22.836	13,72%	20.182	0,50%
Santana de Parnaíba	75.355	81.343	7,95%	85.616	13,62%	75.667	0,41%
Santo André	236.837	256.580	8,34%	270.060	14,03%	238.676	0,78%
São Bernardo do Campo	289.749	313.126	8,07%	329.577	13,75%	291.276	0,53%
São Caetano do Sul	60.036	64.854	8,02%	68.261	13,70%	60.329	0,49%
São Lourenço da Serra	5.058	5.465	8,04%	5.752	13,72%	5.084	0,51%
São Paulo	4.009.122	4.228.105	5,46%	4.450.239	11,00%	3.933.078	-1,90%
São Roque	22.498	25.430	13,04%	26.766	18,97%	23.656	5,15%
Suzano	97.738	105.867	8,32%	111.429	14,01%	98.480	0,76%
Taboão da Serra	85.691	92.846	8,35%	97.724	14,04%	86.367	0,79%
Vargem Grande Paulista	14.558	15.777	8,37%	16.606	14,07%	14.676	0,81%

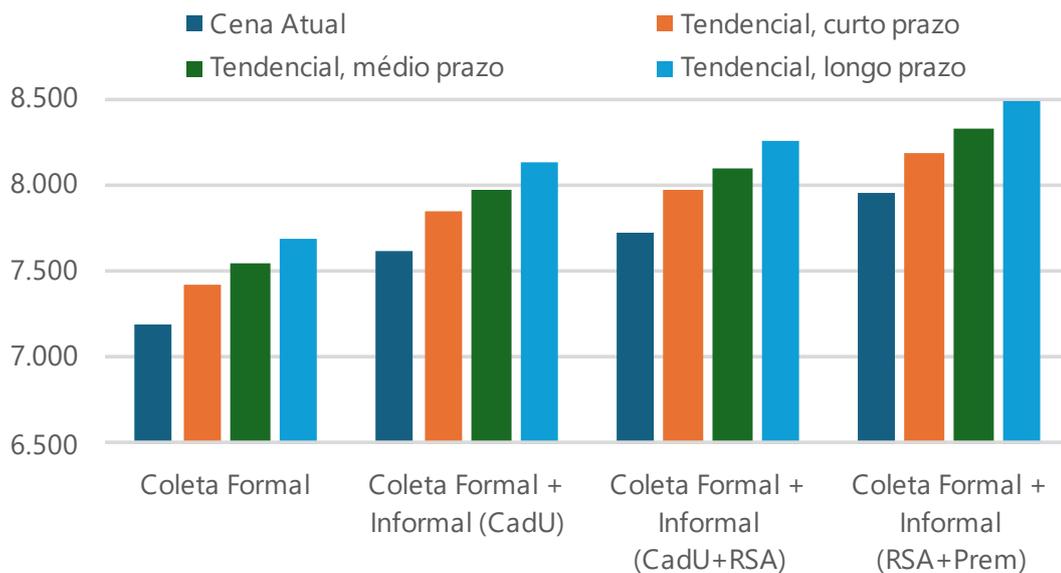
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Com base no último ano de projeção, 2044, salientam-se os seguintes resultados, que revelam algumas das variações mais significativas em termos absolutos entre os diferentes cenários e municípios. As maiores variações absolutas ocorrem em São Paulo, onde, no cenário ONU+, há um aumento de 441 mil toneladas (de 4,01 milhões para 4,45 milhões de toneladas), enquanto no cenário ONU-, há uma redução de 76 mil toneladas (para 3,93 milhões de toneladas). Seguindo-se a ordem do porte demográfico, Guarulhos apresenta a segunda maior variação absoluta, com um aumento de 50 mil toneladas no cenário ONU+ e uma redução de 3 mil toneladas no cenário ONU-. Mogi das Cruzes apresenta a terceira maior variação absoluta, com um aumento de 44 mil toneladas no cenário ONU+ (de 328 mil para 372 mil toneladas) e um aumento de 771 toneladas no cenário ONU- (para 329 mil toneladas).

Por outro lado, as menores variações absolutas ocorrem em Salesópolis, onde, no cenário ONU+, há um aumento de 448 toneladas (de 3.037 para 3.485 toneladas) e, no cenário ONU-, um aumento de 43 toneladas (para 3.080 toneladas). Em Paraibuna, a segunda menor variação absoluta é observada, com um aumento de 576 toneladas no cenário ONU+ (de 3.600 para 4.176 toneladas) e um aumento de 91 toneladas no cenário ONU- (para 3.691 toneladas). Pirapora do Bom Jesus apresenta a terceira menor variação absoluta, com um aumento de 713 toneladas no cenário ONU+ (de 5.098 para 5.811 toneladas) e um aumento de 38 toneladas no cenário ONU- (para 5.136 toneladas).

Como detalhado no Subcapítulo 3.4.2, sabe-se que os dados apresentados são referentes à quantidade de RSU que serão disponibilizados para a coleta formal. Há, portanto, uma quantidade maior de RSU que será, caso a situação se mantenha como está em termos de situação da coleta informal, coletada pelos catadores autônomos. Dessa quantidade total de geração de RSU, para a soma dos 42 municípios da região de estudo, pode-se aplicar às quantidades futuras o equivalente que seria desviado em materiais recicláveis pelos catadores autônomos.

Como antes, trabalha-se com as três perspectivas para a quantidade de catadores, supondo-se que seu número absoluto tenha crescimento proporcional. Trata-se, claramente, de uma simplificada simulação; outrossim, simulação esta que ilustra novamente o papel impressionante que estes catadores autônomos desempenham na gestão de RSU (Figura 31).



**Figura 31: Variações possíveis da geração total de RSU a partir da projeção populacional tendencial e da quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo (mil t/ano).**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Quando se considera a coleta formal juntamente com a informal, mesmo em sua perspectiva mínima de atuação (considerando apenas os catadores devidamente registrados no CadÚnico), observa-se um aumento significativo do volume total de RSU que circula pelos 42 municípios da região de estudo. A quantidade coletada total no cenário atual, que é de 7,61 milhões de toneladas da coleta formal mais a informal, passaria para 7,84 milhões de toneladas no curto prazo (ano de 2029), 7,97 milhões de toneladas no médio prazo (ano de 2034) e 8,12 milhões de toneladas no longo prazo (ano de 2044).

Caso se considere a perspectiva mediana para a quantidade de coletores autônomos (CadÚnico+RSA), os quantitativos sobem de forma bastante evidente. A quantidade coletada formal e informalmente na cena atual, de cerca de 7,73 milhões de toneladas, aumentaria para 7,96 milhões de toneladas no curto prazo, 8,09 milhões de toneladas no médio prazo e 8,25 milhões de toneladas no longo prazo.

Por fim, caso a perspectiva de atuação mais abrangente da coleta informal (RSA+Prem) seja somada aos dados conhecidos da coleta formal, a quantidade coletada no cenário atual passaria das 7,94 milhões de toneladas para 8,18 milhões de toneladas no curto prazo, 8,32 milhões de toneladas no médio prazo e 8,48 milhões de toneladas no longo prazo.

#### 3.4.3.1. *Cenários como insumo para as rotas tecnológicas*

Uma mais detalhada articulação dos cenários populacionais e de geração de RSU é realizada no Capítulo 5, trazendo dados específicos para cada um deles. Enquanto Capítulo 5 são apresentados os resultados das diversas simulações realizadas para cada arranjo (e também para cada município que conta com soluções individuais), neste capítulo será detalhada a lógica de cada uma das diferentes perspectivas simuladas e, no Subcapítulo 3.4.3.2, são apresentados os cenários para os municípios com soluções individuais.

Não se trata, ainda, da simulação das rotas tecnológicas (RT), pois estas podem ser compreendidas como endógenas, ou seja, são as respostas da gestão frente à problemática atual e futura da gestão integrada de RSU na área de estudo. As articulações dos cenários aqui propostos, no entanto, condizem com os elementos que não são controlados de forma direta pelo gestor. Articulam-se, pois, os condicionantes exógenos que compõe a base de entrada das RT.

O objetivo das simulações que articulam os elementos exógenos é obter futuros possíveis de resíduos de entrada para a RT, pois são os resíduos que estarão sujeitos à

gestão pública formal. Importa, portanto, perscrutar a quantidade de RSU a ser disponibilizada para a coleta formal (massa total), o seu perfil (gravimetria) e aonde no território esse RSU é gerado. Com base nessas perspectivas, é possível estimar a quantidade de caminhões coletores e outros dados importantes para a gestão, subsidiando o planejamento robusto das RT. Para fins de política pública social, adicionalmente, é importante compreender a quantidade de catadores autônomos que pode estar atuando na coleta informal.

No texto das tendências de geração e composição de RSU, identificaram-se e discutiram-se diversos condicionantes exógenos que devem influenciar o futuro dos RSU. De forma sintética, são eles: i) modificações nos padrões de consumo (fruto de preocupações ambientais e mudanças comportamentais e sociais); ii) mudanças na legislação e na forma de regulação dos resíduos sólidos; iii) alterações demográficas e seu efeito na composição e volume de resíduos; iv) fatores econômicos e sua relação com a sustentabilidade dos serviços de gestão de resíduos; v) influência da coleta informal de RSU; e vi) desenvolvimentos tecnológicos.

No entanto, de todos estes elementos somente cinco conseguem ser traduzidos quantitativamente de forma razoável: alterações demográficas; variações na taxa de geração *per capita* de RSU; papel da coleta informal de recicláveis por parte dos catadores autônomos; cobertura dos serviços de coleta convencional de RSU; e cobertura da coleta seletiva de RSU. As variações articuladas de cada um destes elementos, são:

**Alterações demográficas:** os cenários de crescimento populacional articulam exatamente esse ponto fulcral da geração de RSU. Suas variações ocorrem com base nos três cenários apresentados: cenário tendencial (IBGE), cenário de maior crescimento (ONU+) e cenário de menor crescimento (ONU-). Importante destacar que todos os cenários são pormenorizados por município.

**Variações na taxa de geração *per capita* de RSU:** aplicaram-se duas possibilidades para o comportamento da taxa atual de geração *per capita* de RSU. A primeira delas simula a simples manutenção das taxas atuais (ou seja, estabilidade), pois é possível que se esteja no topo da Curva Ambiental de Kuznets. Já a segunda simulação impõe uma variação positiva de 2,16% ao longo do horizonte temporal, que é equivalente ao dobro da variação tendencial dos últimos 20 anos calculada pelos dados da ABRELPE (valor superior apresentado nas figuras anteriores). Importante destacar que todas as taxas são aplicadas por município, respeitando-se assim o histórico heterogêneo de geração de RSU verificado no território.

**Papel da coleta informal de recicláveis por parte dos catadores autônomos:** conforme mencionado no Subcapítulo 3.4.2, por meio da coleta autônoma, os catadores desempenham um papel tão proeminente quanto subnotificado na coleta de materiais recicláveis, podendo representar 5,8% a 10,4% da fração de RSU que entra formalmente na RT pelo sistema pela coleta público. Da mesma forma que existem incertezas acerca da quantidade atual de catadores autônomos que realiza a catação nas ruas dos municípios da região de estudo, existem incertezas acerca da quantidade daqueles que permanecerão catadores mediante as oscilações econômicas vindouras (para melhor ou pior).

A Pesquisa Ciclossoft 2023 revelou que parte expressiva dos catadores realiza essa atividade de forma regular, com 38% dos entrevistados registrando histórico superior a 10 anos. Há, no entanto, uma parcela também expressiva (33,5%) que havia passado a exercer a catação há menos de 3 anos (coincidente com o período de pandemia, entre 2020 e 2023, data da pesquisa). Os resultados se alinham com os da outra pesquisa recente que identificam que 30% dos entrevistados passaram a realizar a atividade da catação por causa do desemprego e outras situações de vulnerabilidade social, conforme pesquisa Cataki, também de 2023.

Sabe-se que os catadores enfrentam situações de instabilidade não apenas pelos desenrolares conjunturais econômicos, que afetam os níveis de emprego, mas também devido à oscilação nos próprios preços de venda dos materiais recicláveis. Uma vez que sua renda e subsistência dependem diretamente da comercialização dos recicláveis coletados, flutuações de mercado e decisões das indústrias consumidoras de recicláveis têm um impacto direto no incentivo que têm de realizar a catação. Essa relação não só evidencia a vulnerabilidade desse grupo, mas também ilustra o quão difícil (e inerentemente impreciso) é simular essa atuação em uma região de 20 milhões de habitantes pelos próximos 20 anos.

Afinal, da mesma forma que a situação ainda motivada pela pandemia da Covid-19 tenha gerado um excesso de estoques de celulose nas indústrias - o que fez com que os preços do papel reciclado caíssem abruptamente -, facilmente antevê-se uma situação inversa no futuro, na qual algum choque de oferta na celulose virgem faça com que os valores pagos pelos papéis recicláveis voltem a subir (quicá também abruptamente). A oscilação de preços é o elo mais forte de ligação entre os catadores de materiais recicláveis e a economia como um todo.

Dadas essas incertezas, as simulações dos cenários adotam duas possibilidades para o comportamento dos catadores autônomos. A primeira delas traz a simples manutenção do papel atual, que equivale a 5,8% da fração de RSU que entra formalmente na RT pelo sistema pela coleta público. Por trás desse desempenho está o número de catadores devidamente cadastrados no CadÚnico, que hoje somam 31,26 mil. Supõe-se que esse número aumente conforme a quantidade de RSU gerado cresça nos cenários futuros. Já a segunda simulação impõe uma variação positiva que equivale ao desvio de 10,4% pela catação autônoma. Trata-se do intervalo superior da faixa de incerteza acerca do papel dos catadores autônomos na atualidade.

**Cobertura dos serviços de coleta convencional de RSU:** a análise dos dados históricos do SNIS desvendou que há uma tendência de ampliar a cobertura da

população atendida com algum mecanismo de coleta formal de RSU, seja coleta porta-a-porta, coleta containerizada ou outro. Uma vez que a cobertura dos serviços já é bastante elevada nos municípios componentes do estudo, simula-se apenas um resultado para essa cobertura no futuro: a universalização da coleta, ou seja, o atendimento a todos os habitantes. Dessa forma, as simulações consideram a totalidade da população como sendo atendida pela coleta convencional.

**Cobertura da coleta seletiva de RSU:** diferentemente da tendência de universalização da coleta convencional, não há evidências de aumento nas taxas de coleta seletiva formal. Embora novas iniciativas de coleta seletiva possam surgir, a análise dos dados do SNIS revela que não há uma tendência clara de que essas iniciativas se tornem efetivas. Além disso, caso algumas iniciativas se provem bem-sucedidas, outras podem acabar sendo descontinuadas. Diante dessa incerteza, o mais pragmático é assumir a manutenção das taxas atuais de cobertura da coleta seletiva. Dessa forma, as simulações consideram a manutenção das taxas de abrangência e de eficiência atual de cada município acerca da coleta seletiva.

Estes elementos, portanto, são articulados no intuito de produzir possíveis futuros de RSU que terão de ser enfrentados pela gestão - e são estes possíveis futuros que as RT deverão enfrentar no sentido de aprimorar a gestão e cumprir com as metas e demais compromissos correlatos. Adicionalmente, uma vez que os elementos são independentes entre si, simulam-se tanto seus efeitos individuais como as combinações de seus efeitos em conjunto. Ao final, tem-se a produção de 12 resultados, pelos quais se pode interpretar os máximos e mínimos como limites de uma banda de variação para os RSU nos próximos 20 anos (Tabela 42).

Tabela 42: Simulações cenarizadas para os arranjos e para municípios com soluções individuais.

Combinações	Elementos de incerteza	Variação
<b>Combinação 01</b>	Projeções demográficas	Tendencial (IBGE)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Manutenção
	Papel da catação autônoma (informal)	Manutenção
<b>Combinação 02</b>	Projeções demográficas	Tendencial (IBGE)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Incremento
	Papel da catação autônoma (informal)	Manutenção
<b>Combinação 03</b>	Projeções demográficas	Tendencial (IBGE)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Manutenção
	Papel da catação autônoma (informal)	Incremento
<b>Combinação 04</b>	Projeções demográficas	Tendencial (IBGE)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Incremento
	Papel da catação autônoma (informal)	Incremento
<b>Combinação 05</b>	Projeções demográficas	Maior crescim. (ONU+)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Manutenção
	Papel da catação autônoma (informal)	Manutenção
<b>Combinação 06</b>	Projeções demográficas	Maior crescim. (ONU+)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Incremento
	Papel da catação autônoma (informal)	Manutenção
<b>Combinação 07</b>	Projeções demográficas	Maior crescim. (ONU+)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Manutenção
	Papel da catação autônoma (informal)	Incremento
<b>Combinação 08</b>	Projeções demográficas	Maior crescim. (ONU+)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Incremento
	Papel da catação autônoma (informal)	Incremento
<b>Combinação 09</b>	Projeções demográficas	Menor crescim. (ONU-)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Manutenção
	Papel da catação autônoma (informal)	Manutenção
<b>Combinação 10</b>	Projeções demográficas	Menor crescim. (ONU-)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Incremento
	Papel da catação autônoma (informal)	Manutenção
<b>Combinação 11</b>	Projeções demográficas	Menor crescim. (ONU-)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Manutenção
	Papel da catação autônoma (informal)	Incremento
<b>Combinação 12</b>	Projeções demográficas	Menor crescim. (ONU-)
	Incremento na taxa de geração de RSU <i>per capita</i>	Incremento
	Papel da catação autônoma (informal)	Incremento

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A combinação 1 é a perspectiva que pode ser vista como "tendencial", uma vez que a análise histórica revelou certa estabilidade nos elementos de incerteza, para além do papel definidor que as trajetórias populacionais já trazem. Essa combinação articula as projeções populacionais no cenário tendencial (IBGE).

A combinação 6, por sua vez, é a perspectiva que apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público (ou seja, a maior massa de RSU que entra na RT). Essa combinação articula as projeções populacionais no cenário de maior crescimento (ONU+) com uma maior taxa de geração de RSU *per capita*. Tem-se, pois, a combinação de mais pessoas gerando mais resíduos. Nota-se que é a perspectiva na qual se mantém o papel atual dos catadores autônomos inalterada. Caso esse papel fosse incrementado, o resultado seria uma redução na massa de resíduos recicláveis disponibilizados para a coleta formal, pois grande parte deles estaria sendo desviado antes de ser disponibilizado para a coleta formal.

Já a combinação 11 traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para o setor público (para insumo da RT). Essa perspectiva articula as menores taxas de crescimento populacional (ONU-) com a manutenção das taxas atuais de geração de RSU *per capita*, mas também articula um incremento no papel dos catadores autônomos, ou seja, da coleta informal de RSU.

Metodologicamente, é importante destacar que os dados de entrada para cada município no arranjo a ser simulado são ponderados para gerar um único dado de entrada por arranjo, transformando-o efetivamente em uma unidade única de análise. Normalmente, o fator de ponderação é o volume de resíduos (como no caso das distâncias entre os centros de coleta e destinação final). Além disso, os resultados dos cenários são projetados para um horizonte temporal de 20 anos, representando a geração de RSU de forma representativa ao longo desse período, com base em um resultado mediano.

Ademais, cabe destacar que para a modelagem de RSU, foram adotadas as seguintes premissas de custos para os serviços (incluindo todos os custos da prestação dos serviços de acordo com a legislação vigente):

- Coleta e transporte de resíduos indiferenciados (mistos/rejeitos): R\$ 150 por tonelada, realizada com caminhões compactadores.
- Operação de estação de transbordo para resíduos indiferenciados: R\$ 10 por tonelada, aplicável quando a distância até a destinação final excede em 30 quilômetros a distância do centro de geração de RSU.
- Transporte da unidade de transbordo ou de tratamento de resíduos até a destinação final: R\$ 50 por tonelada.
- Coleta e transporte de resíduos seletivos (secos): R\$ 450 por tonelada, abrangendo a coleta seletiva de materiais recicláveis como papel, plástico, metal e vidro, que são separados na origem e coletados de forma diferenciada por um caminhão baú.
- Disposição final em aterro sanitário: R\$ 100 por tonelada para soluções individuais e R\$ 90 para soluções consorciadas, incluindo todas as operações necessárias para garantir a disposição segura e ambientalmente adequada.

#### 3.4.3.2. *Cenários para os municípios com soluções individuais*

Os municípios para os quais foram modeladas soluções individuais, referem-se aos municípios com contratos de concessão ativos e com prazo de encerramento superior a 10 anos. Estes municípios não foram considerados nos arranjos regionais, porém foram realizadas as modelagens para que os mesmos possam utilizar os resultados aqui obtidos para avaliação das suas concessões e até mesmo para possíveis revisões contratuais, quando for o caso.

Apresentam-se, nas soluções individuais, os cenários de geração de resíduos e seus resultados, bem como na perspectiva acerca do papel da coleta autônoma de RSU. Para os municípios componentes das proposições dos arranjos de gestão consorciada, estes resultados são apresentados no Capítulo 5.

### **Solução individual de Barueri**

Na cena atual da gestão de RSU da solução individual de Barueri, 318,55 mil habitantes são atendidos. A geração atual de RSU é de 119,31 mil t/ano, sendo que 112,75 mil t/ano são disponibilizados para a coleta formal. O restante, 6,56 mil t/ano, são materiais recicláveis coletados informalmente pela atuação de, no mínimo, 490 coletores autônomos.

Em contraste com a atuação da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável pelo recolhimento de 3,97% do resíduo gerado, sendo que 2,6 mil t/ano são assim recicladas. Estima-se que o município atue na coleta seletiva com 21 caminhões baú e conte com o trabalho de 151 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Na somatória da atuação da coleta seletiva formal e informal, o município de Barueri promove o equivalente a 7,68% de desvio do aterro sanitário sobre todo o que é gerado de RSU.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU, utilizado na coleta convencional, estima-se que o município empregue 17 deles. Em complemento, tem-se que o custo atual da coleta deva ser de R\$ 156,77/t, o que representa 35,59% do custo total com a gestão de RSU; o restante sendo custos com o tratamento e a disposição final (R\$ 283,74/t). Somando-se coleta, tratamento e disposição final, portanto, o município dispense cerca de R\$ 51,82 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,94 *per capita* por mês.

A Tabela Tabela 43 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o município de Barueri.

Tabela 43: Cenários prospectivos para o município de Barueri.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	318,55	112,75	6,56	14,94
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	332,34	117,63	6,84	15,59
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	342,16	123,72	7,20	15,92
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	319,68	107,92	6,28	14,88

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 342,16 (ONU+) a 319,68 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 22,47 mil habitantes. Na combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 332,34 mil habitantes, com 117,63 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 6,84 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 15,59 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 21 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,28 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 6,09 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores autônomos se mantenha estável, serão necessários 26 a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,35 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 1 caminhão compactador adicional ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 2,77 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,33/hab/mês).

Já a combinação 11 é a que traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, traz a perspectiva de se ter uma redução de 9,71 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos (pela redução na quantidade total de RSU): serão necessários 42 a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,57 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 2 caminhões compactadores a menos do que aponta o cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 4,43 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,71/hab/mês).

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Diadema**

Atualmente, na gestão de RSU da solução individual de Diadema, são atendidos 395,7 mil habitantes. A geração de RSU é de 108,7 mil toneladas anuais, com 102,72 mil t/ano destinadas à coleta formal. O restante, 5,98 mil t/ano, consiste em materiais recicláveis coletados informalmente por pelo menos 447 coletores autônomos.

Comparada à catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 0,95% dos resíduos gerados, com 0,56 mil toneladas recicladas por ano. O município opera a coleta seletiva com 5 caminhões baú e emprega 33 triadores formais. No total, a atuação conjunta da coleta seletiva formal e informal no município de Diadema resulta em um desvio de 6,02% do aterro sanitário sobre o total de RSU gerado.

Considerando a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município empregue 16 desses veículos. Além disso, o custo atual da coleta é de R\$ 156,58 por tonelada, representando 38,18% do custo total da gestão de RSU, com o restante sendo destinado ao tratamento e

disposição final (R\$ 253,56 por tonelada). No total, somando coleta, tratamento e disposição final, o município gasta aproximadamente R\$ 43,83 milhões por ano, o que equivale a R\$ 10,21 *per capita* por mês.

A Tabela 44 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Diadema.

Tabela 44: Cenários prospectivos para o município de Diadema.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	395,70	102,72	5,98	10,21
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	411,67	106,87	6,22	10,62
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	423,82	112,41	6,54	10,84
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	395,99	98,04	5,70	10,13

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 423,82 (ONU+) a 395,99 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 27,84 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 411,67 mil habitantes, com 106,87 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 6,22 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 10,62 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 18 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,24 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 5,54 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores

autônomos se mantenha estável, serão necessários 24 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,32 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 1 caminhão compactador adicional ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 2,35 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,23 por habitante por mês.

Já a combinação 11 é a que traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, projeta-se uma redução de 8,83 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 38 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,51 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 3,75 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,49 por habitante por mês.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Embu das Artes**

Na gestão atual de RSU em solução individual de Embu das Artes, 252,27 mil habitantes são atendidos. A geração de RSU é de 116,6 mil t/ano, das quais 110,19 mil t/ano são coletadas formalmente. Os materiais recicláveis restantes, totalizando 6,41 mil t/ano, são coletados informalmente por cerca de 479 coletores autônomos.

Em contraste com a catação informal, a coleta seletiva formal é responsável por recolher 0,19% dos resíduos gerados, resultando em 0,12 mil toneladas recicladas anualmente. Estima-se que o município utilize 1 caminhão baú e conte com 7 triadores formais que trabalham na coleta seletiva. Somando a atuação da coleta seletiva formal

e informal, o município de Embu das Artes promove um desvio de 5,6% do aterro sanitário em relação ao total de RSU gerado.

Com base na eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município utilize 17 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 145,66 por tonelada, o que corresponde a 37,78% do custo total da gestão de RSU, sendo o restante destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 239,85 por tonelada). No total, incluindo coleta, tratamento e disposição final, o município gasta cerca de R\$ 44,21 milhões por ano, equivalente a R\$ 16,14 *per capita* por mês.

A Tabela 45 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Embu das Artes.

Tabela 45: Cenários prospectivos para o município de Embu das Artes.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	252,27	110,19	6,41	16,14
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	262,56	114,68	6,67	16,80
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	270,31	120,62	7,02	17,16
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	252,56	105,21	6,12	16,02

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas indicam uma variação de 270,31 (ONU+) a 252,56 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 17,76 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 262,56 mil habitantes, com 114,68 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 6,67 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 16,8 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 20 novos catadores para

lidar com o acréscimo de 0,26 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário serve como linha de base para comparação com os outros cenários.

No cenário da combinação 6, a quantidade de RSU que o setor público precisa gerenciar é a maior. A população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 5,93 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 26 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,35 mil t/ano de recicláveis desviados. Esse cenário exige 1 caminhão compactador adicional ao tendencial, aumentando os custos da gestão em R\$ 2,38 milhões anuais, o que equivale a uma diferença de R\$ 0,36 por habitante por mês.

A combinação 11 apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Combinando uma menor população atendida e uma maior atuação dos catadores autônomos, projeta-se uma redução de 9,48 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 41 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,55 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva demanda 2 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 3,8 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,78 por habitante por mês.

Tal como descrito para os demais municípios, vale ressaltar que todas essas combinações são possíveis: os cenários delineados mostram os intervalos plausíveis de variação que resultam em mudanças significativas em alguns dos dados relevantes da gestão de RSU.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Itapecerica da Serra**

Na atual gestão de RSU em solução individual de Itapecerica da Serra, são atendidos 151,91 mil habitantes. A geração de RSU é de 50,04 mil toneladas anuais, com 47,29 mil t/ano sendo coletadas formalmente. O restante, 2,75 mil t/ano, é composto por materiais recicláveis coletados informalmente por pelo menos 206 coletores autônomos.

Diferentemente da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável por 1,8% do recolhimento dos resíduos gerados, reciclando 0,49 mil toneladas anualmente. O município estima a utilização de 4 caminhões baú e o trabalho de 29 triadores formais na coleta seletiva. Combinando a coleta seletiva formal e informal, o município de Itapecerica da Serra alcança um desvio de 6,48% do aterro sanitário em relação ao total de RSU gerado.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município empregue 7 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 151,43 por tonelada, representando 37,44% do custo total da gestão de RSU, com o restante sendo destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 252,99 por tonelada). No total, somando coleta, tratamento e disposição final, o município gasta aproximadamente R\$ 20,9 milhões por ano, o que equivale a R\$ 12,07 *per capita* por mês.

A Tabela 46 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Itapecerica da Serra.



Tabela 46: Cenários prospectivos para o município de Itapecerica da Serra.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	151,91	47,29	2,75	12,07
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	166,03	51,69	3,01	13,19
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	170,93	54,36	3,16	13,47
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	159,70	47,41	2,76	12,59

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas mostram uma variação de 170,93 (ONU+) a 159,7 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 11,23 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 166,03 mil habitantes, com 51,69 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 3,01 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 13,19 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 19 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,26 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6 destaca-se por apresentar a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 2,67 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mantendo-se estável o papel dos catadores autônomos, serão necessários 12 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,16 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva não demanda alterações na quantidade de caminhões compactadores em relação ao cenário tendencial; mesmo assim, os custos da gestão de uma quantidade superior de RSU se elevam em R\$ 1,17 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,28 por habitante por mês.

A combinação 11, por fim, projeta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Combinando uma menor população atendida e uma maior atuação dos catadores autônomos, espera-se uma redução de 4,27 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 19 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,25 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva demanda 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 1,87 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,6 por habitante por mês.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Itapevi**

Na cena atual da gestão de RSU da solução individual de Itapevi, 233,78 mil habitantes são atendidos. A geração atual de RSU é de 58,51 mil t/ano, sendo que 55,29 mil t/ano são disponibilizados para a coleta formal. O restante, 3,22 mil t/ano, são materiais recicláveis coletados informalmente pela atuação de, no mínimo, 240 coletores autônomos. Uma vez que a coleta seletiva formal é inexistente, a atuação exclusiva da coleta seletiva informal é a responsável pelo desvio de 5,5% do aterro sanitário sobre o total de RSU gerado.

Com base na eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município utilize 9 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 144,96 por tonelada, o que corresponde a 37,66% do custo total da gestão de RSU, sendo o restante destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 240 por tonelada). No total, incluindo coleta, tratamento e disposição final, o município gasta cerca de R\$ 22,17 milhões por ano, equivalente a R\$ 8,73 *per capita* por mês.

A Tabela 47 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Itapevi.

Tabela 47: Cenários prospectivos para o município de Itapevi.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	233,78	55,29	3,22	8,73
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	243,53	57,59	3,35	9,09
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	250,72	60,57	3,52	9,29
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	234,25	52,83	3,07	8,67

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 250,72 (ONU+) a 234,25 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 16,47 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 243,53 mil habitantes, com 57,59 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 3,35 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 9,09 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 10 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,13 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

No cenário da combinação 6, a quantidade de RSU que o setor público precisa gerenciar é a maior. A população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 2,98 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 13 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,17 mil t/ano de recicláveis desviados. Esse cenário não traz modificações na perspectiva de quantidade de

caminhões compactadores frente ao tendencial, e os custos da gestão se elevam em R\$ 1,19 milhões anuais para dar conta da maior quantidade de RSU, o que equivale a uma diferença de R\$ 0,20 por habitante por mês.

A combinação 11 apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Combinando uma menor população atendida e uma maior atuação dos catadores autônomos, projeta-se uma redução de 4,76 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 21 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,28 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva demanda 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 1,91 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,42 por habitante por mês.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Itaquaquecetuba**

Atualmente, na gestão de RSU da solução individual de Itaquaquecetuba, são atendidos 371,65 mil habitantes. A geração de RSU é de 92,25 mil toneladas anuais, com 87,18 mil t/ano destinadas à coleta formal. O restante, 5,07 mil t/ano, consiste em materiais recicláveis coletados informalmente por pelo menos 379 coletores autônomos. A atuação da catação seletiva formal é inexistente, e, portanto, a atuação da coleta seletiva informal é a que promove o equivalente a 5,5% de desvio do aterro sanitário sobre tudo o que é gerado de RSU.

Com base na eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município utilize 13 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 144,91 por tonelada, o que corresponde a 37,66% do custo total da

gestão de RSU, sendo o restante destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 239,91 por tonelada). No total, incluindo coleta, tratamento e disposição final, o município gasta cerca de R\$ 34,96 milhões por ano, equivalente a R\$ 8,65 *per capita* por mês.

A Tabela 48 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Itaquaquecetuba.

Tabela 48: Cenários prospectivos para o município de Itaquaquecetuba.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	371,65	87,18	5,07	8,65
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	387,28	90,84	5,28	9,02
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	398,71	95,54	5,56	9,21
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	372,52	83,33	4,85	8,60

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 398,71 (ONU+) a 372,52 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 26,19 mil habitantes. Na combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 387,28 mil habitantes, com 90,84 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 5,28 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 9,02 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 16 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,21 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*,

adicionando 4,7 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores autônomos se mantenha estável, serão necessários 20 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,27 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 1 caminhão compactador adicional ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 1,89 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,19 por habitante por mês.

A combinação 11 apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Combinando uma menor população atendida e uma maior atuação dos catadores autônomos, projeta-se uma redução de 7,51 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 33 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,44 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva demanda 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 3,01 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,42 por habitante por mês.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Osasco**

Na gestão atual de RSU em solução individual de Osasco, 733,3 mil habitantes são atendidos. A geração de RSU é de 304 mil t/ano, das quais 287,29 mil t/ano são coletadas formalmente. Os materiais recicláveis restantes, totalizando 16,71 mil t/ano, são coletados informalmente por cerca de 1.249 coletores autônomos.

Diferentemente da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável por 0,57% do recolhimento dos resíduos gerados, reciclando 0,95 mil toneladas anualmente. O município estima a utilização de 8 caminhões baú e o trabalho de 55

triadores formais na coleta seletiva. Combinando a coleta seletiva formal e informal, o município de Osasco alcança um desvio de 5,81% do aterro sanitário em relação ao total de RSU gerado.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU, utilizado na coleta convencional, estima-se que o município empregue 44 deles. Em complemento, tem-se que o custo atual da coleta deva ser de R\$ 146,65/t, o que representa 37,21% do custo total com a gestão de RSU; o restante sendo custos com o tratamento e a disposição final (R\$ 247,44/t). Somando-se coleta, tratamento e disposição final, portanto, o município dispense cerca de R\$ 117,96 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,8 *per capita* por mês.

A Tabela 49 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Osasco.

Tabela 49: Cenários prospectivos para o município de Osasco.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	733,30	287,29	16,71	14,80
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	764,01	299,33	17,41	15,42
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	786,57	314,81	18,31	15,75
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	734,90	274,58	15,97	14,71

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas mostram uma variação de 786,57 (ONU+) a 734,9 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 51,67 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 764,01 mil habitantes, com 299,33 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 17,41 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica

*per capita*, é de R\$ 15,42 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 52 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,7 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6 destaca-se por apresentar a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 15,48 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mantendo-se estável o papel dos catadores autônomos, serão necessários 67 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,9 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva demanda 3 caminhões compactadores adicionais ao tendencial, elevando os custos da gestão em R\$ 6,35 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,33 por habitante por mês.

Já a combinação 11 é a que traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, traz a perspectiva de se ter uma redução de 24,75 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos (pela redução na quantidade total de RSU): serão necessários 108 a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 1,44 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 4 caminhões compactadores a menos do que aponta o cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 10,14 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,71/hab/mês).

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de São Paulo**

Atualmente, na gestão de RSU da solução individual de São Paulo, são atendidos 11.402,35 mil habitantes. A geração de RSU é de 3.937,42 mil toneladas anuais, com 3.720,97 mil t/ano destinadas à coleta formal. O restante, 216,45 mil t/ano, consiste em materiais recicláveis coletados informalmente por pelo menos 16.175 coletores autônomos.

Em contraste com a atuação da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável pelo recolhimento de 1,65% do resíduo gerado, sendo que 35,72 mil t/ano são assim recicladas. Estima-se que o município atue na coleta seletiva com 289 caminhões baú e conte com o trabalho de 2073 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Na somatória da atuação da coleta seletiva formal e informal, o município de São Paulo promove o equivalente a 6,4% de desvio do aterro sanitário sobre tudo o que é gerado de RSU.

Considerando a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município empregue 570 desses veículos. Além disso, o custo atual da coleta é de R\$ 159,65 por tonelada, representando 38,5% do custo total da gestão de RSU, com o restante sendo destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 255,01 por tonelada). No total, somando coleta, tratamento e disposição final, o município gasta aproximadamente R\$ 1.596,76 milhões por ano, o que equivale a R\$ 12,97 *per capita* por mês.

A Tabela 50 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de São Paulo.



Tabela 50: Cenários prospectivos para o município de São Paulo.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	11.402,35	3.720,97	216,45	12,97
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	11.800,03	3.850,75	224,00	13,42
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	12.148,46	4.050,39	235,61	13,71
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	11.350,46	3.532,80	205,50	12,81

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 12.148,46 (ONU+) a 11.350,46 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 798 mil habitantes. Na combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 11.800,03 mil habitantes, com 3.850,75 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 224 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 13,42 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 564 novos catadores para lidar com o acréscimo de 7,55 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

No cenário da combinação 6, a quantidade de RSU que o setor público precisa gerenciar é a maior. A população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 199,64 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 868 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 11,61 mil t/ano de recicláveis desviados. Esse cenário exige 30 caminhões compactadores adicionais ao tendencial, aumentando os custos da gestão em R\$ 85,18 milhões anuais, o que equivale a uma diferença de R\$ 0,29 por habitante por mês.

Já a combinação 11 é a que traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, projeta-se uma redução de 317,95 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 1.382 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 18,5 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 49 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 135,65 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,61 por habitante por mês.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### **Solução individual de Suzano**

Atualmente, na gestão de RSU da solução individual de Suzano, são atendidos 309,41 mil habitantes. A geração de RSU é de 105,47 mil toneladas anuais, com 99,67 mil t/ano destinadas à coleta formal. O restante, 5,8 mil t/ano, consiste em materiais recicláveis coletados informalmente por pelo menos 433 coletores autônomos. O município não tem atuação de coleta seletiva formal, fazendo com que apenas a coleta informal seja responsável pelo desvio de 5,5% do aterro sanitário em relação ao total de RSU gerado.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o município empregue 15 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 153,54 por tonelada, representando 39,02% do custo total da gestão de RSU, com o restante sendo destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 239,91 por tonelada). No total, somando coleta, tratamento e disposição final, o município

gasta aproximadamente R\$ 40,87 milhões por ano, o que equivale a R\$ 12,15 *per capita* por mês.

A Tabela 51 apresenta alguns dos principais resultados para as três principais articulações entre os elementos de incerteza acerca da geração e coleta de RSU para o município de Suzano.

Tabela 51: Cenários prospectivos para o município de Suzano.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Cena Atual	309,41	99,67	5,80	12,15
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	322,42	103,87	6,04	12,66
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	331,94	109,25	6,35	12,93
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	310,14	95,29	5,54	12,07

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 331,94 (ONU+) a 310,14 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 21,8 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 322,42 mil habitantes, com 103,87 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 6,04 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 12,66 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 18 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,24 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 5,38 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores autônomos se mantenha estável, serão necessários 23 a mais do que no cenário

tendencial para lidar com o acréscimo de 0,31 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 1 caminhão compactador adicional ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 2,21 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,27/hab/mês).

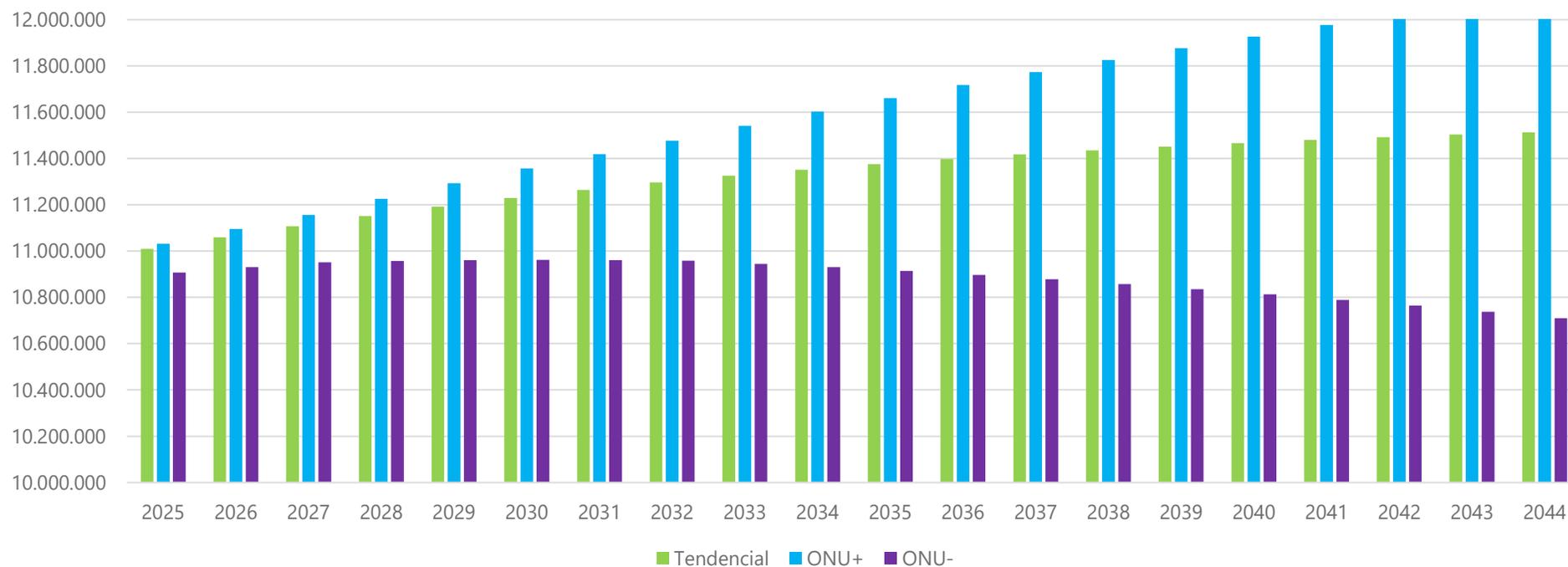
A combinação 11 projeta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Combinando uma menor população atendida e uma maior atuação dos catadores autônomos, espera-se uma redução de 8,58 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos devido à redução na quantidade total de RSU: serão necessários 37 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,5 mil t/ano de recicláveis desviados. Essa perspectiva demanda 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, reduzindo, por consequência, os custos da gestão em R\$ 3,52 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,59 por habitante por mês.

Destaca-se que qualquer uma dessas combinações pode se concretizar: os cenários projetados revelam intervalos plausíveis de variação que influenciam alguns dos dados cruciais da gestão de RSU.

### 3.5. Projeção da geração de RCC

Para fins de estimativa da geração total de RCC nos municípios da região de estudo, considerando pequenos e grandes geradores, em um horizonte de 20 anos, o cálculo foi feito com base na projeção de crescimento populacional no período de 2025 a 2044, para os três cenários populacionais (Tendencial, ONU+ e ONU-), apresentados no Subcapítulo 3.3, e uma geração média de RCC *per capita* de 520 kg/hab.ano, valor médio recomendado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O gráfico da Figura 32 e a Tabela 52 apresentam a estimativa da geração de resíduos de construção civil para os três cenários de projeção populacional. No cenário tendencial a diferença da estimativa de geração entre os anos de 2025 e 2044 ultrapassa 500 mil toneladas; já no cenário de maior crescimento populacional (ONU+) a diferença chega a mais de 1 milhão de toneladas; enquanto no cenário ONU- há uma redução na geração de RCC.



**Figura 32: Estimativa de geração de RCC no horizonte de 20 anos.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A partir da estimativa de geração total de RCC, foi calculada a estimativa dos RCC Classe A, que são os resíduos inertes que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados. Estes representam, em média, 72% do total de RCC gerados. A Tabela 53 apresenta a estimativa de geração de RCC Classe A para em cada um dos 42 municípios do estudo para os três cenários de projeção populacional em curto, médio e longo prazos.

Tabela 52: Comparação da estimativa de geração de RCC.

Geração de RCC (t/ano)	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Tendencial	11.009.494	11.059.820	11.107.063	11.151.154	11.192.081	11.229.870	11.264.501	11.296.258	11.325.300	11.351.810
ONU+	11.031.715	11.095.153	11.156.458	11.226.471	11.293.627	11.357.512	11.419.038	11.477.511	11.541.057	11.602.267
ONU-	10.907.515	10.930.263	10.951.253	10.957.150	10.960.834	10.961.866	10.961.156	10.957.995	10.945.026	10.930.449
Geração de RCC (t/ano)	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Tendencial	11.375.963	11.397.895	11.417.742	11.435.695	11.451.927	11.466.625	11.479.972	11.492.175	11.503.445	11.512.684
ONU+	11.661.226	11.718.019	11.772.975	11.826.084	11.877.248	11.927.363	11.976.374	12.024.351	12.071.664	12.117.528
ONU-	10.914.317	10.896.668	10.877.778	10.857.545	10.835.734	10.813.043	10.789.201	10.764.048	10.737.730	10.709.352

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 53: Estimativa de geração de RCC Classe A, por município.

Municípios	Projeção da Geração de RCC Classe A (t/ano)								
	2025			2034			2044		
	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-r
Arujá	33.044,54	33.111,19	32.738,66	34.334,73	35.092,51	33.060,27	34.956,98	36.793,79	32.517,76
Barueri	120.730,52	120.974,26	119.612,19	125.689,82	128.463,00	121.024,43	128.094,97	134.824,44	119.156,54
Biritiba Mirim	11.315,12	11.337,96	11.210,28	11.753,54	12.012,62	11.316,99	11.964,70	12.593,32	11.129,79
Caieiras	36.227,69	36.300,70	35.892,23	37.636,93	38.467,35	36.240,05	38.316,47	40.329,62	35.642,88
Cajamar	35.343,73	35.414,87	35.016,13	36.746,24	37.556,81	35.382,30	37.423,90	39.389,88	34.812,46
Carapicuíba	147.513,60	147.811,25	146.147,04	153.218,71	156.599,16	147.531,57	155.966,80	164.160,92	145.084,12
Cotia	104.684,49	104.896,02	103.714,79	108.983,72	111.388,12	104.938,33	111.068,01	116.903,40	103.317,93
Diadema	149.876,81	150.179,33	148.488,54	155.612,25	159.045,49	149.836,00	158.371,57	166.691,87	147.320,78
Embu das Artes	95.560,36	95.753,17	94.674,90	99.256,06	101.445,93	95.571,59	101.036,33	106.344,20	93.986,01
Embu-Guaçu	25.529,21	25.580,51	25.292,59	26.519,50	27.104,69	25.535,20	26.996,49	28.415,09	25.112,88
Ferraz de Vasconcelos	68.311,53	68.449,31	67.678,79	70.964,15	72.529,89	68.329,87	72.242,35	76.038,02	67.201,43
Francisco Morato	62.952,36	63.079,66	62.369,42	65.398,32	66.841,26	62.970,71	66.576,93	70.074,58	61.931,38
Franco da Rocha	55.220,26	55.331,83	54.708,83	57.373,43	58.639,28	55.243,84	58.411,27	61.480,22	54.335,55
Guararema	11.907,79	11.931,75	11.797,34	12.370,92	12.643,86	11.911,91	12.594,44	13.256,01	11.715,35
Guarulhos	492.448,69	493.442,35	487.887,00	511.621,72	522.909,88	492.631,40	520.864,53	548.229,43	484.519,65
Itapeçerica da Serra	60.426,66	60.548,72	59.866,93	62.764,04	64.148,57	60.434,15	63.889,86	67.246,36	59.431,51
Itapevi	88.573,31	88.752,27	87.753,00	92.074,32	94.105,81	88.656,80	93.765,11	98.691,09	87.222,47
Itaquaquecetuba	140.818,58	141.102,75	139.514,17	146.434,20	149.664,90	140.998,67	149.148,60	156.984,42	138.741,41
Jandira	45.000,63	45.091,61	44.583,93	46.751,33	47.782,80	45.015,98	47.595,23	50.095,84	44.274,30
Juquitiba	10.446,13	10.467,10	10.349,16	10.849,74	11.088,98	10.446,88	11.044,43	11.624,37	10.273,54
Mairiporã	35.780,28	35.852,54	35.448,94	37.178,29	37.998,60	35.798,26	37.852,59	39.841,40	35.211,57
Mauá	159.399,68	159.721,66	157.923,42	165.454,85	169.105,25	159.313,56	168.365,81	177.211,38	156.617,51
Mogi das Cruzes	172.202,28	172.549,73	170.606,97	179.150,03	183.102,94	172.500,31	182.512,89	192.101,64	169.777,30
Nazaré Paulista	6.978,82	6.993,04	6.914,42	7.356,21	7.518,33	7.082,90	7.544,16	7.940,65	7.017,75
Osasco	277.834,75	278.395,60	275.261,50	288.873,94	295.247,35	278.151,12	294.207,26	309.663,99	273.678,16
Paraibuna	6.759,79	6.773,27	6.697,27	7.099,00	7.255,50	6.835,42	7.267,10	7.648,62	6.759,79
Pirapora do Bom Jesus	7.002,78	7.017,00	6.938,01	7.274,59	7.435,21	7.004,65	7.405,63	7.794,63	6.888,96
Poá	39.551,24	39.630,99	39.184,70	41.072,80	41.978,85	39.548,25	41.805,13	44.001,73	38.888,18
Ribeirão Pires	44.048,91	44.138,02	43.640,81	45.750,56	46.759,94	44.052,28	46.570,12	49.016,82	43.320,70
Rio Grande da Serra	16.837,14	16.871,21	16.681,02	17.488,22	17.874,23	16.839,39	17.801,97	18.737,22	16.559,71
Salesópolis	5.794,96	5.806,57	5.741,05	6.019,23	6.152,14	5.795,71	6.127,43	6.449,04	5.699,87
Santa Isabel	20.269,64	20.310,83	20.082,07	21.055,51	21.520,14	20.274,13	21.434,03	22.560,22	19.938,30
Santana de Parnaíba	58.772,56	58.891,25	58.228,19	61.136,15	62.484,74	58.866,91	62.279,57	65.551,45	57.933,91
Santo André	285.612,16	286.188,36	282.966,65	297.066,56	303.620,80	286.040,10	302.606,55	318.504,70	281.491,14
São Bernardo do Campo	309.064,95	309.688,70	306.202,29	321.095,92	328.180,32	309.177,27	326.895,38	344.069,48	304.085,06
São Caetano do Sul	63.153,79	63.281,09	62.568,98	65.621,09	67.069,27	63.185,62	66.811,31	70.321,31	62.149,28

Projeção da Geração de RCC Classe A (t/ano)									
Municípios	2025			2034			2044		
	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-r
São Lourenço da Serra	6.124,81	6.137,16	6.067,90	6.362,55	6.502,95	6.126,31	6.477,12	6.817,45	6.025,22
São Paulo	4.344.422,28	4.353.191,48	4.304.181,40	4.449.127,36	4.547.289,05	4.283.983,27	4.496.484,10	4.732.717,77	4.182.729,78
São Roque	30.544,30	30.605,70	30.261,25	32.488,19	33.205,16	31.282,62	33.473,61	35.232,16	31.137,72
Suzano	117.235,12	117.471,74	116.148,99	121.912,88	124.602,57	117.387,88	124.174,25	130.697,80	115.509,51
Taboão da Serra	104.293,61	104.504,40	103.327,66	108.397,79	110.789,08	104.374,11	110.378,36	116.177,44	102.676,20
Vargem Grande Paulista	19.219,45	19.258,01	19.041,24	19.967,88	20.408,54	19.226,56	20.328,80	21.396,59	18.910,20
<b>TOTAL</b>	<b>7.926.835,36</b>	<b>7.942.834,97</b>	<b>7.853.410,66</b>	<b>8.173.303,26</b>	<b>8.353.631,89</b>	<b>7.869.923,57</b>	<b>8.289.132,13</b>	<b>8.724.620,36</b>	<b>7.710.733,56</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 3.6. Projeção da geração de RSS

A projeção da geração de RSS ao longo do horizonte de planejamento do PGIRS-AT, foi obtida a partir do desenvolvimento da seguinte metodologia:

O cálculo da geração *per capita* de RSS, disposto na Tabela 54, teve como ponto de partida, a geração estimada para cada município, apresentada no diagnóstico, para o ano de 2022, considerando a população obtida a partir do Censo do IBGE para esse ano. A geração *per capita* média para os municípios do estudo, para o ano de 2022, resultou em 3,65 kg/ano/hab.

Tabela 54: Geração de RSS – per capita (kg/ano/hab).

Município	Estimativa da geração de RSS (t/ano)	População 2022 (Censo IBGE)	Geração per capita de RSS (kg/ano/hab)
Arujá	256,4	86.678	2,96
Barueri	715,0	316.473	2,26
Biritiba-Mirim	16,5	29.683	0,55
Caieiras	319,9	95.032	3,37
Cajamar	203,5	92.689	2,20
Carapicuíba	508,0	386.984	1,31
Cotia	1.233,7	274.413	4,50
Diadema	905,5	393.237	2,30
Embu das Artes	481,0	250.691	1,92
Embu-Guaçu	17,6	66.970	0,26
Ferraz de Vasconcelos	348,1	179.198	1,94
Francisco Morato	276,4	165.139	1,67
Franco da Rocha	603,3	144.849	4,17
Guararema	36,5	31.236	1,17
Guarulhos	2.955,4	1.291.771	2,29
Itapecerica da Serra	835,0	158.522	5,27
Itapevi	651,5	232.297	2,80
Itaquaquecetuba	408,1	369.275	1,11
Jandira	27,0	118.045	0,23
Juquitiba	183,5	27.404	6,69
Mairiporã	103,5	93.853	1,10
Mauá	942,0	418.261	2,25
Mogi das Cruzes	1.758,2	451.505	3,89
Nazaré Paulista	23,5	18.217	1,29
Osasco	1.785,2	728.615	2,45
Paraibuna	12,9	17.667	0,73
Pirapora do Bom Jesus	23,7	18.370	1,29
Poá	47,0	103.765	0,45
Ribeirão Pires	235,2	115.559	2,04
Rio Grande da Serra	72,2	44.170	1,64
Salesópolis	12,9	15.202	0,85
Santa Isabel	127,0	53.174	2,39
Santana de Parnaíba	241,1	154.105	1,56
Santo André	1.737,4	748.919	2,32
São Bernardo do Campo	3.442,2	810.729	4,25
São Caetano do Sul	1.851,1	165.655	11,17
São Lourenço da Serra	70,6	16.067	4,39
São Paulo	50.131,92	11.451.999	4,38
São Roque	452,8	79.484	5,70
Suzano	900,8	307.429	2,93
Taboão da Serra	973,8	273.542	3,56
Vargem Grande Paulista	82,3	50.415	1,63
Total	76.009,3	20.847.288	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

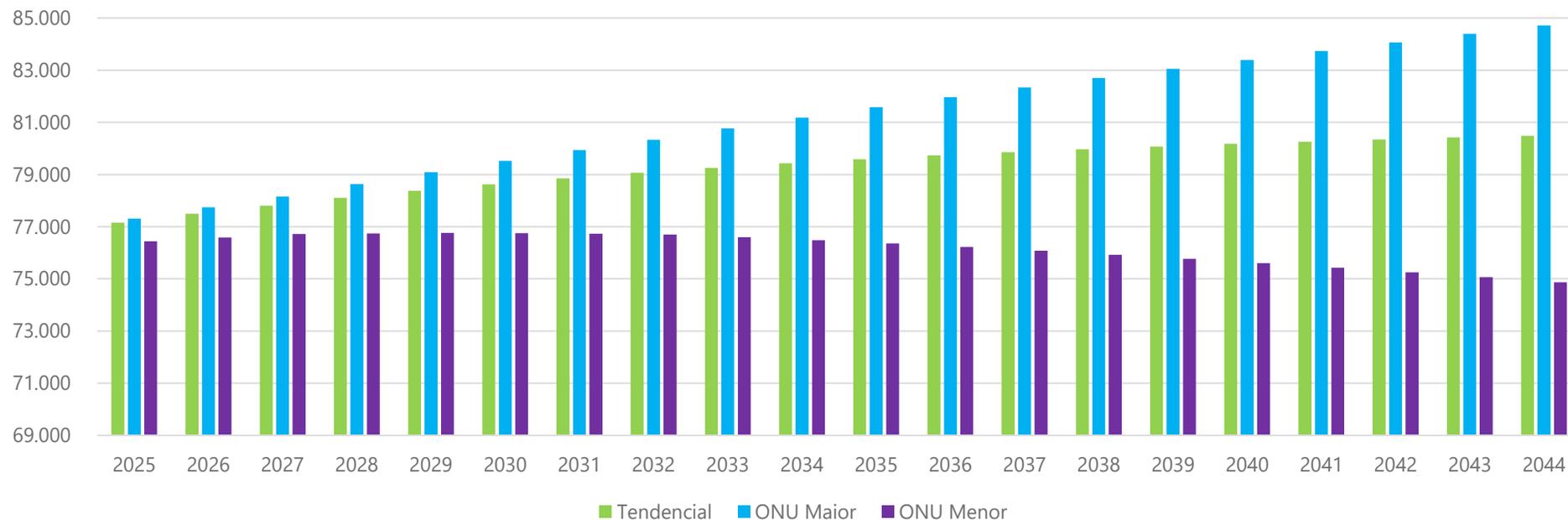
A estimativa da geração de RSS para o horizonte de 20 anos, foi obtida para cada uma das projeções populacionais analisadas no Subcapítulo 3.3, considerando a geração *per capita* obtida na Tabela 54. Destaca-se que a estimativa da geração de RSS apresentada neste relatório está tratando de forma global o que é gerado em estabelecimentos públicos quanto privados.

Na Tabela 55, apresenta-se os valores anuais totais para a região de estudo considerando as metodologias aplicadas para a projeção populacional, na Figura 33.

Tabela 55: Comparação da estimativa de geração total de RSS.

Geração de RSS (t/ano)	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Tendencial	77.152	77.491	77.808	78.103	78.375	78.626	78.854	79.063	79.253	79.425
ONU+	77.308	77.738	78.154	78.630	79.087	79.520	79.936	80.331	80.763	81.178
ONU-	76.437	76.583	76.716	76.744	76.756	76.750	76.731	76.695	76.592	76.477
Geração de RSS (t/ano)	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Tendencial	79.582	79.725	79.853	79.970	80.076	80.172	80.261	80.344	80.422	80.486
ONU+	81.578	81.964	82.338	82.700	83.050	83.394	83.732	84.064	84.394	84.715
ONU-	76.353	76.219	76.077	75.927	75.767	75.603	75.432	75.253	75.068	74.870

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).



**Figura 33: Estimativa de geração de RSS (t/ano).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

O PERS/SP, indica que os estudos realizados na ocasião da primeira versão do plano, identificaram como padrões médios para quantificar a distribuição de RSS em cada grupo, cerca de 40% como dos grupos A + E, e 5% dos grupos B + E. O presente estudo, utiliza esses percentuais para a estimativa da quantidade de RSS por grupo, uma vez que não há estudos novos ainda disponíveis, como o próprio PERS/SP recomenda.

Sendo assim, as tabelas a seguir (Tabela 57Tabela 58Tabela 59) apresentam os valores estimados para a geração de RSS, considerando os grupos A+E, B+E e D (rejeitos, orgânicos e recicláveis), para os 3 cenários de projeção populacional. Os resíduos do grupo C (radioativos) não estão considerados neste estudo, uma vez que a gestão dessa tipologia ocorre no âmbito da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Tabela 56: Estimativa da Geração RSS por grupo – Tendencial.

Município	Ano 1			Ano 10			Ano 20		
	2025			2034			2044		
	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D
Arujá	104,42	13,05	143,58	108,50	13,56	149,19	110,47	13,81	151,89
Barueri	291,43	36,43	400,71	303,40	37,92	417,17	309,20	38,65	425,15
Biritiba-Mirim	6,71	0,84	9,22	6,97	0,87	9,58	7,09	0,89	9,75
Caieiras	130,28	16,29	179,14	135,35	16,92	186,11	137,79	17,22	189,47
Cajamar	82,88	10,36	113,97	86,17	10,77	118,49	87,76	10,97	120,67
Carapicuíba	206,90	25,86	284,49	214,90	26,86	295,49	218,76	27,34	300,79
Cotia	502,80	62,85	691,35	523,45	65,43	719,75	533,46	66,68	733,51
Diadema	368,73	46,09	507,01	382,85	47,86	526,41	389,63	48,70	535,75
Embu das Artes	195,89	24,49	269,34	203,46	25,43	279,76	207,11	25,89	284,78
Embu-Guaçu	7,18	0,90	9,88	7,46	0,93	10,26	7,60	0,95	10,45
Ferraz de Vasconcelos	141,77	17,72	194,94	147,28	18,41	202,51	149,93	18,74	206,16
Francisco Morato	112,56	14,07	154,77	116,93	14,62	160,78	119,04	14,88	163,68
Franco da Rocha	245,72	30,72	337,87	255,30	31,91	351,04	259,92	32,49	357,39
Guararema	14,85	1,86	20,42	15,43	1,93	21,21	15,70	1,96	21,59
Guarulhos	1.203,68	150,46	1.655,06	1.250,55	156,32	1.719,50	1.273,14	159,14	1.750,56
Itapecerica da Serra	340,05	42,51	467,57	353,20	44,15	485,65	359,54	44,94	494,36
Itapevi	265,41	33,18	364,93	275,90	34,49	379,36	280,96	35,12	386,33
Itaquaquecetuba	166,26	20,78	228,61	172,89	21,61	237,72	176,09	22,01	242,13
Jandira	11,02	1,38	15,15	11,45	1,43	15,74	11,65	1,46	16,02
Juquitiba	74,72	9,34	102,73	77,60	9,70	106,70	78,99	9,87	108,62
Mairiporã	42,15	5,27	57,96	43,80	5,47	60,22	44,59	5,57	61,32
Mauá	383,54	47,94	527,37	398,11	49,76	547,41	405,12	50,64	557,04
Mogi das Cruzes	716,41	89,55	985,06	745,31	93,16	1.024,81	759,30	94,91	1.044,04
Nazaré Paulista	9,63	1,20	13,24	10,15	1,27	13,95	10,41	1,30	14,31
Osasco	727,28	90,91	1.000,01	756,18	94,52	1.039,75	770,14	96,27	1.058,94
Paraibuna	5,29	0,66	7,27	5,55	0,69	7,64	5,69	0,71	7,82
Pirapora do Bom Jesus	9,66	1,21	13,28	10,03	1,25	13,80	10,22	1,28	14,05
Poá	19,16	2,39	26,34	19,89	2,49	27,35	20,25	2,53	27,84
Ribeirão Pires	95,79	11,97	131,71	99,49	12,44	136,79	101,27	12,66	139,25
Rio Grande da Serra	29,42	3,68	40,45	30,56	3,82	42,02	31,11	3,89	42,77
Salesópolis	5,27	0,66	7,24	5,47	0,68	7,52	5,57	0,70	7,66
Santa Isabel	51,73	6,47	71,12	53,73	6,72	73,88	54,70	6,84	75,21
Santana de Parnaíba	98,23	12,28	135,07	102,18	12,77	140,50	104,09	13,01	143,13

Município	Ano 1			Ano 10			Ano 20		
	2025			2034			2044		
	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D
Santo André	707,89	88,49	973,35	736,28	92,03	1.012,38	750,01	93,75	1.031,26
São Bernardo do Campo	1.401,98	175,25	1.927,72	1.456,55	182,07	2.002,76	1.482,86	185,36	2.038,93
São Caetano do Sul	753,95	94,24	1.036,68	783,41	97,93	1.077,18	797,62	99,70	1.096,72
São Lourenço da Serra	28,74	3,59	39,51	29,85	3,73	41,05	30,39	3,80	41,79
São Paulo	20.318,39	2.539,80	27.937,78	20.808,08	2.601,01	28.611,11	21.029,56	2.628,70	28.915,65
São Roque	185,89	23,24	255,60	197,72	24,71	271,86	203,72	25,46	280,11
Suzano	367,02	45,88	504,65	381,66	47,71	524,78	388,74	48,59	534,52
Taboão da Serra	396,65	49,58	545,39	412,26	51,53	566,86	419,79	52,47	577,21
Vargem Grande Paulista	33,53	4,19	46,10	34,83	4,35	47,90	35,46	4,43	48,76
<b>TOTAL</b>	<b>30.860,84</b>	<b>3.857,60</b>	<b>42.433,65</b>	<b>31.770,14</b>	<b>3.971,27</b>	<b>43.683,95</b>	<b>32.194,46</b>	<b>4.024,31</b>	<b>44.267,38</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 57: Estimativa da Geração RSS por grupo – ONU+.

Município	Ano 1			Ano 10			Ano 20		
	2025			2034			2044		
	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D
Arujá	104,63	13,08	143,87	110,89	13,86	152,48	116,27	14,53	159,87
Barueri	292,01	36,50	401,52	310,09	38,76	426,37	325,45	40,68	447,49
Biritiba-Mirim	6,72	0,84	9,24	7,12	0,89	9,79	7,46	0,93	10,26
Caieiras	130,54	16,32	179,50	138,34	17,29	190,21	145,03	18,13	199,42
Cajamar	83,05	10,38	114,20	88,07	11,01	121,10	92,37	11,55	127,01
Carapicuíba	207,32	25,92	285,07	219,65	27,46	302,01	230,25	28,78	316,60
Cotia	503,82	62,98	692,75	535,00	66,87	735,62	561,49	70,19	772,05
Diadema	369,48	46,18	508,03	391,29	48,91	538,03	410,10	51,26	563,89
Embu das Artes	196,28	24,54	269,89	207,95	25,99	285,93	217,99	27,25	299,74
Embu-Guaçu	7,20	0,90	9,90	7,63	0,95	10,49	8,00	1,00	11,00
Ferraz de Vasconcelos	142,06	17,76	195,33	150,53	18,82	206,98	157,81	19,73	216,99
Francisco Morato	112,78	14,10	155,08	119,51	14,94	164,33	125,29	15,66	172,28
Franco da Rocha	246,22	30,78	338,55	260,94	32,62	358,79	273,58	34,20	376,17
Guararema	14,88	1,86	20,46	15,77	1,97	21,68	16,53	2,07	22,73
Guarulhos	1.206,11	150,76	1.658,40	1.278,14	159,77	1.757,44	1.340,02	167,50	1.842,53
Itapeccerica da Serra	340,74	42,59	468,51	360,99	45,12	496,37	378,43	47,30	520,34
Itapevi	265,94	33,24	365,67	281,99	35,25	387,73	295,72	36,97	406,62
Itaquaquecetuba	166,59	20,82	229,07	176,70	22,09	242,97	185,34	23,17	254,85
Jandira	11,04	1,38	15,18	11,70	1,46	16,08	12,26	1,53	16,86

Município	Ano 1			Ano 10			Ano 20		
	2025			2034			2044		
	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D
Juquitiba	74,87	9,36	102,94	79,31	9,91	109,06	83,14	10,39	114,32
Mairiporã	42,24	5,28	58,08	44,77	5,60	61,55	46,94	5,87	64,54
Mauá	384,32	48,04	528,44	406,90	50,86	559,49	426,40	53,30	586,30
Mogi das Cruzes	717,85	89,73	987,05	761,76	95,22	1.047,42	799,20	99,90	1.098,89
Nazaré Paulista	9,65	1,21	13,26	10,37	1,30	14,26	10,95	1,37	15,06
Osasco	728,75	91,09	1.002,03	772,86	96,61	1.062,69	810,60	101,33	1.114,58
Paraibuna	5,30	0,66	7,29	5,68	0,71	7,80	5,98	0,75	8,23
Pirapora do Bom Jesus	9,68	1,21	13,31	10,26	1,28	14,10	10,75	1,34	14,78
Poá	19,19	2,40	26,39	20,33	2,54	27,96	21,31	2,66	29,30
Ribeirão Pires	95,98	12,00	131,97	101,68	12,71	139,81	106,59	13,32	146,56
Rio Grande da Serra	29,48	3,69	40,54	31,23	3,90	42,95	32,74	4,09	45,02
Salesópolis	5,28	0,66	7,26	5,59	0,70	7,69	5,86	0,73	8,06
Santa Isabel	51,83	6,48	71,27	54,92	6,86	75,51	57,57	7,20	79,16
Santana de Parnaíba	98,43	12,30	135,34	104,44	13,05	143,60	109,56	13,70	150,65
Santo André	709,32	88,66	975,31	752,52	94,07	1.034,72	789,41	98,68	1.085,44
São Bernardo do Campo	1.404,80	175,60	1.931,61	1.488,69	186,09	2.046,94	1.560,76	195,10	2.146,05
São Caetano do Sul	755,47	94,43	1.038,77	800,70	100,09	1.100,96	839,52	104,94	1.154,34
São Lourenço da Serra	28,80	3,60	39,59	30,51	3,81	41,95	31,99	4,00	43,98
São Paulo	20.359,40	2.544,92	27.994,17	21.267,17	2.658,40	29.242,36	22.134,40	2.766,80	30.434,80
São Roque	186,26	23,28	256,11	202,08	25,26	277,86	214,42	26,80	294,83
Suzano	367,76	45,97	505,67	390,08	48,76	536,36	409,16	51,15	562,60
Taboão da Serra	397,45	49,68	546,50	421,35	52,67	579,36	441,85	55,23	607,54
Vargem Grande Paulista	33,60	4,20	46,20	35,60	4,45	48,95	37,33	4,67	51,33
<b>TOTAL</b>	<b>30.923,13</b>	<b>3.865,39</b>	<b>42.519,30</b>	<b>32.471,10</b>	<b>4.058,89</b>	<b>44.647,76</b>	<b>33.885,86</b>	<b>4.235,73</b>	<b>46.593,06</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 58: Estimativa da Geração RSS por grupo – ONU-.

Município	Ano 1			Ano 10			Ano 20		
	2025			2034			2044		
	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D
Arujá	103,46	12,93	142,25	104,47	13,06	143,65	102,76	12,84	141,29
Barueri	288,73	36,09	397,00	292,13	36,52	401,69	287,63	35,95	395,49
Biritiba-Mirim	6,64	0,83	9,13	6,71	0,84	9,22	6,60	0,82	9,07
Caieiras	129,08	16,13	177,48	130,33	16,29	179,20	128,18	16,02	176,25
Cajamar	82,12	10,26	112,91	82,98	10,37	114,09	81,64	10,20	112,25
Carapicuíba	204,99	25,62	281,86	206,93	25,87	284,53	203,50	25,44	279,81
Cotia	498,14	62,27	684,95	504,02	63,00	693,03	496,24	62,03	682,33
Diadema	365,32	45,66	502,31	368,63	46,08	506,87	362,45	45,31	498,36
Embu das Artes	194,07	24,26	266,85	195,91	24,49	269,38	192,66	24,08	264,91
Embu-Guaçu	7,12	0,89	9,79	7,19	0,90	9,88	7,07	0,88	9,72
Ferraz de Vasconcelos	140,46	17,56	193,13	141,81	17,73	194,99	139,47	17,43	191,77
Francisco Morato	111,52	13,94	153,33	112,59	14,07	154,81	110,73	13,84	152,26
Franco da Rocha	243,45	30,43	334,74	245,83	30,73	338,01	241,79	30,22	332,45
Guararema	14,71	1,84	20,23	14,85	1,86	20,42	14,61	1,83	20,09
Guarulhos	1.192,53	149,07	1.639,73	1.204,13	150,52	1.655,68	1.184,30	148,04	1.628,41
Itapecerica da Serra	336,90	42,11	463,24	340,09	42,51	467,62	334,45	41,81	459,87
Itapeví	262,95	32,87	361,55	265,66	33,21	365,28	261,36	32,67	359,37
Itaquaquecetuba	164,72	20,59	226,49	166,47	20,81	228,90	163,81	20,48	225,23
Jandira	10,91	1,36	15,01	11,02	1,38	15,15	10,84	1,35	14,90
Juquitiba	74,02	9,25	101,78	74,72	9,34	102,74	73,48	9,19	101,04
Mairiporã	41,76	5,22	57,42	42,17	5,27	57,99	41,48	5,19	57,04
Mauá	379,99	47,50	522,49	383,34	47,92	527,09	376,85	47,11	518,17
Mogi das Cruzes	709,77	88,72	975,94	717,65	89,71	986,77	706,32	88,29	971,19
Nazaré Paulista	9,54	1,19	13,11	9,77	1,22	13,43	9,68	1,21	13,31
Osasco	720,55	90,07	990,75	728,11	91,01	1.001,15	716,40	89,55	985,05
Paraibuna	5,24	0,65	7,20	5,35	0,67	7,35	5,29	0,66	7,27
Pirapora do Bom Jesus	9,57	1,20	13,16	9,66	1,21	13,29	9,50	1,19	13,07
Poá	18,98	2,37	26,10	19,15	2,39	26,34	18,84	2,35	25,90
Ribeirão Pires	94,90	11,86	130,49	95,79	11,97	131,72	94,20	11,78	129,53
Rio Grande da Serra	29,15	3,64	40,08	29,42	3,68	40,46	28,94	3,62	39,79
Salesópolis	5,22	0,65	7,18	5,27	0,66	7,25	5,18	0,65	7,13
Santa Isabel	51,25	6,41	70,47	51,74	6,47	71,14	50,88	6,36	69,96
Santana de Parnaíba	97,32	12,17	133,82	98,39	12,30	135,29	96,83	12,10	133,14

Município	Ano 1			Ano 10			Ano 20		
	2025			2034			2044		
	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D	Grupo A+E	Grupo B+E	Grupo D
Santo André	701,33	87,67	964,33	708,95	88,62	974,81	697,68	87,21	959,30
São Bernardo do Campo	1.388,99	173,62	1.909,86	1.402,48	175,31	1.928,42	1.379,39	172,42	1.896,65
São Caetano do Sul	746,97	93,37	1.027,08	754,33	94,29	1.037,21	741,96	92,74	1.020,19
São Lourenço da Serra	28,47	3,56	39,15	28,74	3,59	39,52	28,27	3,53	38,87
São Paulo	20.130,18	2.516,27	27.679,00	20.035,72	2.504,46	27.549,11	19.562,17	2.445,27	26.897,98
São Roque	184,17	23,02	253,23	190,38	23,80	261,78	189,50	23,69	260,56
Suzano	363,62	45,45	499,97	367,49	45,94	505,30	361,61	45,20	497,22
Taboão da Serra	392,98	49,12	540,34	396,96	49,62	545,81	390,50	48,81	536,94
Vargem Grande Paulista	33,22	4,15	45,68	33,54	4,19	46,12	32,99	4,12	45,36
<b>TOTAL</b>	<b>30.574,98</b>	<b>3.821,87</b>	<b>42.040,60</b>	<b>30.590,89</b>	<b>3.823,86</b>	<b>42.062,48</b>	<b>29.947,99</b>	<b>3.743,50</b>	<b>41.178,49</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 4. ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORÁVEIS PARA A DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE ADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A definição de áreas para a instalação de unidades de destinação de resíduos sólidos deve levar em consideração fatores legais, sociais, econômicos, logísticos, de infraestrutura, dentre outros, considerando a realidade socioambiental da área de estudo e as tecnologias pretendidas para instalação. Entretanto, como forma de macroplanejamento, é possível indicar áreas favoráveis, ou seja, áreas com potencial para a implantação destes empreendimentos em âmbito regional a partir de critérios que indiquem as áreas restritivas e permissivas.

Desta forma, para a identificação das áreas potencialmente favoráveis à implantação de unidades de triagem, transbordo, tratamento e disposição final de resíduos sólidos foram identificadas e mapeadas as restrições legais e ambientais existentes no território do estudo, assim como as áreas com permissão para instalação destes empreendimentos no macrozoneamento da Região Metropolitana de São Paulo e nos zoneamentos municipais. Também foram diagnosticadas as potencialidades em termos logísticos quanto aos polos geradores de resíduos e possíveis centros consumidores dos produtos gerados nas unidades de tratamento.

Sendo assim, após o mapeamento das áreas com restrições e das áreas permitidas para instalação de unidades de destinação de resíduos, foram selecionados os municípios com maior concentração de áreas favoráveis para esta atividade.

#### 4.1. Áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários

A identificação das áreas favoráveis para implantação de aterros sanitários foi feita a partir da exclusão das áreas com impedimentos legais para instalação destes empreendimentos, como as áreas urbanas, áreas de proteção dos mananciais, unidades de conservação, terras indígenas, entre outros; e das infraestruturas instaladas que demandam distanciamento mínimo, como aeródromos, rodovias e sítios arqueológicos. Também foram excluídas das áreas potenciais, aquelas concedidas à exploração mineral, ou seja, as áreas onde existem concessões de lavra formalizadas. A Tabela 59 apresenta a fundamentação legal que delimita as áreas com restrição de uso.

Tabela 59: Fundamentação legal das áreas com restrição para instalação de aterros sanitários.

Informação	Referência	Restrição de uso
Áreas urbanas	NBR nº 13.896/1997	Uso restrito
Áreas de Proteção aos Mananciais (APM) e Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRM)	Leis Estaduais nº 1.172/1976 e nº 9.866/1997 e Leis Específicas das APRMs: Lei nº 12.233/2006 (Guarapiranga) Lei nº 13.579/2009 (Billings) Lei nº 15.790/2015 (Alto Juquery) Lei nº 15.913/2015 (Tietê Cabeceiras) Lei nº 16.568/2017 (Alto Cotia)	Uso restrito
Unidades de Conservação	Lei Federal nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza	Uso restrito
Terras indígenas	Constituição da República Federativa Do Brasil/88 e Decreto Federal nº 10.088/2019	Uso restrito
Florestas públicas	Lei Federal nº 11.284/06, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas	Uso restrito
Remanescentes florestais	NBR nº 13.896/1997	Uso restrito
Sítios arqueológicos	Visando contemplar a Portaria Interministerial número 60, de 24 de março de 2015	Raio de 1 km
Aeródromos	Lei Federal nº 12.725/12 e seguindo as restrições da Portaria nº 798/GC3 de 2020	Raio de 10 km
Rodovias e acessos	Lei Federal nº 6.766/1979	Entorno de 15 m

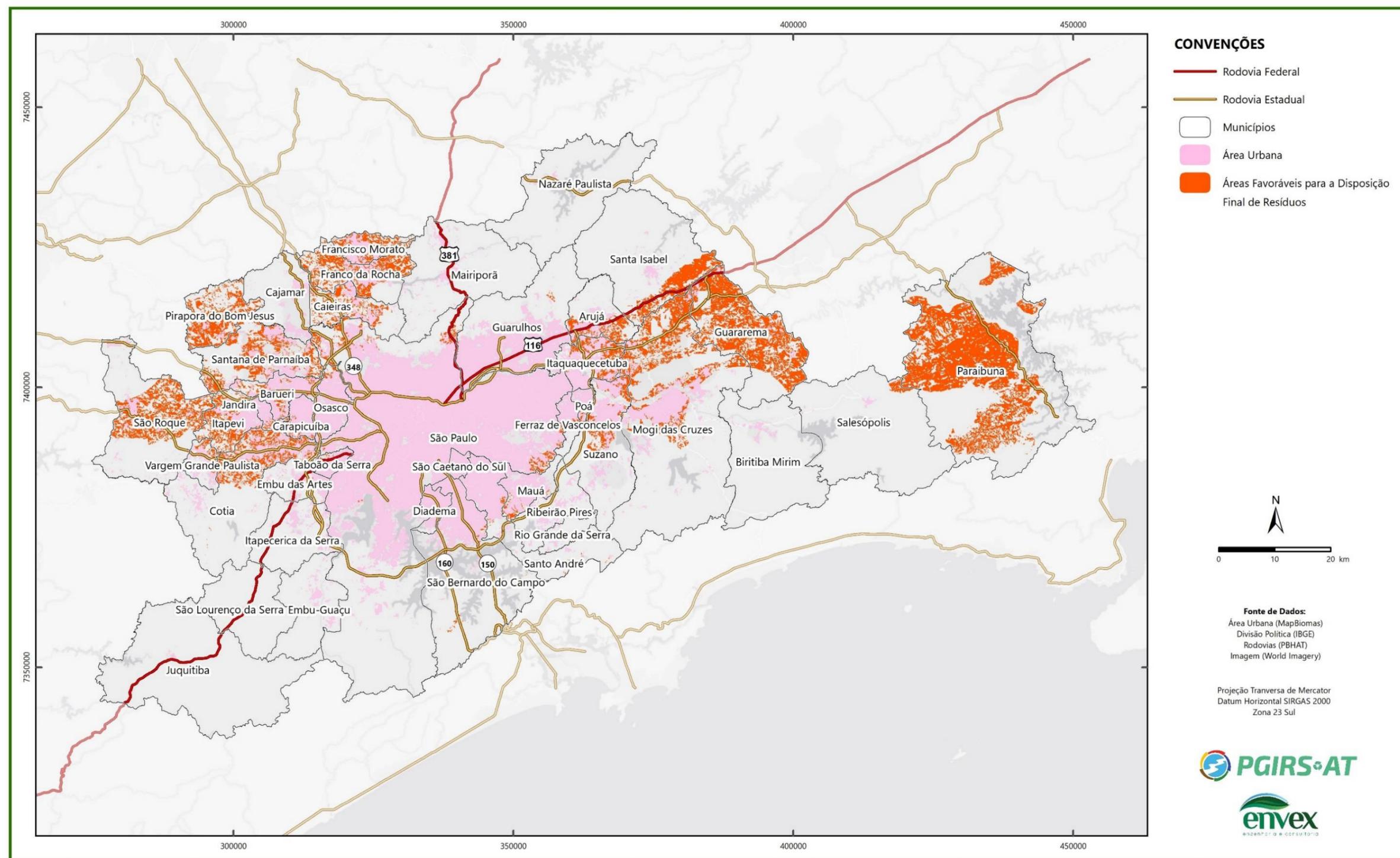
Informação	Referência	Restrição de uso
Concessões de lavra	Lei Federal nº277/1967 – Código de Mineração	Reservadas para outros usos

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As restrições para a destinação final em áreas urbanas e em remanescentes florestais seguiu o exposto na NBR nº 13.898/1997, que estabelece critérios para projeto, implantação e operação de aterros classe II e define a inadequabilidade dessas áreas levando em consideração suscetibilidade a erosão, formação de poeira e transporte de odores. Outros critérios também são definidos pela norma, entretanto, não foram considerados no estudo devido ao tamanho da área abrangida, sendo que devem ser aplicados no momento de locação do empreendimento.

Quanto as áreas de mananciais, foram excluídos todos os territórios identificados nas leis de proteção e recuperação dos mananciais, uma vez que nestas áreas existem restrições tanto para instalação de empreendimentos quanto para recebimento de resíduos de regiões externas às áreas de mananciais.

Considerando que um dos objetivos deste estudo é a regionalização da destinação de resíduos, foram delimitadas as áreas favoráveis a partir da exclusão de todas as áreas que continham pelo menos uma das restrições apresentadas na Tabela 59 - resultando em um total de 953,6 km<sup>2</sup> de áreas favoráveis distribuídas em 32 municípios, conforme ilustrado na Figura 34.



**Figura 34: Áreas favoráveis para a disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos.**

Fonte SIGMINE (2023).



## 4.2. Áreas favoráveis à instalação de plantas de triagem e tratamento

Além da identificação de áreas favoráveis para a instalação de aterros sanitários, o trabalho avaliou também as áreas onde podem ser instaladas usinas de triagem de grande porte e tratamento de resíduos, considerando os zoneamentos estaduais e municipais que definem áreas onde há permissão para a instalação desses empreendimentos, que podem ser enquadrados na classe de atividades industriais.

A Lei Estadual nº 1.817/1978 que estabelece os objetivos e as diretrizes para o desenvolvimento industrial metropolitano e disciplina o zoneamento industrial, a localização, a classificação e o licenciamento de estabelecimentos industriais na Região Metropolitana da Grande São Paulo, enquadra os estabelecimentos industriais em quatro categorias: IN, IA, IB, IC e ID.

A categoria IA, engloba as plantas de incineração e de compostagem de resíduos sólidos, sendo que a instalação desta categoria de uso somente é permitida nas zonas denominadas ZEI (Zona de Uso Estritamente Industrial) e ZUPI-1 (Zona de Uso Predominantemente Industrial). Ainda, conforme estabelecido pela CETESB, outras plantas de tratamento de resíduos devem ser enquadradas como similares à atividade de incineração de resíduos, portanto, permitidas apenas em ZEI e ZUPI 1.

A legislação estabelece apenas as delimitações da ZUPI-1, apresentadas na Figura 35, sendo que as ZEI devem ser estabelecidas e definidas a partir do zoneamento e legislação municipal.

Nesse sentido, os municípios da região de estudo estabelecem em zoneamento próprio as zonas exclusivamente ou preferencialmente industriais, adotando nomenclaturas diferentes, mas seguindo as diretrizes e objetivos norteadores estabelecidos pela lei estadual. A Tabela 60 apresenta as leis municipais que estabeleceram os zoneamentos e as respectivas zonas industriais ou com permissão

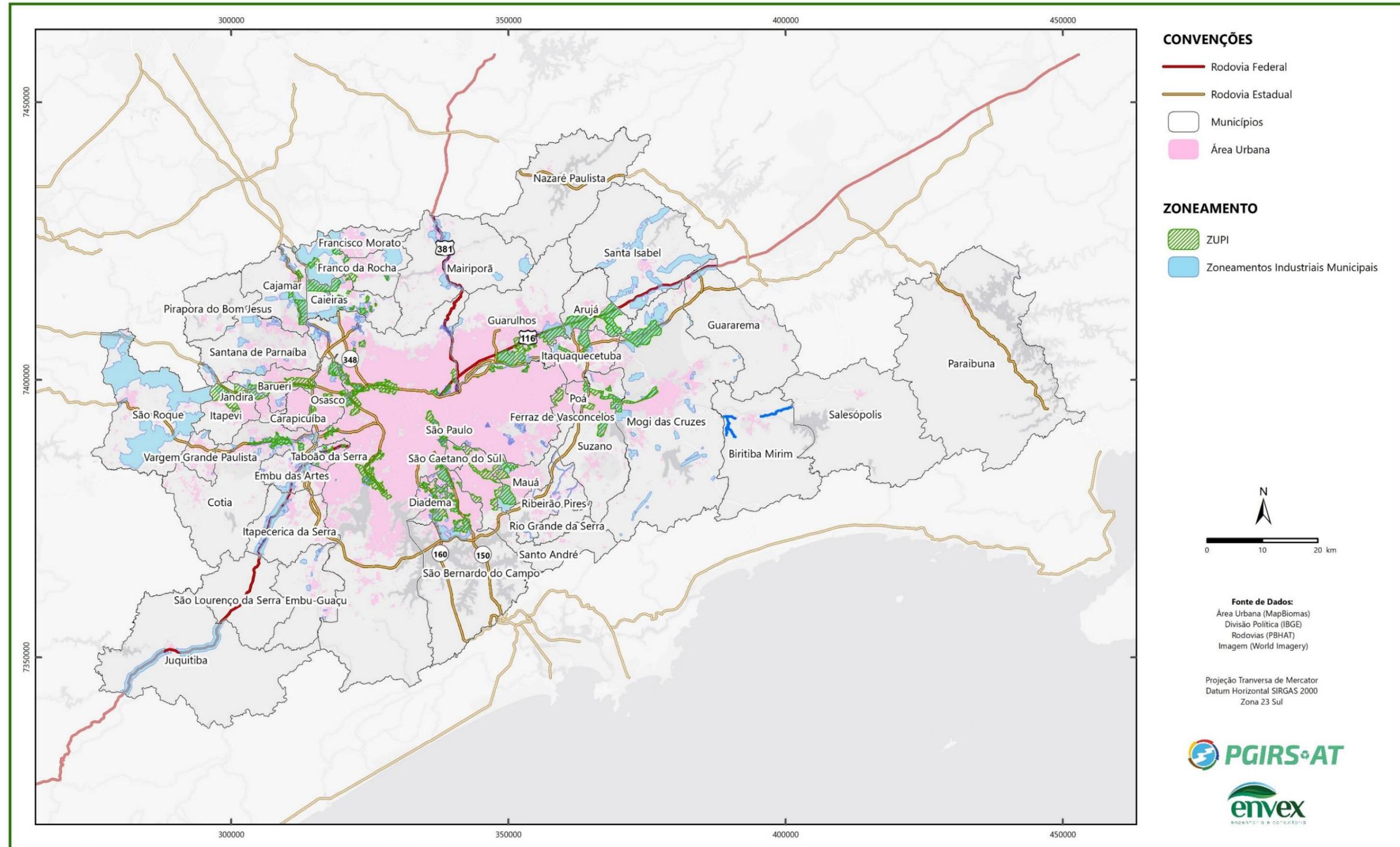
de instalação de indústrias em todos os municípios contemplados pelo PGIRS-AT, e a distribuição espacial dessas zonas está apresentada na Figura 35.

Vale ressaltar que não foram encontrados em meio digital o zoneamento municipal de Nazaré Paulista, Paraibuna e Rio Grande da Serra, bem como mapas ou arquivos georreferenciados de Ferraz de Vasconcelos, Pirapora do Bom Jesus, Salesópolis e São Lourenço da Serra.

Tabela 60: Fundamentação legal dos zoneamentos municipais.

Município	Fundamentação Legal	Zona
Arujá	Lei nº 1.472/2000	ZUPI-1
Barueri	Lei nº 565/2023	ZPEI-4 e ZUQ-3
Biritiba-Mirim	Lei Complementar nº 233/2023	SEC
Caieiras	Lei nº 5.392/2020	ZUPI-1, ZICS e ZUD
Cajamar	Lei Complementar nº 181/2019	ZUPI-1 e ZUPI-2
Carapicuíba	Lei nº 2.107/1999	ZUPI
Cotia	Lei Complementar nº 334/2022	ZICS
Diadema	Lei Complementar nº 473/2019	Macroarea Industrial
Embu das Artes	Lei Complementar nº 186/2012	ZE
Embu-Guaçu	Lei Complementar nº 156/2019	ZUD
Ferraz de Vasconcelos	Lei Complementar nº 175/2006	Zona de Uso de Predominância Industrial
Francisco Morato	Lei Complementar nº 382/2022	ZI
Franco da Rocha	Lei nº 618/2007	ZI
Guararema	Lei Complementar nº 3.116/2015	ZUPI
Guarulhos	Lei nº 7.888/2021	ZI
Itapecerica da Serra	Lei Complementar nº 26/2012	ZOFU do Eixo Metropolitano
Itapevi	Lei Complementar nº 145/2021	ZPI
Itaquaquecetuba	Lei Complementar nº 156/2008	ZUPI-1, ZUPI-2 e ZUDI
Jandira	Lei nº 2.260/2019	ZE1, ZE2 e ZE3
Juquitiba	Lei nº 1.507/2007	Zona Exclusivamente Industrial, Comercial e Serviços
Mairiporã	Lei Complementar nº 438/2021	ZUD, ZUD-2, ZUDEM e ZUDEM-2
Mauá	Lei nº 4.968/2014	ZDE-1
Mogi das Cruzes	Lei Complementar nº 150/2019	ZEDE-1 e ZEDE-3
Nazaré Paulista	-	-
Osasco	Lei Complementar nº 431/2024	MDE
Paraibuna	-	-
Pirapora do Bom Jesus	Lei Complementar nº 71/2006	ZUI
Poá	Lei nº 3.201/2006	ZEII
Ribeirão Pires	Lei nº 5.907/2014	SEC
Rio Grande da Serra	-	-
Salesópolis	Lei Complementar nº 009/2018	SEC
Santa Isabel	Lei Complementar nº 184/2016	ZUPI e ZECDE
Santana de Parnaíba	Lei nº 2.462/2003	ZUPI e ZEM
Santo André	Lei nº 8.696/2004	ZEI
São Bernardo do Campo	Lei nº 6.222/2012	ZER 1 e 2
São Caetano do Sul	Lei nº 4.944/2010	MZ-PI
São Lourenço da Serra	Lei Municipal nº 419/2008	Zona Exclusivamente Industrial, Comercial e Serviços
São Paulo	Lei nº 16.402/2016	ZPI 1 e 2
São Roque	Lei Complementar nº 40/2006	ZUI
Suzano	Lei Complementar nº 25/1996	ZUPI 1 e 2
Taboão da Serra	Lei Complementar nº 132/2006	ZI
Vargem Grande Paulista	Lei Complementar nº 30/2007	ZM-1

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).



**Figura 35: Zoneamento industrial estadual e zoneamentos industriais municipais.**

Fonte SIGMINE (2023).

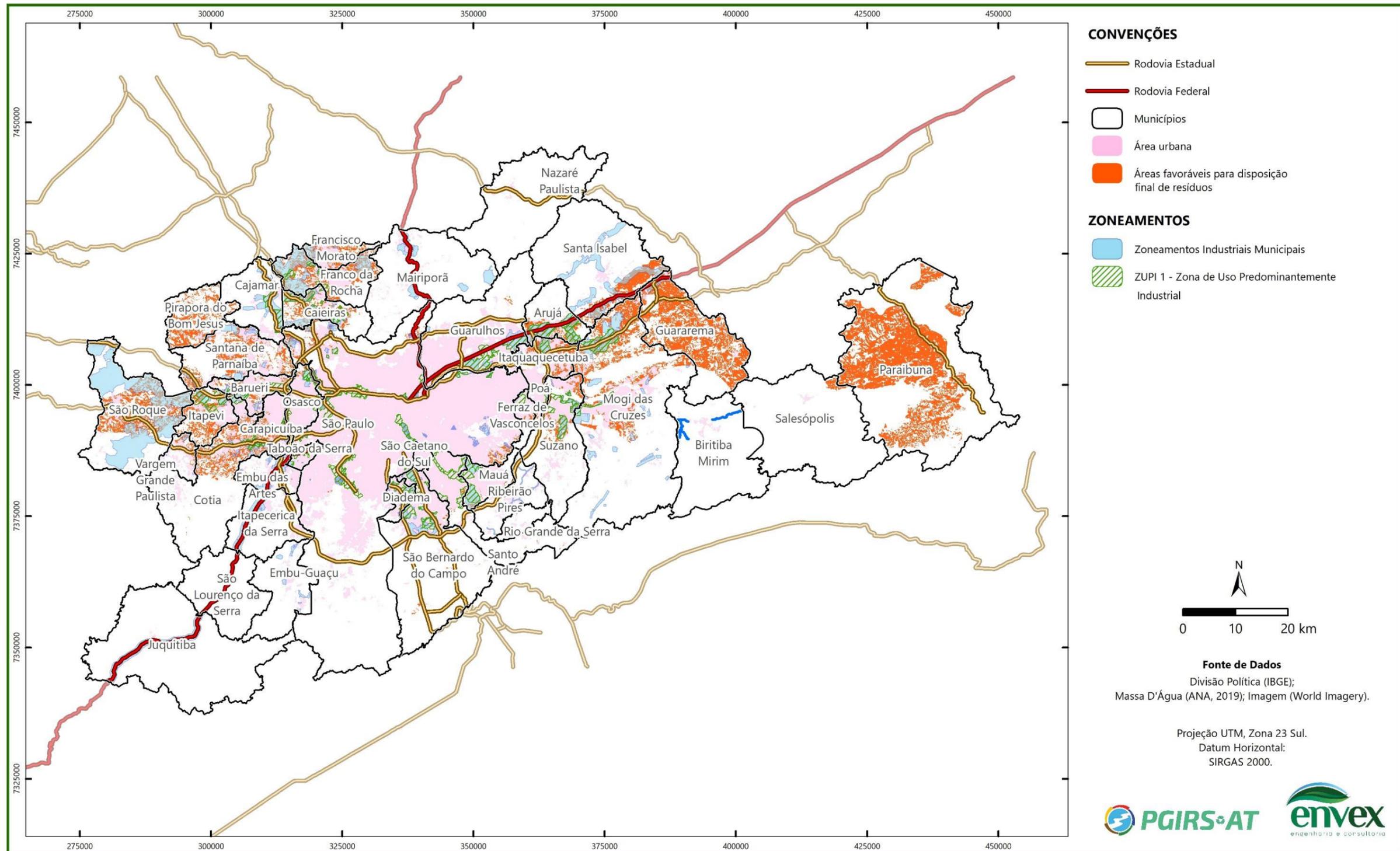
### 4.3. Municípios Potenciais

Nesta etapa, foram identificados os municípios com maior potencial para receber plantas regionais de destinação de resíduos, ou seja, municípios com maior viabilidade técnica (áreas favoráveis para unidades de tratamento e para aterros) e logística (facilidade de acesso) para atendimento de conjuntos de municípios próximos.

A seleção de municípios com o maior potencial para a formação de arranjos intermunicipais, levou em consideração os seguintes critérios:

- **Áreas favoráveis para instalação de aterros:** a existência de áreas favoráveis é um fator que torna o município potencial para a formação de arranjos;
- **Zoneamento industrial estadual e municipal:** a existência de zonas preferencialmente industriais, tanto de acordo com a legislação municipal, quanto à legislação estadual, favorece a instalação de usinas de tratamento de resíduos. Para esse item levou-se em consideração os municípios que apresentaram sobreposição dos dois zoneamentos, indicando áreas com maior potencial;
- **Logística de transporte:** a existência de rodovias estaduais e federais próximas às áreas favoráveis, indicando a facilidade de acesso aos caminhões de transporte de resíduos.

Além disso, a proximidade com os municípios que mais geram resíduos, a facilidade de acesso entre os municípios e a localização em relação à região como um todo, foram condições avaliadas para a indicação de municípios potenciais. O mapa da Figura 36 apresenta o conjunto de informações utilizadas para definição dos municípios potenciais.



**Figura 36: Áreas favoráveis para unidades de destinação de resíduos.**

Fonte: SIGMINE (2023)..

Ao todo, na área de estudo do PGIRS-AT, foram indicados 15 municípios potenciais, são eles: **Arujá, Barueri, Caieiras, Cotia, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapevi, Jandira, Mauá, Mogi das Cruzes, Santana de Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Paulo e Suzano.**

Para a região Nordeste da área de estudo, os municípios potenciais identificados foram Arujá e Guarulhos. O Município de Guarulhos é o segundo maior gerador de resíduos da região de estudo, conta com áreas favoráveis à implantação de unidades de tratamento de resíduos e é cortado por uma rodovia federal e rodovias estaduais que fazem ligação com outros municípios da região; o município de Arujá está próximo aos principais geradores da região e apresenta áreas favoráveis tanto para aterros como para unidades de tratamento.

Na região Leste os municípios de Mogi das Cruzes e Suzano. A porção norte de Mogi das Cruzes encontra-se fora da área de manancial e apresenta condições tanto para recebimento de unidades de tratamento de resíduos como para unidade de disposição final (aterros sanitários); o mesmo ocorre para o município de Suzano.

Na região Norte os municípios de Caieiras e Franco da Rocha são os mais favoráveis para a formação de arranjos, estando próximos da capital e também dos municípios do extremo noroeste.

Na região oeste foram selecionados quatro municípios potenciais, sendo eles Barueri, Cotia, Itapevi e Jandira. Esses municípios se mostram fundamentais para o atendimento dos municípios localizados na porção sudoeste da área de estudo que, por estarem inseridos em áreas de proteção de mananciais e englobarem diversas unidades de conservação, quase não possuem áreas apropriadas para a instalação de aterros e usinas de tratamento de resíduos.

A região Sul, do ABC Paulista, também possui adversidades quando se trata da favorabilidade para a destinação de resíduos, englobando diversas unidades de

conservação e também a APRM Billings, além de ser uma das áreas mais densamente urbanizadas da área de estudo. Entretanto, o município de Mauá apresenta potencial para a formação de arranjos com os demais municípios do ABC, juntamente com a porção norte dos municípios de São Bernardo do Campo e Santo André, que apesar de possuírem poucas áreas favoráveis, são uma alternativa de destinação para o grande volume de resíduos gerados na região.

Algumas regiões do município de São Paulo podem ser também uma alternativa, como a região leste, na divisa com os municípios de Mauá e Ferraz de Vasconcelos, ou na porção norte, limite com o município de Caieiras. Além das áreas industriais ao longo das rodovias.

A partir da definição dos municípios com potencial para instalação de unidades de destinação de resíduos, foram avaliados os potenciais mercados consumidores de subprodutos de unidades de triagem e de tratamento de resíduos.

Com relação aos materiais recicláveis e à energia elétrica ou biogás a serem gerados nas plantas, existe um grande mercado consumidor em toda a região, viabilizando o aproveitamento de todo tipo de material reciclável e de energia. Entre as tecnologias de tratamento de resíduos, destaca-se a geração de combustível derivado de resíduos (CDR), que é utilizado como combustível em fornos de cimenteiras.

Para avaliar a viabilidade de produção de CDR na região do estudo, foram identificadas as cimenteiras mais próximas com possibilidade de receber o CDR produzido - uma vez que, recomenda-se que, o transporte de CDR não ultrapasse 150 km de distância entre o centro gerador e a unidade consumidora. As cimenteiras mais próximas estão localizadas nos municípios de Jacareí, Salto de Pirapora, Cubatão, Votorantim, Mogi das Cruzes e Sorocaba.

A Tabela 61 a seguir apresenta as distâncias entre os municípios selecionados e os municípios com cimenteiras. A partir dos dados apresentados, é possível afirmar que há cimenteiras próximas em cada um dos municípios com potencial para receber o CDR produzido. Além disso, destaca-se que Mogi das Cruzes possui uma cimenteira e é um município favorável ao recebimento de plantas de tratamento de resíduos.

Tabela 61: Distância entre municípios potenciais e municípios com cimenteiras.

Municípios Potenciais	Jacareí	Salto de Pirapora	Cubatão	Votorantim	Mogi das Cruzes	Sorocaba
Arujá	48	159	93	139	26	138
Barueri	109	95	102	75	87	74
Caieiras	112	128	122	109	91	107
Cotia	124	100	100	67	138	71
Franco da Rocha	127	134	128	115	93	113
Guarulhos	73	137	73	118	48	117
Itapevi	120	93	105	74	96	72
Jandira	114	92	95	72	92	71
Mauá	97	183	53	163	32	135
Mogi das Cruzes	54	178	80	159	0	158
Santana de Parnaíba	117	90	100	71	98	69
Santo André	100	140	42	122	58	120
São Bernardo do Campo	107	140	40	151	62	151
São Paulo	88	124	58	105	64	104
Suzano	57	168	71	150	12	148

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Importante destacar que estas definições de municípios potenciais serão utilizadas na proposição dos arranjos intermunicipais, considerando os melhores agrupamentos de municípios em torno dos municípios favoráveis.

## 5. PROPOSIÇÃO DE ARRANJOS INTERMUNICIPAIS

Esta etapa do Plano tem por objetivo atender o que preconizam a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, ou seja, o agrupamento de municípios para a prestação regionalizada de serviços de manejo de resíduos sólidos, tendo em vista o ganho de escala para a melhoria dos serviços prestados, o avanço tecnológico e a redução dos custos associados. Desta forma, foram estudadas três propostas de arranjos para os 42 municípios do PGIRS-AT, com diferentes portes populacionais, atendendo a premissas que subsidiaram o estudo, conforme elencadas a seguir.

É importante ressaltar que os arranjos intermunicipais aqui apresentados servem como orientação para os municípios visando a regionalização da gestão de resíduos sólidos. Esses arranjos não têm caráter impositivo e podem ser ajustados conforme necessário, permitindo adaptações nos recortes apresentados.

### 5.1. Premissas

Os pressupostos que fundamentaram a proposição dos arranjos consideraram diversos aspectos, incluindo a distribuição dos municípios potenciais para receber plantas regionais de destinação de resíduos e os arranjos intermunicipais pré-existentes (consórcios), conforme apresentado na Figura 37. Além disso, foram avaliadas as distâncias máximas a serem percorridas para a destinação dos resíduos e a proximidade com centros consumidores de subprodutos.

Dessa forma, as premissas adotadas foram:

- Arranjos pré-existentes: Consórcios intermunicipais, compartilhamento de aterros;
- Localização dos municípios com viabilidade para instalação de plantas de destinação de resíduos;
- Principais polos geradores de resíduos (municípios mais populosos);

- Localização de consumidores de subprodutos dos tratamentos;
- Distância máxima de **100 km** para o transporte de resíduos;
- Necessidade de utilização de estação de transbordo quando a distância, entre centro gerador e unidade de destinação seja superior a **30 km**. Exceto para o caso em que a população do município seja inferior à 20 mil habitantes e a distância de transporte seja inferior à 50 km, caso em que o transporte poderá ser realizado diretamente com o caminhão coletor 1 vez ao dia, não sendo necessário realizar mais de uma viagem por dia.

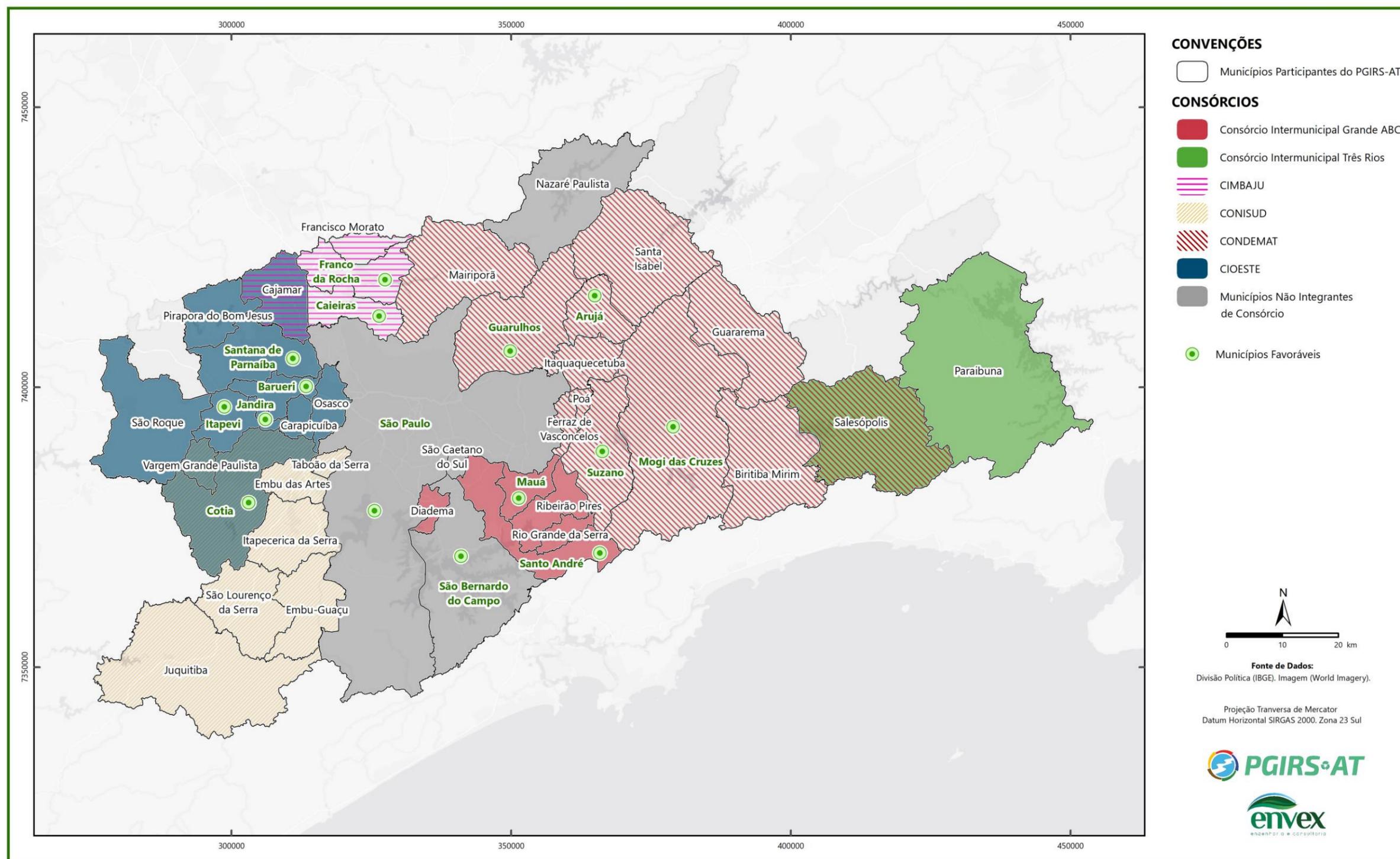


Figura 37: Municípios potenciais para receber plantas regionais de destinação de resíduos.

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Outra premissa importante refere-se aos **municípios com concessão dos serviços de manejo de resíduos sólidos**. Estes não foram considerados dentro dos arranjos intermunicipais por já possuírem contratos de longo prazo com empresas privadas, as concessionárias, envolvendo os serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos; muitos destes contratos também envolvem serviços de limpeza urbana, coleta e destinação de resíduos de construção civil e resíduos de serviços de saúde. Neste caso, para cada um dos municípios com concessão, foram modeladas soluções individuais de destinação de resíduos.

Cabe destacar que o pagamento realizado pelos municípios às concessionárias responsáveis pelos serviços de manejo de resíduos sólidos geralmente cobre a implantação e aquisição de toda a infraestrutura necessária (além da operação dos serviços). Dessa forma, para que os municípios com contratos de concessão integrem um arranjo intermunicipal, seria necessário interromper o contrato vigente - gerando assim, custos adicionais ao erário público.

A Tabela 62 a seguir apresenta a relação de municípios com contratos de concessão, o prazo de duração e os serviços concedidos.

Tabela 62: Relação de municípios com contrato de concessão e serviços concedidos.

Município	Ano do Contrato	Prazo (Anos)	Ano de Encerramento	Objeto	Detalhamento
BARUERI	2012	30	2042*	Tratamento e Destinação de RSU	Tratamento de todo RSU e disposição final dos rejeitos do tratamento
DIADEMA	2020	40	2060	Tratamento e destinação final de resíduos e arrecadação da taxa do lixo	CDR e Gaseificação. Contrato permite subcontratação da destinação final
EMBU DAS ARTES	2010	30	2040	Limpeza Urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos	Coleta e transporte de RSU Coleta, transporte, tratamento e disposição final de RSS Coleta e transporte de recicláveis Varrição Limpeza e lavagem de feiras livres Recuperação e encerramento do atual aterro sanitário Implantação, operação e manutenção da CTR: Novo Aterro, Unidade de triagem e Reciclagem de RCC, Tratamento de RDO, Tratamento de RSS, Triagem de Recicláveis
ITAPECERICA DA SERRA	2023	20	2043	Limpeza Urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos	Varrição Manual Poda e capina de praças, parques e jardins Coleta de RDO Coleta de Volumosos Coleta de Recicláveis Coleta de RCC Coleta de RSS (unidades públicas de saúde) Coleta de Especiais (pneus, pilhas, lâmpadas, baterias, entre outros) Implantação e operação de Ecopontos Implantação de central de triagem de resíduos Implantação e Operação de Unidade de Valorização de RSU: produção de CDR Remoção de Chorume Unidade de Beneficiamento de RCC (ATT e unidade de valorização de RCC) Unidade de Tratamento de RSS Construção e operação de Unidade de Compostagem Monitoramento do Antigo Aterro Unidade de Transbordo Terceirização da Destinação Final
ITAPEVI	2021	25	2046	Limpeza Urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos	Coleta, transporte e destinação de RSU Coleta Seletiva Reestruturação, implantação, operação e manutenção de Ecopontos Coleta, transporte e destinação de RCC Coleta e transporte de Volumosos Coleta e transporte de resíduos dos ecopontos

Município	Ano do Contrato	Prazo (Anos)	Ano de Encerramento	Objeto	Detalhamento
					Implantação, manutenção e operação de central de gerenciamento de resíduos (CGR): Transbordo; beneficiamento de RCC; Unidade de triagem de RSU da coleta mista: recuperação de recicláveis e produção de CDR; unidade de compostagem aeróbia de resíduos verdes e de feiras; instalações administrativas e operacionais Implantação e operação de sistema de monitoramento e fiscalização de RCC Manutenção e monitoramento do antigo lixão Varrição manual e mecanizada Limpeza da área central Limpeza e lavagem de feiras livres Capina e roçada
ITAQUAQUECETUBA	2020	30	2050	Limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos	Coleta de RSU Coleta seletiva Implantação e manutenção de Central de Triagem operada por cooperativas Implantação e manutenção de ATT de RCC Implantação, Manutenção e operação de Usina de RCC Implantação, operação e manutenção de Usina de TMB Destinação e disposição final dos rejeitos da central de triagem, da usina de TMB, das ATT e da limpeza urbana Implantação de sistema de monitoramento Limpeza de feiras e eventos especiais Implantação de Ecopontos Coleta e transporte de volumosos Lavagem de vias e logradouros Limpeza de bocas de lobo Varrição manual e mecanizada Capina e roçada
OSASCO	2008	30	2038	Coleta e manejo de resíduos sólidos	Coleta e Transporte de RSU (domiciliares, varrição e feiras) Coleta seletiva Coleta, transporte, tratamento e disposição final de RSS Implantação, operação, manutenção e monitoramento do Aterro Sanitário Implantação e operação de usina de compostagem na área do aterro Implantação e operação de unidade de tratamento de RSS na área do aterro Implantação, operação e manutenção de estação de tratamento de efluentes líquidos e gasosos no aterro Manutenção, monitoramento e encerramento do Aterro 1 (antigo)
SUZANO	2022	30	2052	Limpeza Urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos	Varrição Capina e roçada

Município	Ano do Contrato	Prazo (Anos)	Ano de Encerramento	Objeto	Detalhamento
					Limpeza de dispositivos de drenagem Implantação, manutenção e operação de Ecopontos Limpeza de resíduos cemiteriais Coleta e destinação final de inertes Coleta domiciliar Coleta seletiva Limpeza e lavagem de feiras livres Transporte e destinação de resíduos Coleta, transporte e tratamento de RSS de unidades públicas de saúde Construção de unidade de triagem a ser operada por cooperativa Construção de Unidade de transbordo Construção de unidade de compostagem para resíduos de feiras e verdes Implantação de unidade de tratamento de RSU com geração de energia elétrica (redução de 85%) Fornecimento de caçambas metálicas e destinação adequada de até 100 toneladas de RCC

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

\*O prazo de concessão estabelecido no contrato da URE Barueri é de 30 anos a partir da emissão da Licença de Instalação (LI) da URE. A LI foi emitida em 2015 com validade de 3 anos, foi prorrogada duas vezes com prazo final em dezembro de 2021, porém a obra ainda não está concluída.

Cabe destacar ainda que o município de São Paulo possui um contrato de concessão para os serviços de manejo de resíduos sólidos, que abrange a coleta e a destinação de resíduos sólidos urbanos e de serviços de saúde, com prazo de encerramento previsto para o ano de 2024.

Porém, sabe-se que já está em estágio avançado, a negociação para a renovação desta concessão. Segundo matéria do site *Veja Negócios*, de 29 de maio de 2024, o Tribunal de Contas do Município de São Paulo (TCM) aprovou, por unanimidade, o projeto que renova os contratos de coleta de lixo na capital, por mais 20 anos. Os integrantes da Corte de Contas seguiram o entendimento da prefeitura, amparado num estudo da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, de que é mais vantajoso renovar a concessão do que realizar um novo processo licitatório para o serviço (BONIN, R. 2024).

Além disso, durante as reuniões realizadas na elaboração do PGIRS-AT, o poder executivo municipal expressou a solicitação de não ser incluído no planejamento das ações regionalizadas para a destinação final de resíduos sólidos urbanos, tendo em vista o porte do município e as ações já em andamento. No entanto, manifestou interesse em participar de outras ações que possam ser propostas ao longo do planejamento integrado da BHAT, especialmente aquelas relacionadas a outras tipologias de resíduos, como por exemplo RCC ou outras tipologias que impactem a qualidade dos recursos hídricos do município de São Paulo.

O município de Cotia, apesar de possuir um contrato de concessão para os serviços de manejo de resíduos sólidos, foi integrado aos arranjos devido à previsão de término do contrato em 2030. Após o encerramento do contrato, o município poderá participar das ações regionalizadas..

No caso do município de Itapeverica da Serra, este foi contemplado em um dos arranjos, conforme solicitação do Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo (CONISUD) que atualmente conduz a modelagem para destinação

conjunta de resíduos para quatro municípios consorciados, incluindo Itapeverica da Serra.

A partir destas premissas e particularidades, foram desenvolvidos três formatos de arranjos intermunicipais, os quais foram intitulados da seguinte maneira:

- **Arranjo por Consórcios Existentes;**
- **Micro Arranjos;**
- **Arranjo por Regiões Geográficas.**

Além disso, também foram avaliados os municípios vizinhos à região de estudo com melhores possibilidades de integrarem estes arranjos, o qual foi intitulado:

- **Arranjo com Municípios Vizinhos.**

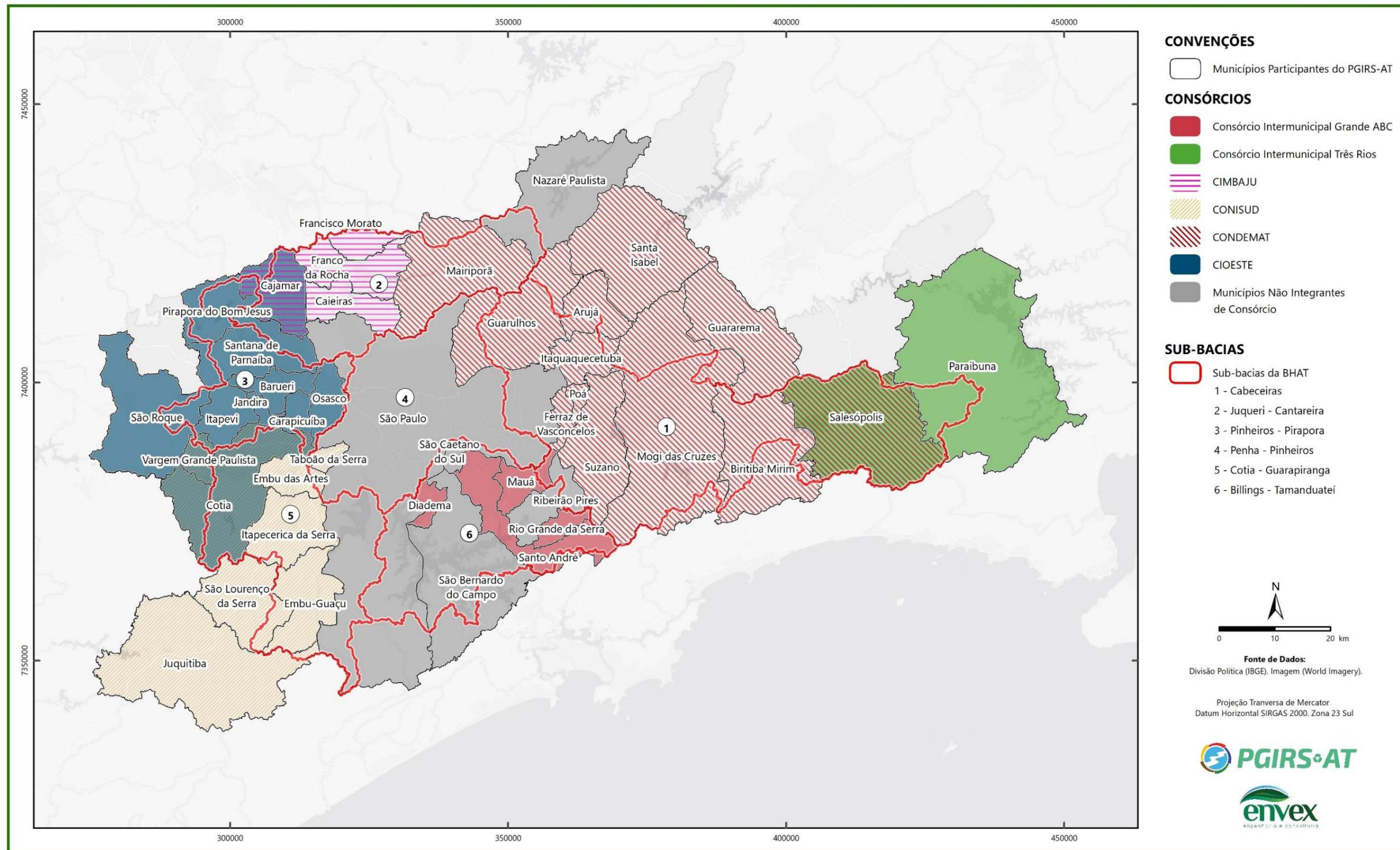
A seguir, são apresentadas as descrições de cada um dos arranjos aqui propostos.

## 5.2. Arranjo por Consórcios Existentes

Este arranjo aproveita a configuração dos consórcios públicos intermunicipais já existentes na região (CIMBAJU, CIOESTE, CONISUD, CONDEMAT e GRANDE ABC), porém, com algumas alterações, uma vez que, nem todos os municípios da região de estudo integram estes consórcios atualmente. Desta forma, os municípios que não participam de consórcios, foram integrados ao consórcio vizinho ao município.

A formação dos consórcios existentes foi baseada no território das microbacias da região, porém os limites desses consórcios não coincidem exatamente com os limites das microbacias - uma vez que os limites municipais extrapolam os limites das microbacias, alguns consórcios incluem municípios fora da BHAT e outros municípios migraram de consórcio, como no caso do Município de Mairiporã que migrou do CIMBAJU para o CONDEMAT. Porém, conforme apresentado na Figura 38, o território dos consórcios ainda guarda semelhança com o das sub-bacias, onde o CONDEMAT cobre o território da microbacia Cabeceiras, o CIMBAJU inclui municípios da microbacia Juqueri-Cantareira, o CIOESTE corresponde à sub-bacia Pinheiros-Pirapora, o

CONISUD abrange os municípios da Cotia-Guarapiranga e o GRANDE ABC corresponde à microbacia Billings-Tamanduateí. A microbacia Penha-Pinheiros está integralmente inserida no município de São Paulo, que não integra nenhum Consórcio.

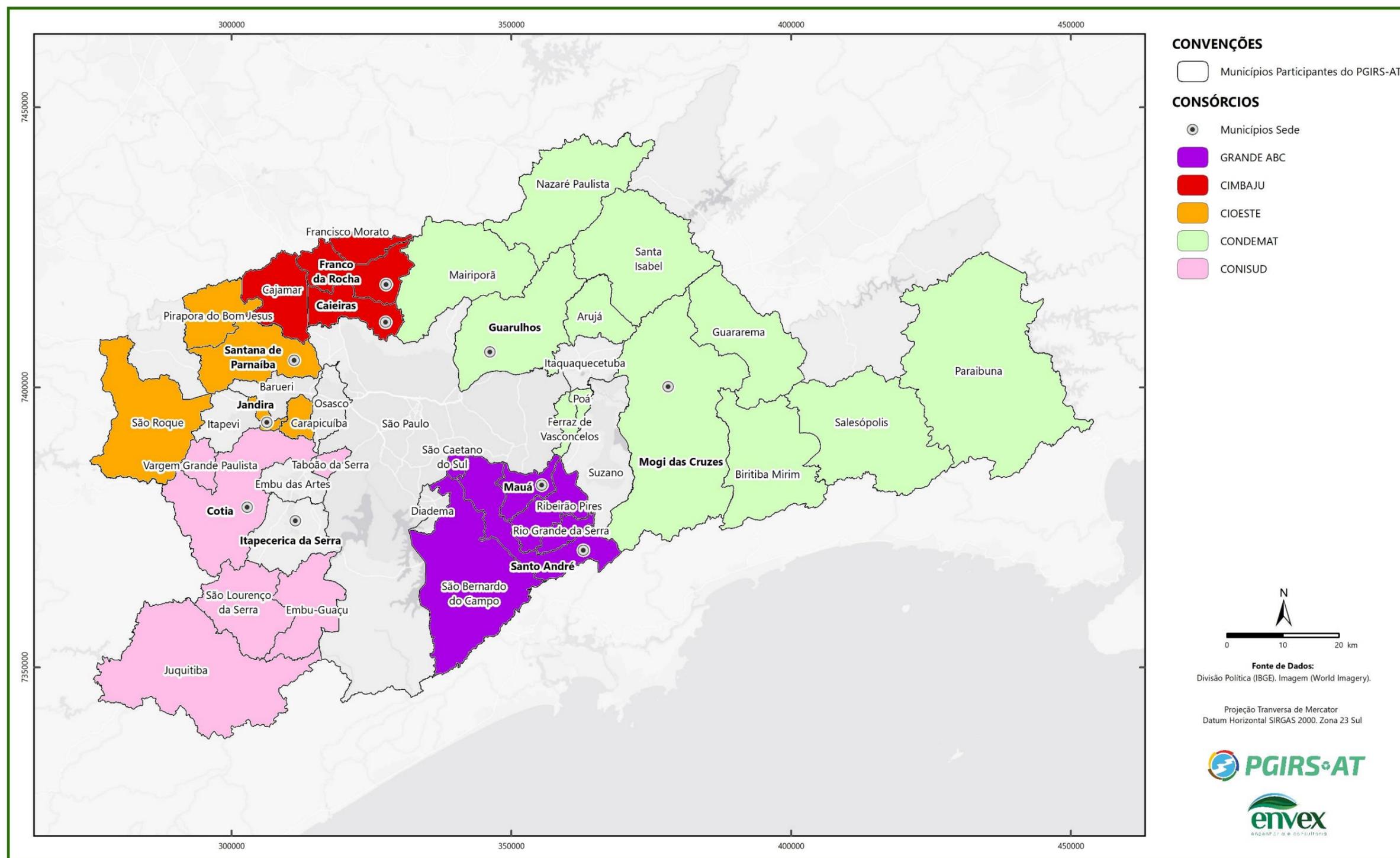


**Figura 38: Comparação entre os Consórcios existentes e o contorno das Microbacias da BHAT.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Sendo assim, foram propostos cinco agrupamentos intermunicipais, mantendo os nomes dos consórcios originais, conforme mostrado no mapa da Figura 39. Para cada agrupamento, foram identificados dois municípios potenciais considerados favoráveis à implantação de unidades de destinação. Também foram analisadas as distâncias entre esses municípios e os demais, além da necessidade de utilização de estações de transbordo, conforme apresentado na Tabela 63.

O maior agrupamento deste arranjo é o CONDEMAT com 12 municípios e 2.370.176 habitantes e o menor agrupamento é o CIMBAJU com 4 municípios e 497.707 habitantes. Em termos de eficiência na gestão de resíduos, conforme classificação do Índice de Gestão de Resíduos (IGR), o CIMBAJU é o consórcio que apresenta maior fragilidade com 3 dos 4 municípios com gestão ineficiente. Já no consórcio Grande ABC, 50% dos municípios são classificados como eficientes na gestão de resíduos.



**Figura 39: Proposta de arranjo por consórcios existentes.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 63: Proposta de arranjo por consórcios existentes.

Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Franco da Rocha	Transbordo	Distância (km) Caieiras	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Índice de Eficiência na Gestão de Resíduos)
<b>CIMBAJU</b>	Caieiras	95.030	26.281,00	8	Não	0	Não	Caieiras	Mediana
	Cajamar	92.689	28.800,00	23	Não	34	Sim	Caieiras	Ineficiente
	Francisco Morato	165.139	44.160,19	8	Não	13	Não	Caieiras	Ineficiente
	Franco da Rocha	144.849	33.961,89	0	Não	8	Não	Caieiras	Ineficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>497.707</b>	<b>133.203</b>	<b>Média 9,75</b>	-	<b>Média 13,75</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Jandira	Transbordo	Distância (km) Santana de Parnaíba	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Índice de Eficiência na Gestão de Resíduos)
<b>CIOESTE</b>	Carapicuíba	387.121	124.653,00	10	Não	18	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	Jandira	118.045	31.138,80	0	Não	17	Não	Itapevi	Ineficiente
	Pirapora do Bom Jesus	18.370	5.967,49	31	Não	10	Não	Santana de Parnaíba	-
	Santana de Parnaíba	154.105	75.355,00	17	Não	0	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	São Roque	79.484	22.497,60	39	Sim	36	Sim	Itapevi	Eficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>757.125</b>	<b>259.612</b>	<b>Média 19,40</b>	-	<b>Média 16,20</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Cotia	Transbordo	Distância Itapeverica da Serra	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Índice de Eficiência na Gestão de Resíduos)
<b>CONISUD</b>	Cotia	273.640	118.604,10	0	Não	30	Sim	Santana de Parnaíba	Mediana
	Embu-Guaçu	66.970	15.719,32	37	Sim	17	Não	Caieiras	-
	Juquitiba	27.404	10.181,59	67	Sim	42	Sim	Caieiras	Mediana
	São Lourenço da Serra	15.984	5.556,56	49	Não	24	Não	Caieiras	Mediana
	Taboão da Serra	273.542	85.690,90	27	Não	18	Não	Caieiras	Mediana
	Vargem Grande Paulista	50.333	14.558,00	12	Não	41	Sim	Itapevi	Ineficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>707.873</b>	<b>250.310</b>	<b>Média 32,00</b>	-	<b>Média 28,67</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Mauá	Transbordo	Distância Santo André	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Índice de Eficiência na Gestão de Resíduos)
<b>GRANDE ABC</b>	Mauá	418.261	125.928,00	0	Não	10	Não	Mauá	Mediana
	Ribeirão Pires	115.559	37.733,40	11	Não	17	Não	Mauá	Eficiente
	Rio Grande da Serra	44.170	10.000,00	15	Não	21	Não	Mauá	Ineficiente
	Santo André	748.919	236.837,00	10	Não	0	Não	Santo André	Eficiente
	São Bernardo do Campo	810.729	292.646,18	27	Não	4	Não	Mauá	Eficiente

Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Mogi das Cruzes	Transbordo	Distância Guarulhos	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Índice de Eficiência na Gestão de Resíduos)
	São Caetano do Sul	165.655	60.036,40	17	Não	10	Não	Mauá	-
	<b>TOTAL</b>	<b>2.303.293</b>	<b>763.181</b>	<b>13,33</b>	-	<b>10,33</b>	-	-	-
<b>CONDEMAT</b>	Arujá	86.678	30.142,74	24	Não	27	Não	Santa Isabel	Mediana
	Biritiba Mirim	29.676	6.416,24	20	Não	69	Sim	Santa Isabel	Mediana
	Ferraz de Vasconcelos	179.205	65.331,45	22	Não	38	Sim	Jambeiro	Mediana
	Guararema	31.236	13.488,58	25	Não	67	Sim	Jambeiro	Mediana
	Guarulhos	1.291.784	355.044,10	48	Sim	0	Não	São Paulo/Guarulhos	Eficiente
	Mairiporã	93.617	31.874,22	47	Sim	25	Não	São Paulo	Mediana
	Mogi das Cruzes	449.955	164.670,28	0	Não	48	Sim	Jambeiro	Mediana
	Nazaré Paulista	18.217	6.963,17	92	Sim	75	Sim	Santa Isabel	Mediana
	Paraibuna	17.667	5.729,32	84	Sim	109	Sim	Jambeiro	-
	Poá	103.765	30.139,00	18	Não	35	Sim	São Paulo	Eficiente
	Salesópolis	15.202	3.036,50	43	Não	90	Sim	São Paulo	Eficiente
	Santa Isabel	53.174	20.081,00	40	Sim	44	Sim	Santa Isabel	Mediana
		<b>TOTAL</b>	<b>2.370.176</b>	<b>732.917</b>	<b>38,58</b>	-	<b>52,25</b>	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024). Nota: Os municípios sem classificação de IGR, não responderam ao questionário estadual e por este motivo não foram pontuados e classificados.

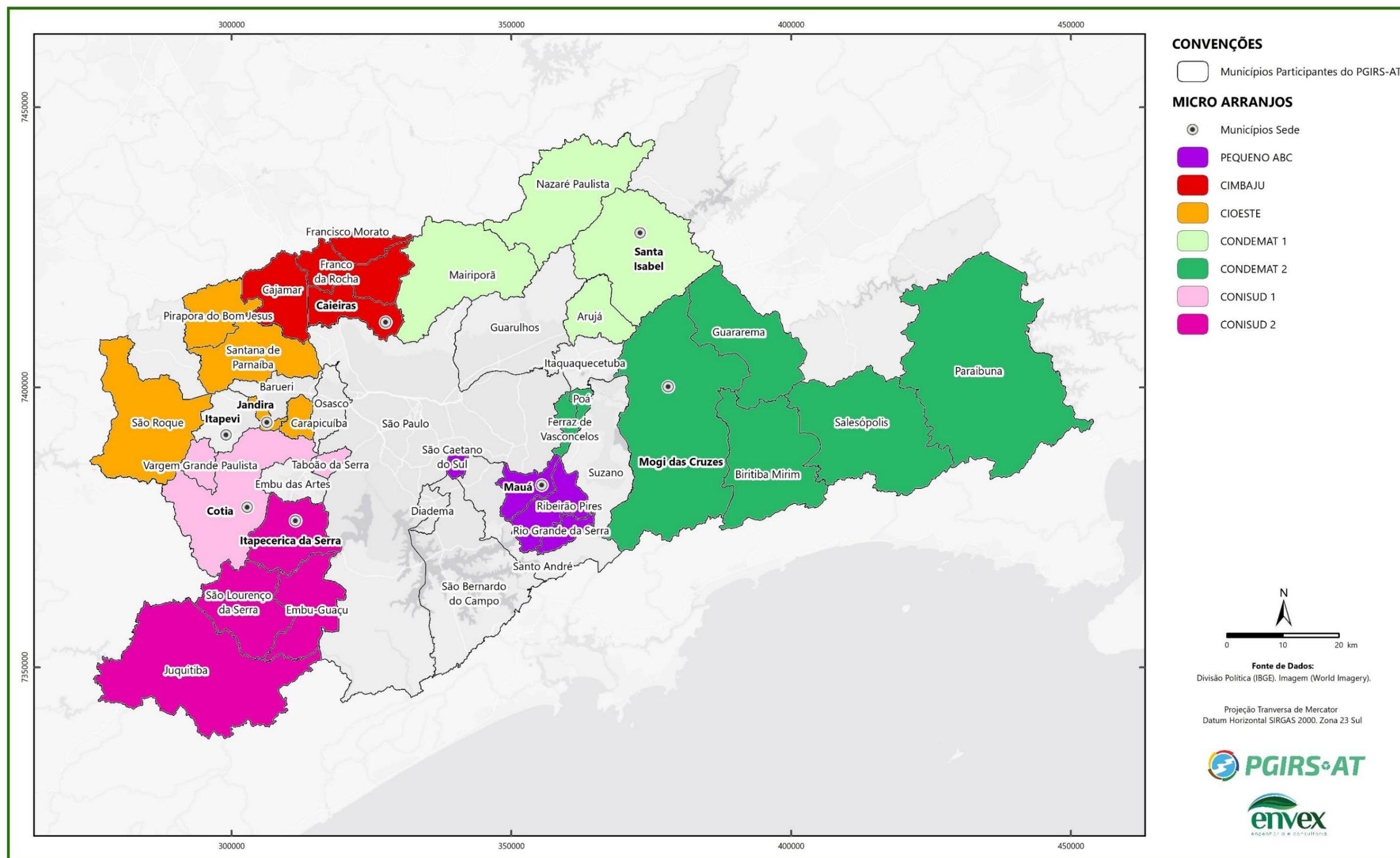
### 5.3. Micro Arranjos

Para a composição deste arranjo foi considerado que os municípios com mais de 500 mil habitantes terão solução individualizada para destinação de resíduos, pois, neste caso, existe maior viabilidade econômica para soluções não compartilhadas. Assim, os municípios de Guarulhos, São Bernardo do Campo e Santo André foram retirados dos agrupamentos.

Além disso, este agrupamento também teve por objetivo considerar iniciativas em andamento na região, como o caso das modelagens realizadas pelo consórcio CONISUD para compartilhamento da destinação de resíduos sólidos urbanos para os municípios de Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba e São Lourenço da Serra. Neste caso, por solicitação do CONISUD, o município de Itapeverica da Serra foi considerado no arranjo apesar de ter concessão de serviços para resíduos sólidos.

A base inicial para conformação dos Micro Arranjos foram os consórcios intermunicipais existentes, excluindo os municípios com população acima de 500 mil habitantes e dividindo os consórcios com maior número de municípios: CONISUD e CONDEMAT. Neste arranjo, foram definidos 7 agrupamentos municipais para compartilhamento da destinação de resíduos, com resultados apresentados na tabela a seguir. O mapa da Figura 40 apresenta a distribuição dos Micro Arranjos.

O maior agrupamento deste arranjo é o CONDEMAT 2 com 826.706 habitantes e o menor agrupamento é o CONDEMAT 1 com 251.686 habitantes, seguido do CONISUD 2 com 268.880 habitantes.



**Figura 40: Proposta de Micro Arranjos.**  
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024)

Tabela 64: Proposta de Micro Arranjos.

Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Caieiras	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
CIMBAJU	Caieiras	95.030	26.281,00	0	Não	Caieiras	Mediana
	Cajamar	92.689	28.800,00	34	Sim	Caieiras	Ineficiente
	Francisco Morato	165.139	44.160,19	13	Não	Caieiras	Ineficiente
	Franco da Rocha	144.849	33.961,89	8	Não	Caieiras	Ineficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>497.707</b>	<b>133.203</b>	<b>Média 14</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Jandira	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
CIOESTE	Carapicuíba	387.121	124.653,00	10	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	Jandira	118.045	31.138,80	0	Não	Itapevi	Ineficiente
	Pirapora do Bom Jesus	18.370	5.967,49	31	Não	Santana de Parnaíba	-
	Santana de Parnaíba	154.105	75.355,00	17	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	São Roque	79.484	22.497,60	39	Sim	Itapevi	Eficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>757.125</b>	<b>259.612</b>	<b>Média 19</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Cotia	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
CONISUD 1	Cotia	273.640	118.604,10	0	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	Taboão da Serra	273.542	85.690,90	27	Não	Caieiras	Mediana
	Vargem Grande Paulista	50.333	14.558,00	12	Não	Itapevi	Ineficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>597.515</b>	<b>218.853</b>	<b>Média 13</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Itapeçerica da Serra	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
CONISUD 2	Embu-Guaçu	66.970	5.556,56	17	Não	Caieiras	-
	Itapeçerica da Serra	158.522	55.901,70	0	Não	Caieiras	Ineficiente
	Juquitiba	27.404	10.181,59	42	Sim	Caieiras	Mediana
	São Lourenço da Serra	15.984	15.719,32	49	Não	Caieiras	Mediana
	<b>TOTAL</b>	<b>268.880</b>	<b>87.359</b>	<b>Média 27</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Santa Isabel	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
CONDEMAT 1	Arujá	86.678	30.143	15	Não	Santa Isabel	Mediana
	Mairiporã	93.617	31.874,22	98	Sim	São Paulo	Mediana
	Nazaré Paulista	18.217	6.963,17	24	Não	Santa Isabel	Mediana
	Santa Isabel	53.174	20.081	0	Não	Santa Isabel	Mediana
	<b>TOTAL</b>	<b>251.686</b>	<b>89.061</b>	<b>Média 34</b>	-	-	-

Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Mogi das Cruzes	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
CONDEMAT 2	Biritiba Mirim	29.676	6.416	20	Não	Santa Isabel	Mediana
	Ferraz de Vasconcelos	179.205	65.331	22	Não	Jambeiro	Mediana
	Guararema	31.236	13.489	25	Não	Jambeiro	Mediana
	Mogi das Cruzes	449.955	164.670	0	Não	Jambeiro	Mediana
	Paraibuna	17.667	5.729	84	Sim	Jambeiro	-
	Poá	103.765	30.139	18	Não	São Paulo	Eficiente
	Salesópolis	15.202	3.037	43	Não	São Paulo	Eficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>826.706</b>	<b>288.811</b>	<b>Média 30</b>	-	-	-
Consórcio	Município	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância(km) Mauá	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
PEQUENO ABC	Mauá	418.261	125.928,00	0	Não	Mauá	Mediana
	Ribeirão Pires	115.559	37.733,40	11	Não	Mauá	Eficiente
	Rio Grande da Serra	44.170	10.000,00	15	Não	Mauá	Ineficiente
	São Caetano do Sul	165.655	60.036,40	17	Não	Mauá	-
	<b>TOTAL</b>	<b>743.645</b>	<b>233.698</b>	<b>Média 11</b>	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

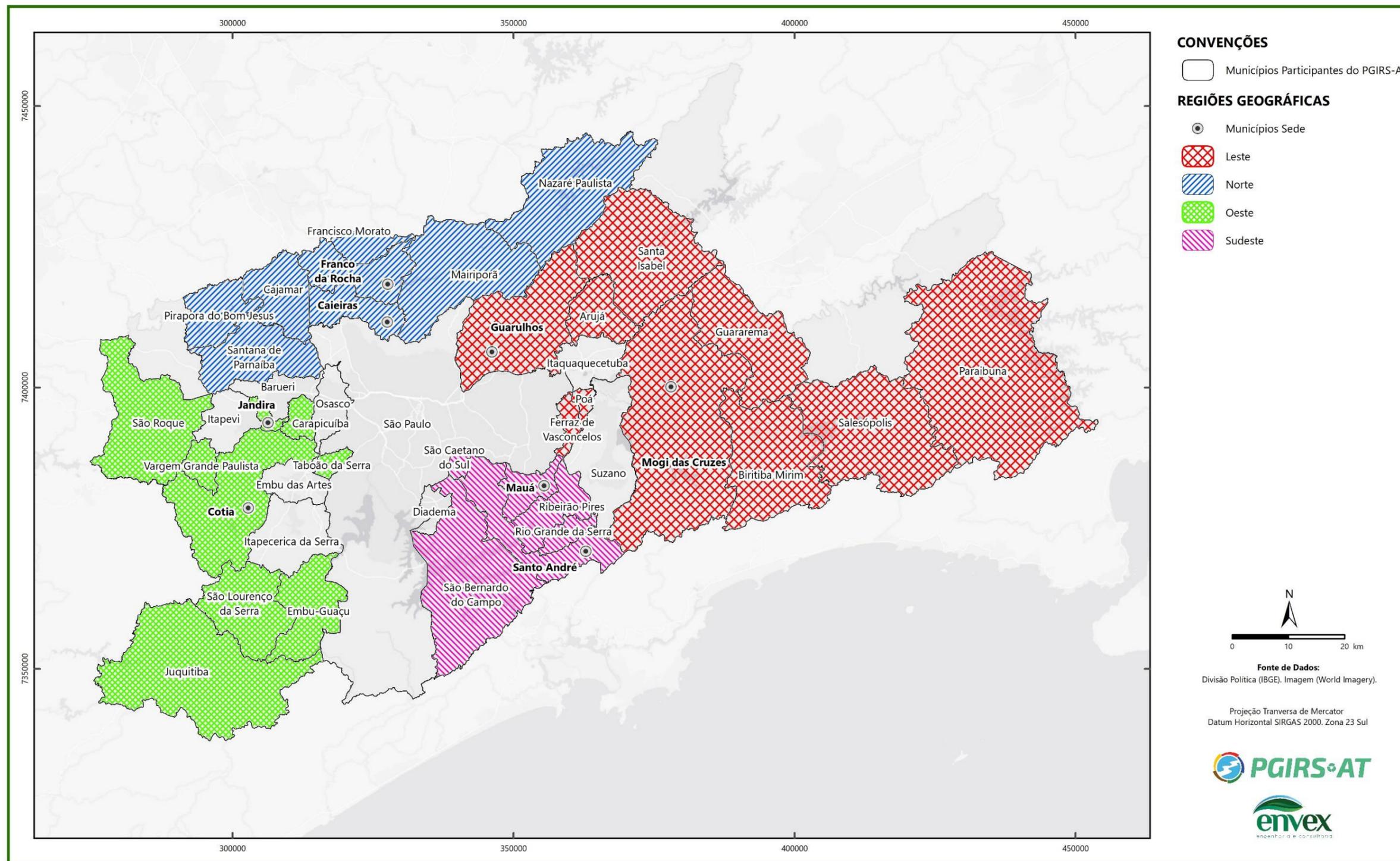
Nota: Os municípios sem classificação de IGR, não responderam ao questionário estadual e por este motivo não foram pontuados e classificados.

#### 5.4. Arranjo por Regiões Geográficas

Esta configuração tem por objetivo estabelecer agrupamentos maiores, extrapolando os limites dos consórcios intermunicipais existentes. Foram definidos quatro agrupamentos, nomeados conforme sua localização geográfica na área de estudo: Leste, Norte, Oeste e Sudeste.

O agrupamento da Região Norte possui 8 municípios somando 782.016 habitantes, sendo o menor agrupamento do arranjo. O maior agrupamento é o da região Leste com 10 municípios e 2.258.342 habitantes. A Tabela 65 apresenta os dados dos agrupamentos por Regiões Geográficas, com opções de municípios sede, necessidade de estações de transbordo e distâncias percorridas. O mapa da Figura 41 apresenta a distribuição espacial deste arranjo.

A região Sudeste mantém a mesma composição do arranjo por consórcios, coincidindo com o Consórcio Intermunicipal Grande ABC.



**Figura 41: Proposta de arranjo por Regiões Geográficas.**  
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024)

Tabela 65: Proposta de arranjo por Regiões Geográficas.

Região	Municípios	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Franco da Rocha	Transbordo	Distância (km) Caieiras	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
NORTE	Caieiras	95.030	26.281,00	8	Não	0	Não	Caieiras	Mediana
	Cajamar	92.689	28.800,00	23	Não	34	Sim	Caieiras	Ineficiente
	Francisco Morato	165.139	44.160,19	8	Não	13	Não	Caieiras	Ineficiente
	Franco da Rocha	144.849	33.961,89	0	Não	8	Não	Caieiras	Ineficiente
	Mairiporã	93.617	31.874,22	17	Não	24	Não	São Paulo	Mediana
	Nazaré Paulista	18.217	6.963,17	69	Sim	76	Sim	Santa Isabel	Mediana
	Pirapora do Bom Jesus	18.370	5.967,49	54	Sim	62	Sim	Santana de Parnaíba	-
	Santana de Parnaíba	154.105	75.355,00	42	Sim	38	Sim	Santana de Parnaíba	Mediana
	<b>TOTAL</b>	<b>782.016</b>	<b>253.363</b>	<b>Média 28</b>	<b>-</b>	<b>Média 32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Região	Municípios	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Cotia	Transbordo	Distância (km) Jandira	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
OESTE	Carapicuíba	387.121	124.653,00	22	Não	10	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	Cotia	273.640	118.604,10	0	Não	15	Não	Santana de Parnaíba	Mediana
	Embu Guaçu	66.970	15.719,32	37	Sim	52	Sim	Caieiras	-
	Jandira	118.045	31.138,80	15	Não	0	Não	Itapevi	Ineficiente
	Juquitiba	27.404	10.181,59	67	Sim	77	Sim	Caieiras	Mediana
	São Lourenço da Serra	15.984	5.556,56	49	Sim	58	Sim	Caieiras	Mediana
	São Roque	79.484	22.497,60	29	Não	39	Sim	Itapevi	Eficiente
	Taboão da Serra	273.542	85.690,90	27	Não	36	Sim	Caieiras	Mediana
	Vargem Grande Paulista	50.333	14.558,00	12	Não	24	Não	Itapevi	Ineficiente
	<b>TOTAL</b>	<b>1.292.523</b>	<b>428.600</b>	<b>Média 29</b>	<b>-</b>	<b>Média 35</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Região	Municípios	População	Geração de RSU (t/ano)	Distância (km) Mauá	Transbordo	Distância (km) Santo André	Transbordo	Destinação Atual	IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)
SUDESTE	Mauá	418.261	125.928,00	0	Não	10	Não	Mauá	Mediana
	Ribeirão Pires	115.559	37.733,40	11	Não	17	Não	Mauá	Eficiente
	Rio Grande da Serra	44.170	10.000,00	15	Não	21	Não	Mauá	Ineficiente
	Santo André	748.919	236.837,00	10	Não	0	Não	Santo André	Eficiente
	São Bernardo do Campo	810.729	292.646,18	27	Não	4	Não	Mauá	Eficiente
	São Caetano do Sul	165.655	60.036,40	17	Não	10	Não	Mauá	

	<b>TOTAL</b>	<b>2.303.293</b>	<b>763.181</b>	<b>Média 13</b>	<b>-</b>	<b>Média 10</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Região</b>	<b>Municípios</b>	<b>População</b>	<b>Geração de RSU (t/ano)</b>	<b>Distância (km) Mogi das Cruzes</b>	<b>Transbordo</b>	<b>Distância (km) Guarulhos</b>	<b>Transbordo</b>	<b>Destinação Atual</b>	<b>IGR (Eficiência na Gestão de Resíduos)</b>
LESTE	Arujá	86.678	30.143	24	Não	27	Não	Santa Isabel	Mediana
	Biritiba Mirim	29.676	6.416	20	Não	69	Sim	Santa Isabel	Mediana
	Ferraz de Vasconcelos	179.205	65.331	22	Não	38	Sim	Jambeiro	Mediana
	Guararema	31.236	13.489	25	Não	67	Sim	Jambeiro	Mediana
	Guarulhos	1.291.784	355.044	48	Sim	0	Não	São Paulo/Guarulhos	Eficiente
	Mogi das Cruzes	449.955	164.670	0	Não	48	Sim	Jambeiro	Mediana
	Paraibuna	17.667	5.729	84	Sim	109	Sim	Jambeiro	-
	Poá	103.765	30.139	18	Não	35	Sim	São Paulo	Eficiente
	Salesópolis	15.202	3.037	43	Não	90	Sim	São Paulo	Eficiente
	Santa Isabel	53.174	20.081	40	Sim	44	Sim	Santa Isabel	Mediana
	<b>TOTAL</b>	<b>2.258.342</b>	<b>694.079</b>	<b>Média 32</b>	<b>-</b>	<b>Média 53</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Nota: Os municípios sem classificação de IGR, não responderam ao questionário estadual e por este motivo não foram pontuados e classificados.

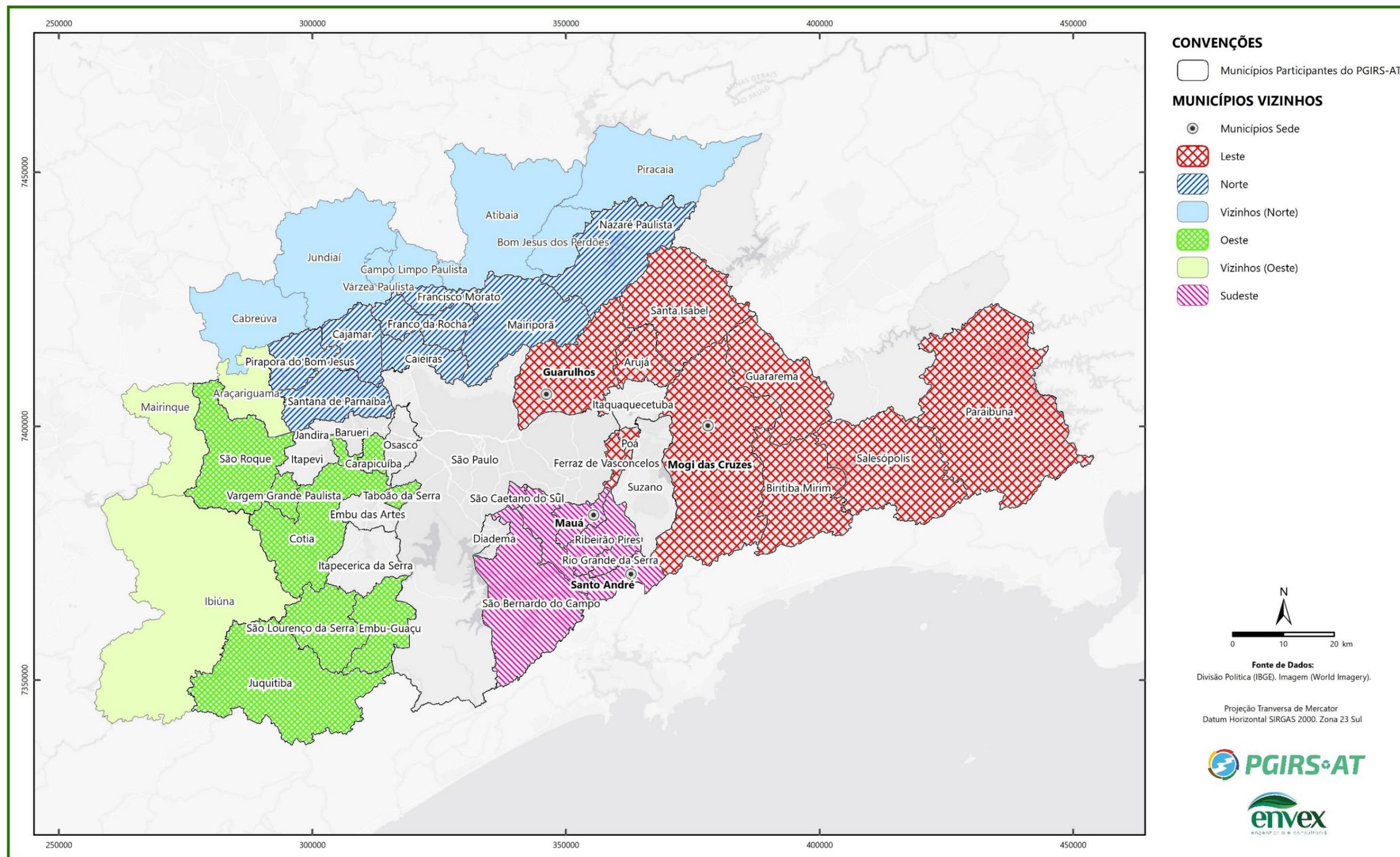
## 5.5. Arranjo com Municípios Vizinhos

A avaliação quanto aos Municípios Vizinhos objetivou identificar os municípios vizinhos à região de estudo com maior potencial de agregação aos Arranjos aqui propostos, a partir de informações sobre a destinação de RSU atualmente adotada nestes municípios e a participação em outras ações regionais.

A partir deste levantamento foi identificada maior viabilidade de integração dos municípios vizinhos à região norte, nordeste e oeste da região de estudo, uma vez que grande parte destes municípios já destinam RSU para aterros sanitários localizados dentro da própria região de estudo e não integram outras ações regionalizadas ou mesmo outros consórcios intermunicipais para gestão de resíduos.

Os municípios vizinhos à região leste, em grande parte destinam RSU para o aterro sanitário privado localizado no município de Jambuí e integram o Consórcio Intermunicipal Três Rios, que contempla tratativas para o desenvolvimento de ações consorciadas para gestão de resíduos sólidos. Já os municípios ao Sul e Sudeste da região de estudo pertencem à Região Metropolitana da Baixada Santista, que já conta com um Plano Regional de Gestão de Resíduos Sólidos promovendo ações para o manejo integrado e destinação regionalizada de RSU.

O mapa da Figura 42 ilustra os municípios com maior viabilidade de integração aos Arranjos da região de estudo e a Tabela 66 apresenta a configuração dos seguintes agrupamentos: Norte e Oeste com a integração dos municípios vizinhos. Porém, importante destacar que esta integração pode ou não ser efetivada, dependendo do interesse dos municípios.



**Figura 42: Proposta de arranjo com Municípios Vizinhos.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024)

Tabela 66: Proposta de Arranjo com os municípios vizinhos.

Região	Municípios	População	Distância (km) Caieiras	Transbordo	Distância (km) Franco da Rocha	Transbordo	Destinação Atual
NORTE	Caieiras	95.030	0	Não	8	Não	Caieiras
NORTE	Cajamar	92.689	34	Sim	23	Não	Caieiras
NORTE	Francisco Morato	165.139	13	Não	8	Não	Caieiras
NORTE	Franco da Rocha	144.849	8	Não	0	Não	Caieiras
NORTE	Mairiporã	93.617	24	Não	17	Não	São Paulo
NORTE	Nazaré Paulista	18.217	76	Sim	69	Sim	Santa Isabel
NORTE	Pirapora do Bom Jesus	18.370	62	Sim	54	Sim	Santana de Parnaíba
NORTE	Santana de Parnaíba	154.105	38	Sim	42	Sim	Santana de Parnaíba
VIZINHO	Atibaia	158.647	53	Sim	47	Sim	Paulínia
VIZINHO	Bom Jesus dos Perdões	22.006	66	Sim	59	Sim	São Paulo
VIZINHO	Campo Limpo Paulista	77.632	27	Não	26	Não	Caieiras
VIZINHO	Jundiaí	443.221	31	Sim	32	Sim	Santana de Parnaíba
VIZINHO	Piracaia	26.029	77	Sim	70	Sim	Paulínia
VIZINHO	Várzea Paulista	115.771	26	Não	27	Não	Caieiras
VIZINHO	Cabreúva	47.011	66	Sim	66	Sim	-
-	<b>TOTAL</b>	<b>1.672.333</b>	<b>Média 40</b>	-	<b>Média 37</b>	-	-

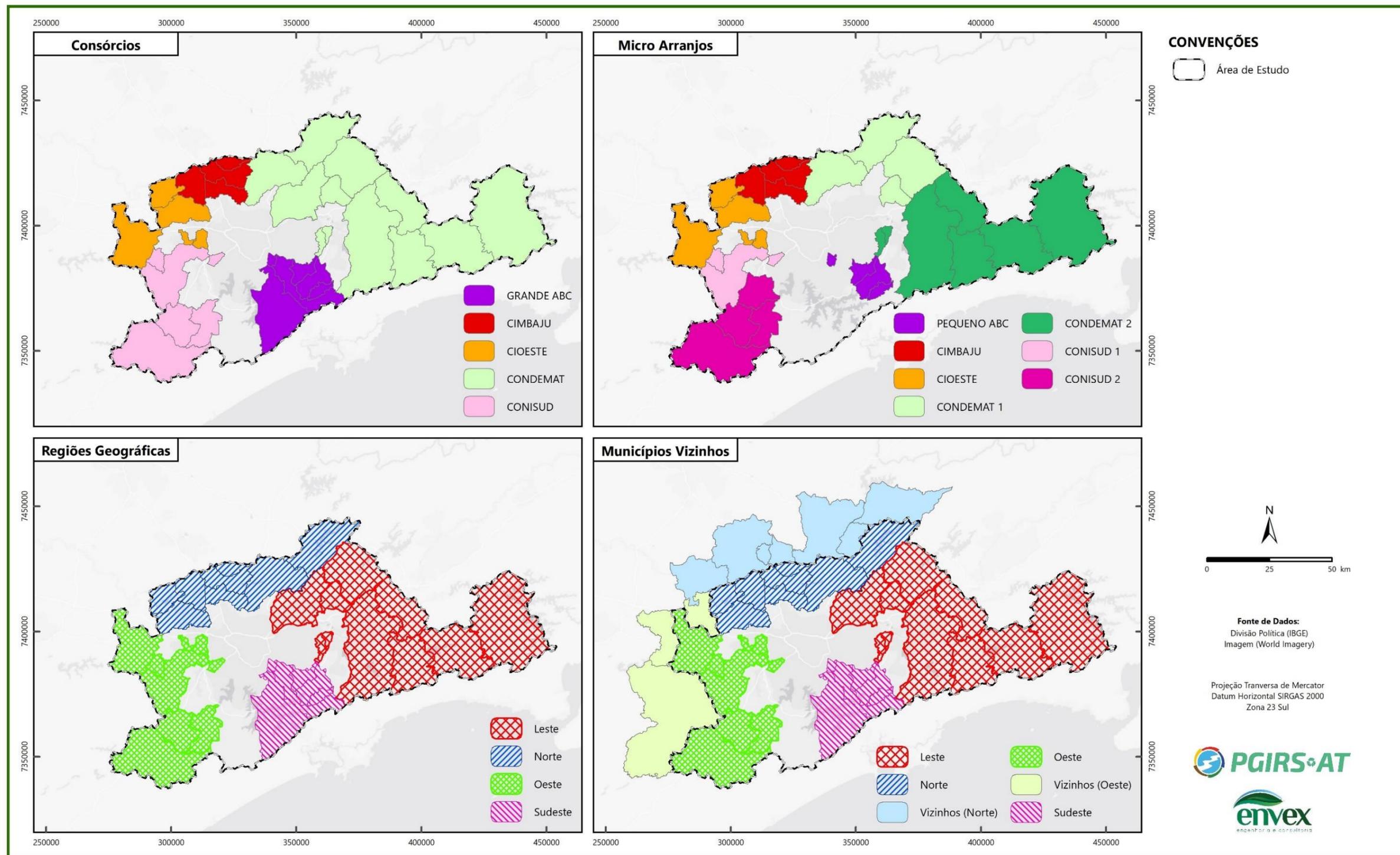
Região	Municípios	População	Distância (km) Cotia	Transbordo	Distância (km) Jandira	Transbordo	Destinação Atual
OESTE	Carapicuíba	387.121	22	Não	10	Não	Santana de Parnaíba
OESTE	Cotia	273.640	0	Não	15	Não	Santana de Parnaíba
OESTE	Embu Guaçu	66.970	37	Sim	52	Sim	Caieiras
OESTE	Jandira	118.045	15	Não	0	Não	Itapevi
OESTE	Juquitiba	27.404	67	Sim	77	Sim	Caieiras
OESTE	São Lourenço da Serra	15.984	49	Sim	58	Sim	Caieiras
OESTE	São Roque	79.484	29	Não	39	Sim	Itapevi
OESTE	Taboão da Serra	273.542	27	Não	36	Sim	Caieiras
OESTE	Vargem Grande Paulista	50.333	12	Não	24	Não	Itapevi
VIZINHO	Araçariguama	21.522	31	Não	22	Não	Santana de Parnaíba
VIZINHO	Ibiúna	75.605	38	Sim	51	Sim	Iperó
VIZINHO	Mairinque	50.027	35	Sim	43	Sim	Itapevi
-	<b>TOTAL</b>	<b>1.439.677</b>	<b>Média 30</b>	-	<b>Média 36</b>	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024)

## 5.6. Resumo comparativo entre os arranjos

A Figura 43 apresenta os 3 cenários de arranjos e a composição com os municípios vizinhos e a Tabela 67 apresenta o resumo dos Arranjos: número de municípios, população, geração de RSU, municípios sede, necessidade de estações de transbordo e distâncias médias.

Na Tabela 68 é apresentado o resumo, para cada agrupamento de municípios dos três arranjos propostos, da projeção populacional, coleta regular e seletiva (formal e informal), recuperação de recicláveis e custos dos serviços para o ano de 2024. Importante destacar que os dados apresentados se referem a soma dos resultados de cada município integrante do agrupamento, não se referindo a serviços regionalizados.



**Figura 43: Arranjos intermunicipais propostos.**  
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024)

Tabela 67: Resumo dos Arranjos propostos.

Arranjo	Agrupamento	Quantidade de Municípios	Número de Habitantes	Geração de RSU (t/ano)	Município Sede	Quantidade de Transbordos	Distância Média (Km)	Município Sede	Quantidade de Transbordos	Distância Média (Km)
CONSÓRCIOS	CIMBAJU	4	497.707	133.203	Franco da Rocha	0	10	Caieiras	1	14
	CIOESTE	5	757.125	259.612	Jandira	1	19	Santana de Parnaíba	1	16
	CONISUD	6	707.873	250.310	Cotia	2	32	Itapecerica da Serra	3	29
	CONDEMAT	12	2.370.176	732.917	Mogi das Cruzes	5	39	Guarulhos	9	52
	ABC	6	2.303.293	763.181	Mauá	0	13	Santo André	0	10
Arranjo	Agrupamento	Quantidade de Municípios	Número de Habitantes	Geração de RSU (t/ano)	Município Sede	Quantidade de Transbordos	Distância Média (Km)			
MICRO ARRANJOS	CIMBAJU	4	497.707	133.203	Caieiras	1	14			
	CIOESTE	5	757.125	259.612	Jandira	1	19			
	CONISUD 1	3	597.515	218.853	Cotia	0	13			
	CONISUD 2	4	268.880	87.359	Itapecerica da Serra	1	27			
	CONDEMAT 1	4	251.686	89.061	Santa Isabel	1	34			
	CONDEMAT 2	7	826.706	288.811	Mogi das Cruzes	2	30			
	ABC	4	743.645	233.698	Mauá	0	11			
Arranjo	Agrupamento	Quantidade de Municípios	Número de Habitantes	Geração de RSU (t/ano)	Município Sede	Quantidade de Transbordos	Distância Média (Km)	Município Sede	Quantidade de Transbordos	Distância Média (Km)
REGIÕES GEOGRÁFICAS	NORTE	8	782.016	253.363	Franco da Rocha	3	28	Caieiras	4	32
	OESTE	9	1.292.523	428.600	Cotia	3	29	Jandira	5	35
	LESTE	10	2.258.342	694.079	Mogi das Cruzes	4	32	Guarulhos	8	53
	SUDESTE	6	2.303.293	763.181	Mauá	0	13	Santo André	0	10

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024)

Tabela 68: Projeções dos quantitativos de coleta e custos por arranjo para o ano de 2024.

Arranjo	Agrupamento	Projeção População 2024	Geração de RSU (t/ano)	RSU disposto para coleta formal (t/ano)	Recicláveis coletados informalmente (t/ano)	Quantidade de catadores autônomos	% de resíduos na coleta seletiva formal	Quantidade de resíduos na coleta seletiva formal (t/ano)	Recicláveis recuperados pela coleta seletiva formal (t/ano)	Resíduos desviados do aterro (%)	Quantidade de triadores	Custo Total da Coleta (R\$/t)	Custo do Tratamento e Disposição (R\$/t)	Custo Total dos serviços (Milhões R\$/ano)	Custo mensal per capita (R\$/hab/mês)
Consórcios Existentes	CIMBAJU	513.970	140.460	132.740	7.720	577	0,02%	26,55	13,57	5,51%	1	151,06	249,97	53,23	9,93
	CIOESTE	791.720	275.330	260.200	15.140	1.131	2,36%	6.140,72	3.580	6,80%	208	158,48	277,24	113,37	13,73
	CONISUD	728.410	265.570	250.970	14.600	1.091	1,73%	4.341,78	2.520	6,45%	146	157,18	270,16	107,25	14,11
	CONDEMAT	2.427.910	911.410	861.310	50.100	3.744	1,63%	14.039,35	8.150	6,39%	473	159,2	268,33	368,23	14,54
	GRANDE ABC	2.405.160	810.630	766.060	44.560	3.330	2,89%	22.139,13	12.910	7,09%	749	160,16	282,05	338,76	13,50
Micro Arranjos	CONISUD 1	206.240	228.750	216.170	12.570	940	1,92%	4.150,46	2.420	6,65%	140	150,71	261,4	92,85	14,18
	CONISUD 2	258.810	79.860	75.470	4.390	328	1,17%	883,00	520	6,14%	30	162,98	267,47	32,49	12,03
	CONDEMAT 1	246.180	84.990	80.320	4.670	349	3,51%	2.819,23	1.640	7,43%	95	162,11	292,96	36,55	14,23
	CONDEMAT 2	828.400	469.480	443.670	25.810	1.929	2,14%	9.494,54	5.540	6,68%	321	165,37	274,22	195,05	22,57
	PEQUENO ABC	748.310	225.190	212.810	12.380	925	1,03%	2.191,94	1.280	6,06%	74	148,27	253,63	88,99	10,95
Regiões Geográficas	SUDESTE	2.405.160	810.630	766.060	44.560	3.330	2,89%	22.139,13	12.910	7,09%	749	160,16	282,05	338,76	13,50
	LESTE	2.324.620	876.870	828.670	48.200	3.602	1,67%	13.838,79	8.040	6,41%	467	159,48	268,81	354,91	14,63
	NORTE	794.440	265.600	251.000	14.600	1.091	2,24%	5.622,40	3.270	6,73%	190	158,08	275,97	108,94	13,14
	OESTE	1.342.950	449.820	425.090	24.730	1.848	1,20%	5.101,08	2.970	6,16%	173	155,23	263,84	178,14	12,71

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 6. PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS INSTITUCIONAIS

A prestação do serviço público de manejo dos resíduos sólidos, que compõe os serviços públicos de saneamento básico, tem entre seus princípios a sua realização de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente, bem como *a regionalização dos serviços, com vistas à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços* (art. 2º, incisos III e XIV da Lei 11.445/2007). A prestação adequada de serviços de saneamento básico, neles incluídos a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, materializa pretensões constitucionais como a dignidade da pessoa humana, o direito à saúde e a proteção constitucional ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

A União, nos termos do art. 21, XX, da CF, deve instituir diretrizes para o saneamento básico, de tal modo que o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – PGIRS-AT, tem por legislação de referência a Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020 (NMSB), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e inclui em seu conceito o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (art. 3º, inc. I, letra “c”) e a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), além da legislação estadual e normas infralegais aplicáveis ao tema. Convém mencionar que o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), aprovado pelo Decreto nº 11.043/2022, e as informações oriundas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), norteiam o PGIRS-AT.

## 6.1. A prestação regionalizada dos serviços

A legislação incentiva a regionalização da prestação de serviços de saneamento, sobretudo pela desigualdade e déficits regionais enfrentados no Brasil, visando a universalização e a geração de ganhos de escala.

Diretamente relacionada à regionalização, está a obrigatoriedade de cobrança pelos serviços objetivando o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos. Trata-se de uma inovação trazida pela Lei nº 14.026/20, em seu art. 29, com prazos estipulados em seu art. 35 § 2º, sob pena de a não cobrança configurar-se renúncia de receita:

*Art. 29. Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços, e, quando necessário, por outras formas adicionais, como subsídios ou subvenções, vedada a cobrança em duplicidade de custos administrativos ou gerenciais a serem pagos pelo usuário, nos seguintes serviços:*

(...)

*II - de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, na forma de taxas, tarifas e outros preços públicos, conforme o regime de prestação do serviço ou das suas atividades;*

De acordo com o Planares<sup>7</sup> “o ganho de escala, conjugado com a profissionalização da gestão e implantação da cobrança pela prestação do serviço de coleta e tratamento de RSU, pode contribuir para a autossuficiência econômica do sistema de gestão e gerenciamento”. Todavia, a implementação da cobrança ainda é deficitária em todo país. Na região de estudo, de acordo com o diagnóstico do PGIRS-

---

<sup>6</sup> Art. 35. As taxas ou as tarifas decorrentes da prestação de serviço de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos considerarão a destinação adequada dos resíduos coletados e o nível de renda da população da área atendida, de forma isolada ou combinada, e poderão, ainda, considerar:

§ 2º A não proposição de instrumento de cobrança pelo titular do serviço nos termos deste artigo, no prazo de 12 (doze) meses de vigência desta Lei, configura renúncia de receita e exigirá a comprovação de atendimento, pelo titular do serviço, do disposto no art. 14 da Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000, observadas as penalidades constantes da referida legislação no caso de eventual descumprimento. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020)

<sup>7</sup> <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>, Planares, p. 49.

AT, em 2021, apenas 62% dos municípios possuíam alguma forma de pagamento pelos serviços.

A cobrança pelos serviços de manejo de RSU foi disciplinada pela Norma de Referência nº 1/2021, aprovada pela Resolução nº 79, de 14 de junho de 2021, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. A norma não abrange a cobrança pela prestação do serviço público de limpeza urbana, por se tratar de serviço indivisível. A referida norma estabeleceu que, nos casos de prestação regionalizada, deve ser adotada a mesma estrutura de cobrança para todos os Municípios que compõem a prestação regionalizada, podendo resultar em valores unitários diferentes desde que justificados por particularidades da prestação dos serviços em cada Município.

No que diz respeito à regionalização, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, desde 2010, já possuía dispositivos voltados ao seu estímulo. Como exemplo, o seu art. 8º, XIX, ao prever como instrumento da política *o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos*, bem como o seu art. 17, ao prever como conteúdo mínimo dos planos estaduais de resíduos sólidos:

*medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos; diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões; e normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos, respeitadas as disposições estabelecidas em âmbito nacional (incisos VII, IX e X, respectivamente).*

O § 1º do art. 17 igualmente possibilita a criação, pelos Estados, de planos microrregionais, ou específicos para regiões metropolitanas e aglomerados urbanos, sendo incentivado pela legislação, que concede prioridade no acesso a recursos da União aos Municípios que aderirem a elaboração de tais planos ou soluções consorciadas, conforme art. 18, §1º.

O Decreto nº 11.599/2022, ao regulamentar a Lei nº 11.445/2007 e dispor sobre a prestação regionalizada, prevê que *a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos consistirá em critério orientador para a definição das estruturas de prestação regionalizada.*

A Lei nº 14.026/2020, aprimorou os formatos de prestação regionalizada. O inciso VI do seu art. 3º define prestação regionalizada como *a modalidade de prestação integrada de um ou mais componentes dos serviços públicos de saneamento básico em determinada região cujo território abranja mais de um Município.*

O arranjo regional dos serviços de saneamento, neste caso, de um de seus componentes - o manejo de resíduos sólidos - pode ser estruturado independentemente de arranjos existentes para outros componentes dos serviços públicos de saneamento e, em que pese a competência do Município para a prestação dos serviços, a regionalização traz benefícios à prestação dos serviços, em especial para os municípios de pequeno porte, tais como: *i) simplifica a contratação por um único titular, em bloco, facilitando o processo licitatório e eventual concessão do serviço; ii) traz vantagens econômicas na contratação dos serviços; e iii) possibilita a realização de subsídio cruzado para garantir o atingimento das metas e obrigações legais a municípios menos favorecidos.*

### 6.1.1. Modalidades de arranjos regionais

A Lei Federal nº 11.445/07 – Lei do Saneamento, passou a contemplar possibilidades de regionalização do saneamento, que dependem de estruturação de território que abranja mais de um município, balizando-se por critérios de viabilidade econômico-financeira e ganhos de escala ou compartilhamento de infraestruturas necessárias à prestação dos serviços.

Conforme seu art. 3º, VI, da Lei do Saneamento, há as seguintes modalidades de regionalização: região metropolitana, aglomeração urbana ou microrregião; unidades

regionais de saneamento básico; blocos de referência; consórcios; e regionalização voluntária.

O Decreto Federal nº 11.599/23 dispõe, em seu art. 6º, que a prestação regionalizada de serviços de saneamento é a modalidade de prestação integrada de um ou mais componentes dos serviços públicos de saneamento básico em determinada região cujo território abranja mais de um Município, com uniformização da regulação e da fiscalização e com compatibilidade de planejamento entre os titulares, com vistas à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços.

Portanto, temos a regionalização por meio da coordenação federativa (regionalização compulsória) e por cooperação federativa (regionalização facultativa). A estrutura regionalizada é condição, todavia, para a obtenção de recursos federais e financiamentos da União.

#### 6.1.1.1. Região metropolitana, aglomeração urbana ou microrregião

A regionalização por esta modalidade possuía existência jurídica antes do novo marco do saneamento básico. Instituída pelos Estados mediante lei complementar, de acordo com o § 3º do art. 25 da CF, trata-se de uma possibilidade que exige dos municípios limítrofes adesão compulsória, observado o regramento do Estatuto da Metrópole, Lei nº 13.089/2015. Nesse modelo, fenômenos como a conurbação e o compartilhamento material de infraestrutura acarretam o interesse supralocal na prestação do serviço.

Ainda, há que se considerar como prestação regionalizada a Região Integrada de Desenvolvimento (Ride), situada em mais de uma unidade federativa, instituída por lei complementar federal, com exigência da anuência dos Municípios que a integrem, conforme § 5º, do art. 3º da Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020. Vale destacar que no Estado de São Paulo não existem RIDEs.

### 6.1.1.2. Unidades regionais de saneamento básico

Unidades instituídas pelos Estados mediante lei ordinária, constituída por agrupamento de municípios não necessariamente limítrofes, para atender às exigências de saúde pública ou dar viabilidade econômico-financeira e técnica aos Municípios menos favorecidos. Utilizada, sobretudo, para os serviços de abastecimento de água e tratamento do esgoto. Possibilidade de adesão voluntária dos municípios.

No Estado de São Paulo as URAES foram definidas pela Lei Estadual nº 17.383 de 05 de julho de 2021 e regulamentadas pelo Decreto nº 66.289 de 02 de dezembro de 2021 e tratam da prestação regionalizada de serviços de água e esgoto.

Foram criadas quatro URAES: URAE 1 – Sudeste, URAE 2 – Centro, URAE 3 – Leste e URAE 4 – Norte. A URAE Sudeste contempla todos os municípios atendidos pela SABESP, totalizando 370 municípios.

### 6.1.1.3. Blocos de referência

Instituídos pela União nos termos do § 3º do art. 52 da Lei de Saneamento, trata-se de agrupamento de Municípios não necessariamente limítrofes e formalmente criado por meio de gestão associada voluntária dos municípios. O Decreto nº 11.599/2023, ao dispor sobre a prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico, estatui, em seu art. 6º, § 4º, que *a União estabelecerá, de forma subsidiária aos Estados, os blocos de referência a que se refere o inciso III do caput, para a prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico, caso as unidades regionais de saneamento básico não sejam estabelecidas pelo Estado.*

Os blocos de referência serão estabelecidos por meio de resoluções do Comitê Interestadual de Saneamento Básico (CISB). Enquanto a União não editar essas resoluções, os convênios de cooperação e os consórcios intermunicipais de saneamento básico serão considerados estruturas de prestação regionalizada, desde

que o Estado não tenha aprovado nenhuma das leis referentes a regiões metropolitanas e unidade regional de saneamento básico.

Observações gerais:

- Tanto nas unidades regionais de saneamento básico quanto nos blocos de referência há o planejamento de uma estrutura regional por outro ente federativo (Estado ou União), que vincula os municípios por critérios como a busca do equilíbrio econômico-financeiro.
- Nas modalidades acima, observa-se o protagonismo do Estado e da União do planejamento;
- Exige-se a governança interfederativa nessas estruturas, com implantação de processo permanente e compartilhado de planejamento e de tomada de decisão quanto ao desenvolvimento urbano e às políticas setoriais afetas às funções públicas de interesse comum; estabelecimento de meios compartilhados de organização administrativa das funções públicas de interesse comum; estabelecimento de sistema integrado de alocação de recursos e de prestação de contas; execução compartilhada das funções públicas de interesse comum, mediante rateio de custos previamente pactuado no âmbito da estrutura de governança interfederativa; e exigência de uma estrutura básica, conforme Estatuto da Metrôpole;
- O exercício da titularidade municipal dos serviços para um ente intergovernamental.

#### 6.1.1.4. Consórcios

Trata-se de um instrumento de cooperação, com possibilidade de adesão voluntária dos municípios por meio de gestão associada dos serviços. O art. 241 da Constituição Federal prevê:

*Art. 241. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios disciplinarão por meio de lei os consórcios públicos e os convênios de cooperação entre os entes federados, autorizando a gestão associada de serviços públicos, bem como a transferência total ou parcial de encargos, serviços, pessoal e bens essenciais à continuidade dos serviços transferidos.*

A gestão associada consiste, portanto, na associação voluntária de entes federados, por convênio de cooperação ou consórcio público, a quem o titular delega

a organização, a regulação, a fiscalização e a prestação dos serviços de saneamento básico.

A Lei nº 11.107/05 dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos, sendo regulamentada, no mesmo ano, pelo Decreto nº 6.017/2007, que pelo seu art. 2, inciso I, conceitua consórcio público como a pessoa jurídica formada exclusivamente por entes da Federação, na forma da Lei nº 11.107/2005, para estabelecer relações de cooperação federativa, inclusive a realização de objetivos de interesse comum, constituída como associação pública, com personalidade jurídica de direito público e natureza autárquica, ou como pessoa jurídica de direito privado sem fins econômicos.

Além da exigência de lei municipal para adesão aos consórcios, deve haver a previsão dos recursos financeiros pelos entes participantes nos instrumentos orçamentários, isto é, no Plano Plurianual (PPA), na Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e na Lei Orçamentária Anual (LOA), além da obrigatoriedade de seguir as determinações da Lei de Responsabilidade Fiscal, Lei Complementar nº 101/2000.

A Lei nº 11.107/05 sofreu alteração com a Lei nº 14.026/20, passando a vedar novos contratos de programa para a prestação de serviços públicos de saneamento básico (art. 13, § 8º). O NMSB (8, §1º, I e II) **também passou a dispor sobre a possibilidade de o exercício de titularidade dos serviços ocorrer por meio de gestão associada, inclusive mediante consórcios públicos;** na mesma medida em que explicita a possibilidade de prestação direta aos seus associados dos serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais, por meio de autarquia intermunicipal.

A PNRS já estimulava a formação de consórcios intermunicipais de resíduos, sendo essa modalidade de arranjo regional protagonista no país no tocante à prestação dos serviços de manejo de resíduos sólidos, também incentivada pelo NMSB.

Os estados podem ser categorizados como indutores da formação de arranjos, por meio de políticas estaduais voltadas para regionalização, conforme art. 33, III do Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a Lei nº 12.305/10. No entanto, muitos arranjos definidos por estados em planos estaduais de resíduos sólidos não se reverteram em consórcios, sejam pela baixa qualidade dos planos, reduzida participação municipal no processo de planejamento e questões de natureza político-partidária, segundo Pedro Alves Duarte<sup>8</sup>.

Quanto aos benefícios dos consórcios públicos, podemos citar: *i)* possibilidade de ampliar a rota tecnológica pelo compartilhamento de atividades que integram o serviço de manejo de RSU, como a coleta seletiva, triagem de recicláveis, tratamento de resíduos, além da disposição final em aterros; *ii)* diminuição de custos operacionais, possibilitando a ampliação da oferta e maximização dos investimentos e otimização dos recursos humanos; *iii)* criação de espaços democráticos de discussão; *iv)* trocas de experiência e capacitação conjunta de gestores; *v)* potencial de fortalecer o exercício das funções de planejamento, regulação e fiscalização, além da prestação dos serviços públicos. Citam-se as seguintes potencialidades, de acordo com Duarte (2023):

- Consórcios com finalidade exclusiva de regular e fiscalizar a prestação dos serviços de manejo de RSU e limpeza pública urbana;
- Estabelecimento de concessões e parcerias público-privadas (PPP);
- Licitação e compras compartilhadas, com redução expressiva nos custos de aquisição de bens pela economia de escala;
- Gestão da cobrança e arrecadação pelo manejo de RSU;
- Apoio à estruturação e fortalecimento das cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis;
- Ações com resíduos de outras classes ou tipologias, como da construção civil;
- Rotas tecnológicas mais complexas e robustas;

---

<sup>8</sup> DUARTE, Pedro Alves. Potencialidades e desafios dos consórcios intermunicipais de resíduos sólidos (2023). Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12176/1/BRUA\\_29\\_Artigo\\_6\\_potencialidades\\_e\\_desafios\\_dos\\_consorcios\\_intermunicipais.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12176/1/BRUA_29_Artigo_6_potencialidades_e_desafios_dos_consorcios_intermunicipais.pdf)

- Fortalecimento da logística reversa em escala regional.

Ressalta-se que a modelagem pode prever cobrança de valores unitários que podem se diferenciar nos municípios consorciados, pelo compartilhamento ou individualização da prestação de serviços, a exemplo da coleta e tratamento dos RSU.

Os desafios para a formação de consórcios incluem fatores políticos, a necessidade de uma ruptura com práticas tradicionais em favor de uma gestão inovadora, e questões estruturantes, como a necessidade de uma formação técnica especializada adequada.

#### 6.1.1.5. *Regionalização voluntária*

Esta modalidade se deu sobretudo pela implantação de aterros sanitários privados em regiões específicas, normalmente próximas a cidades de médio e grande porte, de acordo com Duarte (2023). Segundo o autor:

Pela ausência de outros aterros nas proximidades, os municípios acabaram tendo como única opção o aterro privado, requerendo o compartilhamento da disposição final no aterro e de infraestruturas como estações de transbordo, independentemente da formação de consórcios. Um exemplo típico de regionalização induzida a partir da implantação de aterros privados se deu em Mato Grosso do Sul.

Esta modalidade ocorre em toda a região de estudo, com grande parte dos municípios contratando individualmente aterros sanitários privados que atendem vários municípios.

#### 6.1.2. *Proposta de governança para a regionalização*

Com base nos instrumentos jurídicos existentes que autorizam os arranjos regionais, e sua legislação aplicável, o PGIRS-AT identificou as potencialidades de regionalização dos municípios a partir do estudo dos arranjos intermunicipais e também as possibilidades institucionais, conforme apresentado anteriormente.

O Governo do Estado de São Paulo instituiu Unidades Regionais de Serviços de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário contemplando apenas os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitários, as URAES. Ou seja, as Unidades Regionais não abrangem os serviços de manejo de resíduos sólidos, que atualmente não estão contemplados em nenhum outro formato de regionalização, o que permite a este PGIRS-AT indicar uma das modalidades previstas.

A partir destas análises, o que se propõe é a instituição de Consórcios Públicos para a gestão regionalizada de resíduos sólidos, uma vez que estão previstos e são incentivados pela legislação (PNRS e NMSB) e não dependem da participação do Estado ou da União.

Neste caso, conforme apresentado no Capítulo 5, é possível, que os consórcios multifinalitários já existentes, sejam os agentes de governança para instituição da regionalização, ou ainda, podem ser criados consórcios específicos para atendimento das outras propostas de arranjos, como no caso das regiões geográficas que extrapolam os limites dos consórcios existentes.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT) e a Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (FABHAT), assim como a Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL), poderão atuar como agentes mobilizadores e indutores para a viabilização das soluções regionalizadas no âmbito territorial da região de estudo.

Outra etapa importante é a definição de uma Agência Reguladora, para executar a regulação, o controle e a fiscalização dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos concedidos ao setor privado. A regulação pode ser executada por uma agência já existente, como no caso da Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Estado de São Paulo (ARSESP), também pode ser executada por uma agência reguladora metropolitana que venha a ser criada ou ainda cada consórcio pode contratar uma agência reguladora diferente.

## 6.2. Governança e gestão de RSU

No âmbito dos resíduos sólidos urbanos têm-se os rejeitos, resíduos orgânicos, resíduos recicláveis, resíduos com logística reversa obrigatória e resíduos volumosos, tanto de pequena geração quanto grande geradores, assim como já abordado em outros momentos. Para o gerenciamento de cada um desses resíduos existe uma estrutura de governança estabelecida pelas Lei Federais nº 11.445/2007, nº 12.305/2010 e nº 14.026/2020.

A Prefeitura Municipal é a titular pelo serviço de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos, essencialmente para atendimento aos pequenos geradores. Ela pode ainda fazer parte de contextos regionais de gestão de resíduos, como os consórcios, os quais passarão a incorporar e a dividir determinadas responsabilidades. Fazem parte desse escopo de responsabilidades, por exemplo, o planejamento da gestão de resíduos pela prefeitura ou consórcio, a implantação da cobrança pelo manejo de resíduos pela prefeitura e à implantação da coleta seletiva no município pela prefeitura.

A partir disso, a Tabela 69 contém as indicações de responsabilidades dos consórcios e das prefeituras municipais, inclusive àquelas compartilhadas entre as duas entidades.

Tabela 69: Responsabilidades dos consórcios e das prefeituras municipais na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

Ente executivo do Consórcio	Prefeituras Municipais	Responsabilidades Compartilhadas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboração, execução, monitoramento e avaliação do Plano de Gestão Integrada de Resíduos;</li> <li>• Criação, implantação e acompanhamento de programas regionais para a adequada gestão dos resíduos sólidos;</li> <li>• Suporte técnico e jurídico aos municípios para aprimoramento da gestão integrada de resíduos sólidos;</li> <li>• Implantação e operação de Banco de Dados Regional sobre resíduos sólidos;</li> <li>• Gerenciar contratações consorciadas para gestão de resíduos sólidos;               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerenciar demandas de coleta de resíduos de logística reversa no território;</li> </ul> </li> <li>• Promover encontros, eventos, reuniões para incentivar inovações no gerenciamento de todas as tipologias de resíduos sólidos gerados no território.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instituição de Plano de Gestão Integrada de Resíduos por lei municipal;</li> <li>• Execução, monitoramento e avaliação do Plano de Gestão Integrada de Resíduos;</li> <li>• Elaboração de regulamentos, leis e normas acordadas regionalmente;</li> <li>• Criar lei e implantar a cobrança pelo manejo de resíduos sólidos urbanos;</li> <li>• Ofertar formas de dispor corretamente os RSU (orgânicos, rejeitos e recicláveis) da população e de pequenos geradores;</li> <li>• Definir em lei municipal e fiscalizar grande gerador de RSU;</li> <li>• Ofertar sistemas de coleta seletiva à população e garantir a inclusão de cooperativas e associações de triagem de materiais recicláveis no processo;</li> <li>• Providenciar destinação ambientalmente adequada aos resíduos coletados, na forma estabelecida pela PNRS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campanhas consorciadas de comunicação e educação ambiental;</li> <li>• Criação e administração de pontos de apoio logístico para resíduos de logística reversa;</li> <li>• Gestão da disposição final consorciada.</li> </ul>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Além das macros responsabilidades de gestão de RSU, existem as responsabilidades de cada ator por tipo de resíduo, as quais são destacadas na Tabela 70. Vale pontuar que as definições de pequeno e grande gerador são de responsabilidade da prefeitura municipal e que, portanto, elas podem ser diferentes conforme o município, também podem ser definidas em âmbito regional, por consórcio, e aprovadas em lei municipal.

Tabela 70: Responsabilidades de cada ator no âmbito municipal conforme a geração das tipologias de RSU.

Tipos de resíduos	Responsabilidades			
	Domicílio	Prefeitura	Geração Privada (pessoa física ou jurídica)	
			Pequena geração	Grande geração
<b>Rejeito e Orgânicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e disponibilização adequada para coleta pública</li> <li>- Volume máximo conforme determinação em lei municipal e para volumes maiores, o transporte e destinação serão de responsabilidade do gerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coleta, tratamento e disposição final;</li> <li>- Fiscalização dos geradores privados de grande porte</li> <li>- <b>Em prédios públicos:</b> Segregação na fonte, acondicionamento e disposição adequados para coleta pública</li> <li>- Volume máximo conforme determinação em lei municipal e para volumes maiores, o transporte e destinação serão de responsabilidade do gerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e disponibilização adequada para coleta pública</li> <li>- Volume máximo conforme determinação em lei municipal e para volumes maiores, o transporte e destinação serão de responsabilidade do gerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento, coleta transporte e destinação final ambientalmente adequada</li> </ul>
<b>Recicláveis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e disponibilização adequada para coleta pública</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coleta, tratamento e destinação;</li> <li>- Fiscalização dos geradores privados de grande porte</li> <li>- <b>Em prédios públicos:</b> Segregação na fonte, acondicionamento e disposição adequados para coleta pública</li> <li>- Volume máximo conforme determinação em lei municipal e para volumes maiores, o transporte e destinação serão de responsabilidade do gerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e disponibilização adequada para coleta pública</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e destinação final ambientalmente adequada</li> </ul>
<b>Resíduos com logística reversa obrigatória (RSLO)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte e transporte até pontos credenciados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fomento à implantação de pontos de coleta;</li> <li>- Apoio logístico</li> <li>- Fiscalização dos fluxos de resíduos</li> <li>- <b>Prédios públicos:</b></li> <li>- Segregação na fonte e transporte até pontos credenciados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e transporte até estabelecimento credenciado ou destinação final ambientalmente adequada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento e transporte até estabelecimento credenciado ou destinação final ambientalmente adequada</li> </ul>

Tipos de resíduos	Responsabilidades			
	Domicílio	Prefeitura	Geração Privada (pessoa física ou jurídica)	
			Pequena geração	Grande geração
<b>Volumosos (RSV)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume máximo conforme determinação em lei municipal e para volumes maiores, o transporte e destinação serão de responsabilidade do gerador</li> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento, agendamento de coleta ou transporte até Ponto de Entrega Voluntária (PEV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coleta, tratamento e destinação para pequenos geradores</li> <li>- Fiscalização dos gerados privados de grande porte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume máximo conforme determinação em lei municipal e para volumes maiores, o transporte e destinação serão de responsabilidade do gerador</li> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento, agendamento de coleta ou transporte até Ponto de Entrega Voluntária (PEV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segregação na fonte, acondicionamento, coleta, transporte e destinação final ambientalmente adequada</li> </ul>

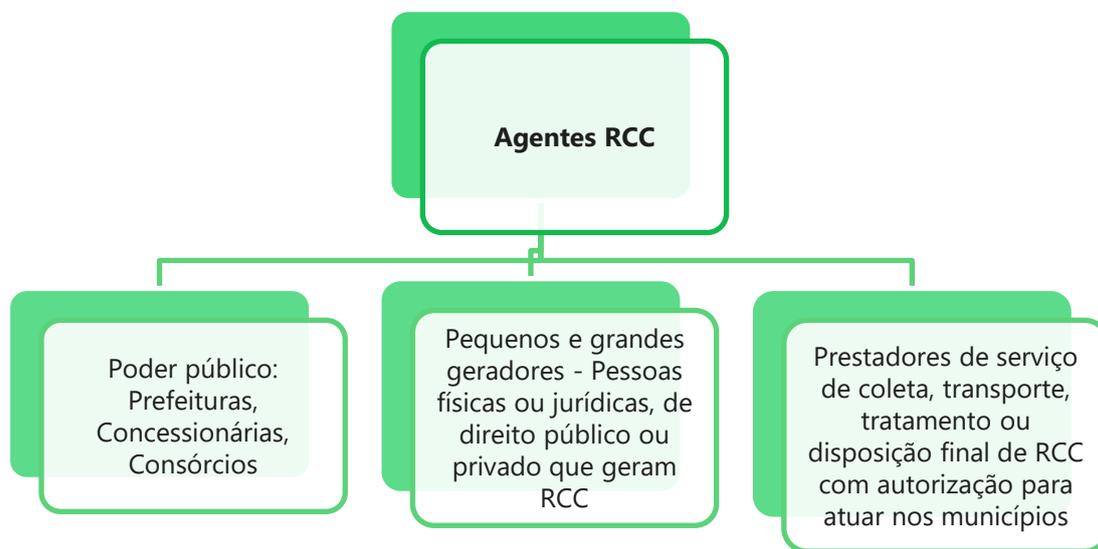
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Posto isso, a governança em RSU depende de um grande esforço de fiscalização e monitoramento contínuos por parte da Prefeitura Municipal, de modo a garantir o respeito às determinações estabelecidas em lei.

Em relação à execução dos serviços de gerenciamento de RSU, desde a coleta até a disposição final, este também pode ser realizado por contrato firmado com entidade privada, seja por meio de concessão ou terceirização. Em se utilizando dessa opção, é fundamental a contratação de Agência Reguladora para garantir a qualidade dos serviços, o cumprimento das metas e a garantia do atendimento dos direitos da população.

### 6.3. Governança e gestão de RCC

Os principais agentes envolvidos na gestão dos RCC nos municípios são o poder público, os pequenos e grandes geradores e os prestadores de serviço de coleta, transporte, tratamento e disposição final conforme ilustra a Figura 44. Os agentes envolvidos têm papel primordial para efetividade do planejamento e da execução das ações propostas para o gerenciamento integrado dos RCC.



**Figura 44: Agentes envolvidos na gestão dos RCC.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Entre os agentes envolvidos na gestão dos RCC, as Prefeituras exercem papel importante na gestão, fiscalização, orientação e educação da população quanto ao gerenciamento dos RCC, assim como na prestação de serviços de coleta e destinação para pequenos geradores.

As concessionárias, onde existem, executam as atividades diárias de gestão dos RCC nos municípios. Na região de estudo os municípios com concessão para gestão de resíduos, incluindo a coleta, o transporte e a destinação de RCC são: São Paulo, Suzano, Barueri, Itapevi, Itaquaquecetuba, Diadema, Osasco, Itapeçerica da Serra e Embu das Artes.

Os consórcios, por sua vez, atuam promovendo ou até executando ações conjuntas em benefício de um aglomerado de municípios próximos. Os pequenos e grandes geradores influenciam diretamente na estimativa de geração de RCC e na definição de estratégias de gestão dos RCC que serão adotadas pelos municípios. Por fim, os prestadores de serviço são responsáveis pelo atendimento às legislações pertinentes e representam também possíveis fontes de emprego e renda para a cidade, por meio da instalação de pequenos e grandes negócios relacionados ao gerenciamento de RCC.

Um dos princípios da PNRS é a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, que tem como premissa minimizar a geração dos resíduos sólidos, aumentar a introdução de materiais recicláveis na cadeia produtiva dos produtos e promover o seu retorno ao ciclo produtivo. Portanto, tendo em vista os envolvidos e aplicando este conceito, é possível definir a responsabilidade dos agentes ligados aos RCC. Na Tabela 71 são apresentados os agentes envolvidos e suas respectivas responsabilidades na gestão dos RCC.

Tabela 71: Agentes e responsabilidades na gestão dos RCC.

Agentes	Especificação	Responsabilidades
Poder Público	Prefeituras Secretarias Responsáveis	Ações voltadas para atender as metas e programas previstos.
		Execução, monitoramento e avaliação dos PMGRS e dos PMGRCC, quando existente.
		Organizar e disciplinar a prestação de serviços de gerenciamento dos RCC.
		Definir a secretaria e a equipe capacitada para as ações de fiscalização e assegurar o cumprimento dos objetivos propostos.
		Elaboração de regulamentos, leis e normas para RCC.
		Ofertar formas de dispor corretamente os RCC de pequenos geradores.
		Acompanhar a participação dos Conselhos formados para gestão dos resíduos sólidos.
		Disciplinar as irregularidades e promover ações de conscientização ambiental para a população.
	Concessionárias	Execução dos serviços contratados para RCC.
Consórcios	Operar de forma cooperativa na gestão dos RCC e no compartilhamento de recursos e equipamentos.	
Geradores	Grande gerador	Elaboração e atendimento ao que está proposto no PGRCC.
		Contratar serviço de transporte e destinação para os RCC.
		Segregar o material na fonte antes de destinar.
		Buscar a redução e reutilização dos RCC.
		Exigir dos transportadores contratados o manifesto do transporte e descarte em local licenciado.
	Pequeno gerador	Fazer cumprir a legislação definida para RCC.
		Buscar a redução e reutilização dos RCC gerados.
		Segregar o material na fonte antes de destinar.
		Dispor o material no Eco ponto, destinar para coleta pública municipal conforme regramento do município ou contratar serviço de coleta e destinação adequada para os RCC.
		Exigir dos transportadores contratados o manifesto do transporte e descarte em local licenciado.
Prestador de Serviço	Coleta e Transporte	Dispor em local licenciado apto para recebimento.
		Para empresas de grande porte, entregar o PGRCC no ato do licenciamento ambiental.
		Emitir MTR/CDF para o poder público e para o contratante, do descarte em local licenciado.
	Tratamento – Usina de RCC	Cumprir e fazer cumprir as determinações normativas que disciplinam os procedimentos e operações da usina de RCC.
		Comercialização do material fabricado, aumentando o potencial econômico da região.
	Disposição final - Aterro de RCC/cedente de áreas de recebimento	Cumprir e fazer cumprir as determinações normativas que disciplinam os procedimentos e operações de aterro de RCC, em especial, seu controle ambiental.
		Emitir comprovante (manifesto) de recebimento de RCC.

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As prefeituras são diretamente responsáveis pelos resíduos gerados em obras próprias, o que ocorre em obras executadas pelas secretarias ou por contratações de serviços de terceiros. Cabe a cada município buscar alternativas de controle, otimização de material e práticas de reaproveitamento de RCC no próprio canteiro ou em outras obras, antes de prever o descarte dos resíduos. Já no caso dos resíduos gerados por obras contratadas junto a terceiros, estes devem trazer a exigência de prover a destinação final correta dos resíduos, restando ao poder público exercer o monitoramento e a fiscalização.

Considerando o cenário atual de gerenciamento dos RCC na região de estudo e a projeção de crescimento na geração de RCC em todos os municípios, as proposições para a região devem abranger desde práticas para minimização na geração de RCC, maior controle da geração e destinação de RCC de pequenos geradores, mais pontos de coleta e destinação adequados para esta tipologia de resíduos e ações de beneficiamento e aproveitamento de agregados quando possível. Aliado ao cumprimento da legislação ambiental, e de RCC, que já existe na maior parte dos municípios, reforçando a necessidade de melhor fiscalização dos prestadores de serviço de coleta e transporte de RCC da região e buscando ferramentas que possam auxiliar o controle por parte das prefeituras, de modo a minimizar os impactos ambientais, principalmente devido a áreas de descarte irregular e acúmulo de RCC em corpos d'água.

### 6.3.1. *Atendimento aos pequenos geradores*

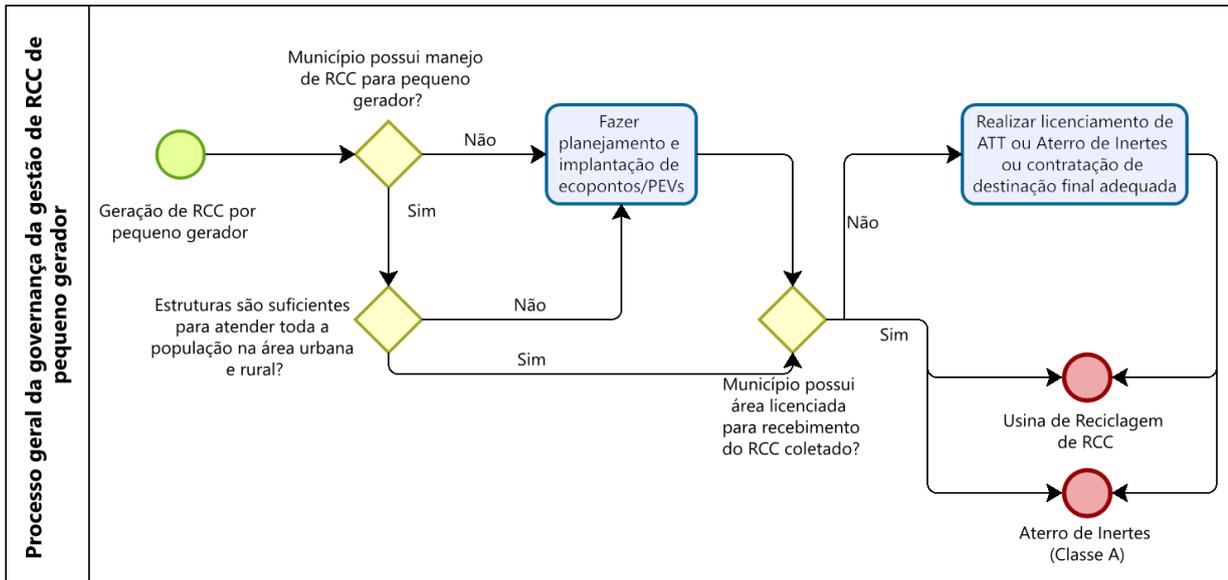
Para os municípios que ainda não apresentam práticas de gestão de RCC para o pequeno gerador ou que ainda não possuem local adequado para destinar seus RCC, é proposta a instalação de ecopontos. Os ecopontos são uma alternativa viável para atendimento aos pequenos geradores.

Nos municípios que já possuem ecopontos, cabe avaliar se o número de ecopontos atualmente atende a quantidade de RCC gerada pelos pequenos geradores,

além disso, deve-se buscar ampliar a rede de ecopontos, de modo que abranja todo território do município, inclusive alcançando áreas mais rurais, onde os pontos de descarte irregular tendem a ser mais frequentes.

Outra opção é a construção de pequenos ecopontos, como em baías ou contêineres, espaços intermediários, nas áreas já conhecidas pela Prefeitura, em que é mais comum o recolhimento destes resíduos. Sendo que, a sinalização de espaços próprios para recebimento dos RCC e orientação da população pode otimizar o trabalho da Prefeitura no recolhimento dos materiais nesses pontos específicos e minimizar os impactos do descarte irregular no ambiente.

A partir da coleta municipal, seja por coleta agendada ou através de ecopontos, o poder público municipal deve dar destinação adequada a todas as tipologias de resíduos recebidos. Os RCC devem ser triados e a parte reciclável (Classe B) encaminhada para cooperativas ou unidades de reciclagem, enquanto os resíduos Classe C e D, devem ser encaminhados para destinação conforme característica e periculosidade do material, seguindo a recomendação da CONAMA nº 307/2002. Os resíduos Classe A, podem ser destinados para áreas de reservação temporárias ou diretamente para usinas de beneficiamento ou à aterros de inertes devidamente licenciados. A Figura 45 apresenta o fluxo de RCC para os resíduos Classe A oriundos do pequeno gerador.



**Figura 45: Gerenciamento dos RCC para o pequeno gerador.**

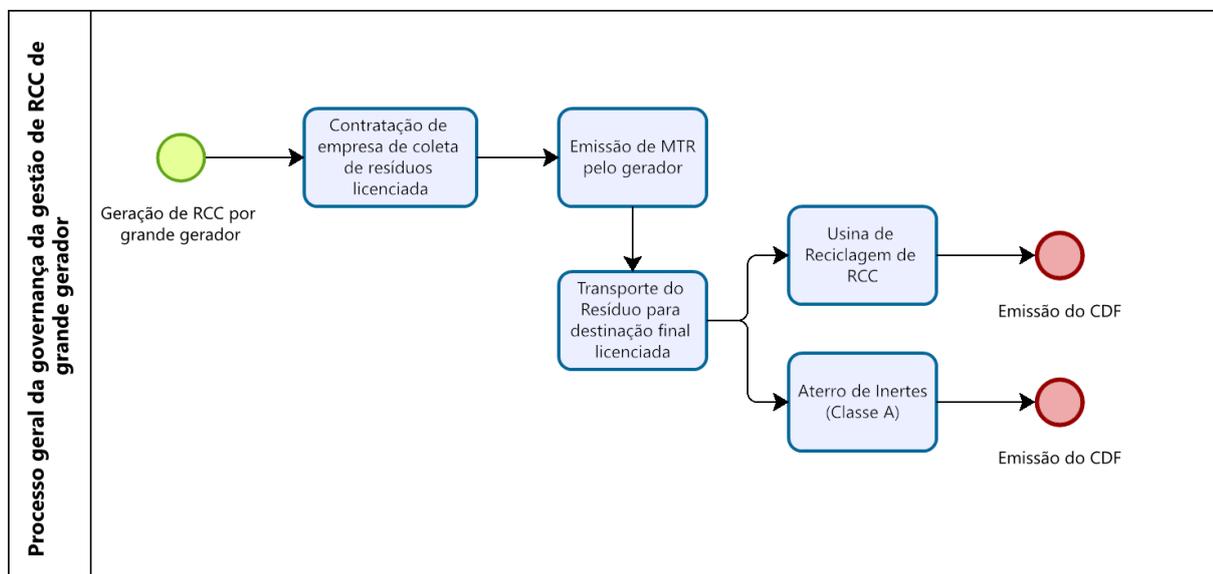
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Quando os municípios optam por operar somente áreas de reservação temporária, o material sobressalente, de tempos em tempos, deve ser destinado para beneficiamento. Porém, nem sempre é viável o envio dos RCC para outros locais, tanto do ponto de vista operacional como do ponto de vista dos custos. Quanto mais distante os centros receptores, maiores tendem a ser os gastos com transporte dos resíduos, além do próprio custo de destinação que as empresas cobram pelo metro cúbico de RCC recebido. O valor médio praticado na região de São Paulo para destinação de RCC é de R\$ 400,00 por caçamba de 4m<sup>3</sup>.

### 6.3.2. Monitoramento e Fiscalização

Os grandes geradores de RCC são responsáveis pela contratação de prestadores de serviço para coleta, transporte e destinação adequada. Cabe aos grandes geradores emitirem o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) quando na contratação dos caçambeiros, que por sua vez, devem enviar o resíduo para destinação final ambientalmente adequada, a qual deve emitir o Certificado de Destinação de Resíduos (CDR).

As prefeituras devem ser responsáveis pelo cadastramento e fiscalização dos prestadores de serviço nos municípios. Na Figura 46 está apresentada a proposição de fluxograma para gerenciamento dos RCC dos grandes geradores.



**Figura 46: Gerenciamento dos RCC para o grande gerador.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

No caso dos caçambeiros, o primeiro passo para organizar sua atuação é fazer cumprir a regulamentação nos municípios em que ela existe, melhorando a fiscalização e; propor legislação aplicável naqueles em que ela ainda não existe. A partir disso é possível solicitar a convocação dos prestadores de serviço para atualização de cadastro junto às Prefeituras, informando os municípios em que atuam.

Em um segundo momento, os municípios devem aderir a um sistema eletrônico de monitoramento, controle e fiscalização, para acompanhamento e rastreabilidade dos RCC transportados pelos caçambeiros até os locais de destinação, com emissão de comprovantes de transporte e de destinação de RCC, semelhante ao que foi adotado pelo município de São Paulo e Suzano ou adotar o Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos (SIGOR), um sistema já em operação no estado, cujos impactos vão somar positivamente nas metas de gerenciamento de RCC previstas no PERS/SP para o Estado de São Paulo e no Planares.

A adoção de um sistema eletrônico para gestão dos RCC pode ainda contribuir para integração de outras informações como quando grandes geradores precisam informar seus projetos de reformas e solicitar o envio de caçambas para retirada de resíduos; empreiteiras e construtoras que necessitam informar seus projetos, acompanhar retirada de caçambas e a destinação dos RCC, de forma a elaborar o documento de validação posterior para liberação do Habite-se, além de outras funcionalidades na fiscalização, controle de armazenamento dos locais de destinação e acompanhamento de indicadores.

#### **6.4. Governança e gestão de RSS**

No contexto da região de estudo, em relação a gestão de RSS, observa-se uma dinâmica institucional que revela que 29 municípios reportam a execução da coleta, tratamento e destinação final não apenas dos resíduos gerados por entidades municipais públicas, mas também de entidades privadas. Desse total, 9 municípios possuem instrumentos legais específicos para a cobrança desses serviços, mas apenas 7 efetivamente realizam essa cobrança. Isso indica que 22 municípios estão fornecendo o serviço sem repassar os custos aos geradores privados, implicando em uma carga financeira adicional aos orçamentos municipais sem a compensação de receitas correspondentes.

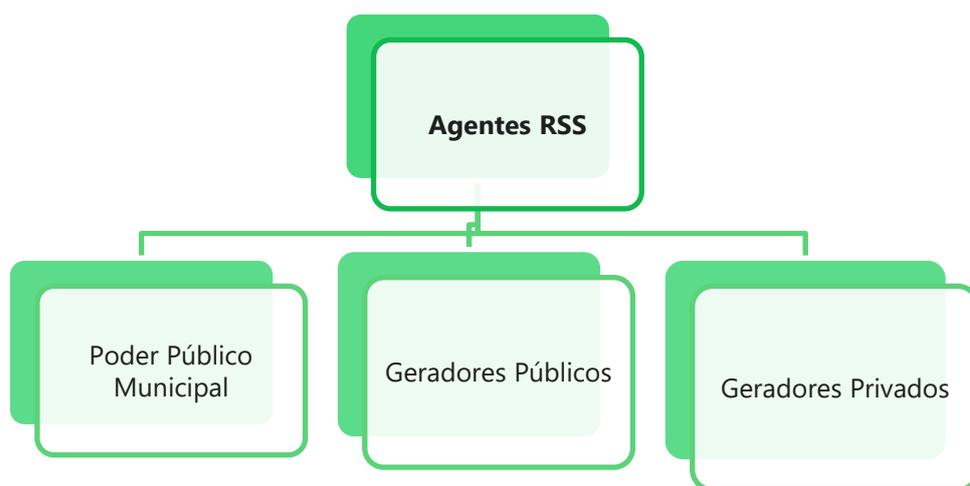
A maior parte dos municípios possuem contrato específico para a coleta, transporte, tratamento e destinação final de RSS para atender aos geradores municipais. Geralmente, a unidade de cobrança pelos serviços está relacionada ao peso de RSS coletado. A oferta desse serviço, aos geradores privados, sem a devida cobrança resulta na pressão financeira sobre os recursos públicos municipais.

No entanto, não há impedimento aos municípios disponibilizarem esses serviços aos geradores privados, desde que haja um modelo de cobrança implementado e regulamentado por lei. Um exemplo dessa prática é observado na capital do estado, onde tais serviços são fornecidos aos geradores em geral e operados por empresas

sob concessão. Para que o transporte dos RSS seja realizado, é necessário que o estabelecimento gerador esteja devidamente registrado junto à prefeitura e emita o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR). A cobrança pelo serviço é feita trimestralmente, e varia de acordo com o porte do gerador e a faixa de RSS gerada.

Portanto, destaca-se a necessidade de efetivar uma gestão eficiente e financeiramente sustentável dos RSS nos municípios da região de estudo, estabelecendo-se critérios e implementando modelos de cobrança que não somente garantam a adequada disposição dos resíduos, mas promovam a responsabilidade fiscal dos municípios envolvidos.

A Figura 47 ilustra os principais agentes envolvidos na gestão de RSS: geradores privados e públicos e o poder público municipal.



**Figura 47: Agentes envolvidos na gestão dos RSS.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Na Tabela 72 são apresentados os agentes envolvidos e suas respectivas responsabilidades na gestão dos RSS.

Tabela 72: Agentes e responsabilidades na gestão dos RSS.

Agentes	Especificação	Responsabilidades
Poder Público Municipal	Prefeituras Secretarias Responsáveis	Cabe a fiscalização quanto aos geradores (privados e públicos) visando o gerenciamento adequado dos RSS. Quando o poder público disponibiliza aos geradores privados, os serviços (sejam por meio de concessão ou outra forma de contratação) de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos RSS, deverá estar amparado por instrumentos legais, que possibilitem a efetiva cobrança pelos serviços prestados aos privados.
Geradores	Gerador Público	Responsabilidade pela elaboração e implementação do PGRSS da unidade; incluindo desde a gestão interna até o transporte externo, tratamento e destinação final dos RSS. Quando a coleta, o transporte, o tratamento e a destinação final é realizada pelo órgão público, o responsável pela unidade geradora, deve solicitar documentação de conformidade com as normas ambientais locais para os executores de tais serviços.
	Gerador Privado	Responsabilidade pela elaboração e implementação do PGRSS da unidade; incluindo desde a gestão interna até o transporte externo, tratamento e destinação final dos resíduos de forma ambientalmente adequada. As atividades podem ser realizadas por fornecedores terceirizados, desde que devidamente licenciados e autorizados para as atividades contratadas. Entretanto, o gerador permanece como responsável por todas as etapas do gerenciamento, mesmo com a contratação de uma empresa especializada.

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Na etapa de diagnóstico, apresentou-se um levantamento dos contratos e seus respectivos aditivos relacionados aos serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos RSS, com base em pesquisa nos portais eletrônicos das prefeituras. Esse estudo apontou uma variação significativa nos valores cobrados, atribuída a uma série de fatores determinantes, tais como: volume de resíduos gerados, distância de transporte entre o local de coleta e tratamento, método utilizado na desinfecção dos resíduos, além de outros elementos que influenciam os custos operacionais.

Para facilitar a compreensão dessa variação de preços, a análise focou no custo associado ao peso dos resíduos e à distância percorrida, calculado em reais por

tonelada por quilômetro (R\$/t/km). Neste contexto, identificou-se uma faixa de preços que varia entre R\$ 27,17 até R\$ 227,89 por tonelada por quilômetro.

A análise dos contratos desses serviços destaca uma oportunidade para os municípios em termos de eficiência operacional e economia financeira. A variação nos custos dos serviços, influenciada pelos fatores citados, sugere que a adoção de uma abordagem colaborativa entre os municípios para a contratação desses serviços poderá oferecer benefícios substanciais, como um ganho de escala, com custos mais baixos por unidade de serviço.

A economia de escala não apenas reduziria os custos diretos associados ao tratamento e à disposição final dos resíduos, como ainda, otimizaria a utilização da infraestrutura existente, desde veículos de coleta até instalações de tratamento, maximizando a eficiência operacional. Com a centralização da contratação dos serviços, para uma região mais ampla, é possível planejar melhor a localização das infraestruturas de tratamento e disposição final, minimizando o impacto ambiental e os custos de transporte, promovendo soluções inovadoras e sustentáveis para o manejo dos RSS.

A contratação em conjunto, seja como consórcio, gestão compartilhada, ou outra modalidade, permite uma negociação mais robusta e competitiva com os prestadores de serviços, podendo apresentar um cenário mais favorável em termos contratuais para os municípios envolvidos, incluindo melhores preços, e a possibilidade de estabelecer padrões de serviços mais altos e garantias mais amplas no que diz respeito às conformidades ambientais.

## 7. PROPOSIÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA RSU

### 7.1. Objetivos da avaliação das rotas tecnológicas

Este Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê não tem o intuito de ser, sobrepor ou substituir eventuais análises de viabilidade técnica e econômicas específicas que embasarão as contratações ou concessões dos serviços para cada um dos arranjos que assim o desejarem. Trata-se, outrossim, de uma modelagem estratégica que antecede a etapa de contratação.

A principal característica dessa análise estratégica é a de conseguir auxiliar na concepção das melhores soluções e na priorização entre projetos de forma aderente à fase de planejamento de longo prazo. Isso é especialmente relevante para este Plano que envolve a gestão de RSU dos próximos 20 anos para nada menos que 42 municípios e 20 milhões de habitantes. É justamente na etapa estratégica que se pode avaliar e comparar diferentes alternativas de projetos e investimentos de forma integrada, auferindo a capacidade de cada solução (cada RT e configuração de arranjo) em atingir as metas setoriais.

Para melhor contextualizar a etapa de planejamento atual no ciclo de estruturação de propostas de investimento em infraestrutura, faz-se referência às cinco etapas preconizadas pelo Modelo de Cinco Dimensões - M5D editado pelo Governo Federal (Ministério da Economia, 2022). O M5D se organiza nas seguintes dimensões de estruturação de projetos: Estratégica, Econômica, Comercial, Financeira e Gerencial. A Dimensão Estratégica apresenta a justificativa para a intervenção, identificando o problema a ser endereçado, estabelecendo o escopo e os limites do projeto, seus objetivos, resumindo os riscos e oportunidades socioambientais e identificando os principais resultados esperados. No paralelo da gestão de RSU, trata-se do alinhamento às metas do PLANARES e do PERS-SP, além das metas dos próprios planos municipais, como o de São Paulo e de Guarulhos.

Já a Dimensão Econômica deve apresentar uma ampla gama de opções para solucionar o problema, optando pela alternativa que mais agrega valor para a sociedade como um todo. Essa etapa se instrumentaliza por meio da análise socioeconômica de custo-benefício (ACB), na qual os impactos socioeconômicos e ambientais positivos e negativos são elencados e, sempre que possível, monetizados. A ACB Indicativa ou estratégica, se alinha a esta dimensão, auxiliando no design dos projetos e na priorização entre projetos na fase de planejamento de longo prazo. Esta é a etapa que se alinha com o presente Plano Regional de Gestão de RSU, na qual avalia-se o fluxo de benefícios e custos socioeconômicos ao longo do ciclo de vida do projeto.

A Dimensão Comercial, sequencialmente, deve demonstrar a viabilidade comercial do projeto escolhido pela ACB como o de maior viabilidade. É nessa etapa que se dá a alocação de riscos entre as partes envolvidas (setor público e privado, concedente, usuários etc.) e que se desenham as estruturas contratuais que serão capazes de entregar, de forma prática, a solução escolhida. Essa fase deve trazer a melhor estratégia de execução, seja via contratação, concessão, parceria ou outro. Um Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) ou outro estudo técnico específico de viabilidade se alinha a esta dimensão, provendo informações detalhadas sobre a solução técnica, os custos e o cronograma de implementação do projeto. Esta etapa supera, portanto, os objetivos deste Plano de RSU.

Ainda segundo o M5D, a quarta é a Dimensão Financeira, que apresenta a equação financeira do projeto, demonstrando a viabilidade em termos de custos de investimento e de operação que serão financiáveis com os recursos do projeto. Avalia-se nessa etapa o fluxo de receitas e despesas pormenorizados na etapa anterior, ao longo do ciclo de vida do projeto.

Por fim, a Dimensão Gerencial é a última etapa da estruturação dos projetos de investimento. É nela que se descreve a instituição e equipe responsável pelo projeto, demonstrando suas qualificações e experiência, a adequação da governança, e

apresentando planos para entrega, gerenciamento de riscos, partes interessadas e realização de benefícios.

O uso do M5D para a concepção e apresentação de projetos de infraestrutura traz robustez ao processo, pois permite uma análise abrangente e multidimensional das propostas de investimento. Ao estruturar os projetos nas dimensões Estratégica, Econômica, Comercial, Financeira e Gerencial, o M5D garante que todos os aspectos relevantes para a decisão de investir e para a qualidade da contratação, execução e operação do empreendimento sejam exauridos. A abordagem contribui para a estruturação de projetos maduros, consistentes e com maior probabilidade de sucesso na entrega dos resultados esperados.

A descrição das cinco dimensões permite contextualizar a etapa atual da estruturação da gestão integrada dos resíduos sólidos nos municípios da área de estudo na segunda dimensão. Nessa, faz-se uso de dados paramétricos de custos e estimativas preliminares de demanda para computar indicadores de viabilidade socioeconômica. Isso possibilita embasar a tomada de decisão acerca das próximas fases do planejamento, orientando a seleção eficiente entre alternativas de infraestrutura ao qualificar conflitos de escolha inerentes. A título de exemplo:

- Compensaria adotar a tecnologia de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, sabendo-se que disso decorre uma redução da geração de energia elétrica nos aterros sanitários que assim recuperam o biogás?

Respondendo a essas questões, o projeto que emerge da fase de design e segue para as demais fases (estruturação, orçamento e implementação) estará maduro e robusto, o que é prelúdio de sucesso em sua trajetória rumo à entrega dos resultados esperados. No âmbito deste Plano Regional, objetiva-se cumprir com essa etapa de análise estratégica, permitindo avaliar, comparar e priorizar diferentes alternativas de projetos de forma integrada e orientada pela maximização do retorno socioeconômico.

## 7.2. Definição e simulação das rotas tecnológicas

### 7.2.1. Ferramenta de Simulação

Exatamente no contexto da avaliação estratégica das rotas tecnológicas, destacam-se dois estudos recentes que desenvolveram ferramentas de simulação de rotas tecnológicas. Ambos foram produzidos pelo Governo Federal, motivados pela revisão do Marco Legal do Saneamento Básico. Uma vez que este diploma legal introduziu diretrizes para a prestação regionalizada de serviços, as ferramentas foram desenvolvidas visando melhorar a capacidade de avaliação da viabilidade econômica e técnica dos municípios.

O "Metodologia para Modelagem de Projetos de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos em Arranjos Regionais" foi financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e pelo Ministério da Economia do Brasil, e teve o propósito de desenvolver uma metodologia para a modelagem de projetos de manejo de resíduos sólidos urbanos em arranjos regionais (Pezco Economics, RPG & REINFRA, 2022). O estudo abordou a regionalização otimizada para todas as regiões do Brasil, permitindo a avaliação de pré-viabilidade de consórcios existentes e novos consórcios a serem formados.

A intenção de fornecer uma ferramenta que auxiliasse municípios e consórcios na tomada de decisões sobre a gestão de RSU foi embasada na integração de aspectos técnicos e financeiros. Para tanto, foi elaborada ferramenta em Excel com simulação de diferentes rotas tecnológicas para a gestão de RSU, considerando as faixas populacionais como princípio para a definição da complexidade das rotas. A ferramenta foi projetada para ser flexível e adaptável às realidades locais, incorporando premissas técnicas e financeiras ajustáveis.

São simuláveis rotas de i) coleta domiciliar de resíduos não recicláveis; ii) coleta de resíduos recicláveis secos; e iii) transporte e disposição dos resíduos não recicláveis em aterros sanitários para municípios com população inferior a 30 mil habitantes. Para

municípios com população entre 30 e 250 mil habitantes, as rotas incluem: iv) coleta diferenciada de resíduos recicláveis e orgânicos de grandes geradores; v) transporte, unidades de triagem para resíduos recicláveis secos, e disposição dos rejeitos em aterros sanitários. Já para municípios com população entre 250 e 1 milhão de habitantes, inclui-se: vi) tratamentos via compostagem ou biodigestão; e vii) possibilidade de aproveitamento energético do gás em algumas regiões. Por fim, para municípios com população superior a 1 milhão de habitantes: viii) tratamentos térmicos.

Outro estudo, denominado "Ferramenta de Rotas e Custos: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos", foi desenvolvida pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH no âmbito do projeto para a proteção do clima na Gestão de Resíduos, denominado ProteGEEr, fruto da cooperação técnica entre o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) com a Agência Alemã (GIZ), com apoio da Universidade Técnica de Braunschweig (GIZ, 2021). De forma similar à ferramenta desenvolvida no âmbito do PNUD (Pezco Economics, RPG & REINFRA, 2022), a "Ferramenta de Rotas e Custos" também proporciona uma visão sistêmica das rotas tecnológicas que podem ser implementadas em projetos em desenvolvimento no país, sendo adaptáveis aos arranjos regionais legalmente constituídos e aplicáveis em diferentes escalas populacionais, servindo como importante referência para o planejamento e execução de estratégias eficazes de manejo de RSU.

A ferramenta permite simular diversas combinações entre as seguintes tecnologias:

- Coleta de Resíduos Mistos: Coleta de resíduos não segregados.
- Coleta Seletiva de Recicláveis: Coleta de materiais recicláveis secos.
- Coleta Seletiva de Orgânicos: Coleta separada de resíduos orgânicos.
- Triagem Manual de Recicláveis: Separação manual dos materiais recicláveis dos resíduos secos oriundos da coleta seletiva de recicláveis.

- Triagem Mecanizada de Recicláveis: Separação mecanizada dos materiais recicláveis dos resíduos secos oriundos da coleta seletiva de recicláveis.
- Triagem Mecanizada e Mistos: Separação dos materiais recicláveis dos resíduos mistos.
- Aterro Sanitário: Disposição dos rejeitos e resíduos orgânicos em aterro sanitário. Dependendo do porte do aterro, pode-se aproveitar o biogás gerado para a produção de energia elétrica.
- Produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR): Processamento dos rejeitos para a produção de CDR.
- Compostagem: Tratamento dos resíduos orgânicos coletados seletivamente para a produção de composto de alta qualidade.
- Compostagem e Biodigestão Anaeróbia: Tratamento dos resíduos orgânicos para a produção de composto e biogás. O biogás pode ser utilizado para a produção de energia elétrica ou biometano.
- Tratamento Mecânico e Biológico (TMB): Triagem mecanizada seguida de tratamento biológico para a fração orgânica.
- Incineração (Mass-Burning): Queima dos rejeitos para a geração de energia elétrica.

A principal vantagem de uso da Ferramenta de Rotas e Custos é a obtenção do balanço de massa pormenorizado de cada uma das rotas simuladas, bem como da estimativa de seus custos financeiros associados. O balanço de massa é fruto da composição das rotas tecnológicas de manejo de RSU, que a depender da combinação entre as tecnologias escolhidas, retorna os quantitativos de resíduos, subprodutos e rejeitos. Importante destacar que como dados de entrada, tem-se a gravimetria detalhada dos RSU que compõe a RT. Com esse insumo detalhado, a ferramenta gera respostas também detalhadas acerca do balanço de massa, pormenorizando as frações que foram desviadas do aterro sanitário, que foram biodigeridas e se tornaram composto, as saídas em termos de produção de energia elétrica e também a recuperação dos resíduos recicláveis de papel e papelão, plástico filme, plásticos rígidos, vidros, metais ferrosos e metais não ferrosos.

Utilizou-se como principal referencial para a modelagem das RT deste Plano, portanto, a "Ferramenta de Rotas e Custos" (GIZ, 2021), porém adaptando-a para a

simulação dos arranjos almejados e, principalmente, atualizando-a com valores referenciais atuais (2024) específicos para o Estado de São Paulo. Quando pertinente, valores ligeiramente mais atualizados foram trazidos do estudo do PNUD (Pezco Economics, RPG & REINFRA, 2022).

Uma segunda vantagem da "Ferramenta de Rotas e Custos" (GIZ, 2021) é a flexibilidade em ajustar parâmetros de eficiência das tecnologias componentes das rotas. Utilizou-se, no mais das vezes, os parâmetros de referência da ferramenta, mas os modificados são aqui destacados. Os seguintes, inclusive, são de grande repercussão das RT simuladas: a fração de recuperação de recicláveis na triagem manual de resíduos secos é de 55%; na triagem mecanizada de resíduos secos é de 50%; já na triagem mecanizada de resíduos mistos é de 40%.

Uma segunda componente da "Ferramenta de Rotas e Custos" estima os custos de investimentos (Capex) e os custos de manutenção e operação (Opex) das tecnologias escolhidas, permitindo uma análise preliminar da sustentabilidade econômica da rota tecnológica. Com base em valores paramétricos de custos e de eficiência de cada tecnologia, a ferramenta calcula o custo total da rota tecnológica. Uma vez que os custos são estimados por etapas da rota, é possível obter os resultados para a coleta de RSU e para o tratamento/disposição final.

A decomposição dos investimentos necessários (Capex) se dá na métrica de tonelada anual de RSU para cada tecnologia específica (triagem manual de recicláveis, triagem mecanizada, produção de CDR por tratamento mecânico ou mecânico-biológico, biodigestão anaeróbia, compostagem e incineração) com base em cinco faixas de escala volumétrica que contém equipamentos e sua montagem, instalações civis e utilidades, terreno e outros gastos de instalação como serviços de engenharia e licenciamento. Cada uma das faixas de escala, para cada tecnologia, apresenta resultados distintos que respeitam a capacidade modular de cada solução.

Além dos investimentos, a "Ferramenta de Rotas e Custos" também calcula os custos operacionais (Opex) para cada uma dessas tecnologias, tanto em termos absolutos (milhões de R\$/ano) quanto por tonelada de RSU processada. Essa avaliação considera os gastos previstos com pessoal, com energia elétrica, com manutenção, com consumíveis e com serviços de terceiros.

Uma importante adaptação realizada na ferramenta é referente à inclusão da opção tecnológica de gaseificação. Trata-se de tecnologia de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio de processo termoquímico que converte resíduos em gás de síntese (*syngas*), composto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H<sub>2</sub>). Este processo ocorre em temperaturas muito elevadas (geralmente entre 700°C a 1.500°C) e sob condições subestequiométricas, ou seja, com uma quantidade de oxigênio inferior à necessária para a combustão completa dos resíduos.

A entrada do processo de gaseificação não é de resíduo propriamente dito, mas sim de CDR, no qual a matéria orgânica deve ser reduzida em conteúdo de umidade para o limite de 18%. Esse processo requer a biossecagem, que é favorecida em termos de custos operacionais pelo uso parcial do próprio gás gerado. Após a entrada dos resíduos no gaseificador, inicia-se seu aquecimento, na ausência de oxigênio, o que se enquadra como processo de pirólise, no qual há decomposição térmica dos materiais orgânicos em gases voláteis, alcatrões e carvão vegetal. Uma quantidade controlada de oxigênio (ar, vapor d'água, oxigênio ou outra mistura de gases) é introduzida no processo para, mantendo-o no ponto prévio da combustão, promover a oxidação parcial do carvão vegetal e dos gases voláteis, gerando calor necessário para sustentar o processo. Dessa forma, ocorre a redução, na qual os produtos da oxidação reagem com o carvão vegetal e outros componentes, produzindo o gás de síntese.

O principal produto da gaseificação é o gás de síntese, que pode ser utilizado para geração de energia, produção de combustíveis líquidos ou como matéria-prima para a indústria química. Além do *syngas*, o processo também gera subprodutos como

cinzas e alcatrões, que precisam ser tratados adequadamente para minimizar impactos ambientais.

A gaseificação é um processo de tratamento relativamente similar ao da pirólise, que também é termoquímico. As principais diferenças, no entanto, são uma temperatura mais elevada e com uso de uma quantidade controlada de oxigênio na gaseificação, enquanto a pirólise ocorre na ausência total de oxigênio e a temperaturas inferiores. Com isso, a gaseificação produz principalmente gás de síntese, enquanto a pirólise produz uma mistura de gases, líquidos (óleo) e sólidos (carvão).

### 7.2.2. *Premissas Chave na simulação das RT*

Esclarecem-se aqui algumas premissas metodológicas fundamentais acerca da simulação das RT. As informações de linha de base para cada um dos municípios, que ilustram a situação atual da gestão de RSU, foram obtidas pelos informes ao SNIS do ano de 2021. Estes são os mesmos dados analisados no Diagnóstico do presente Plano, assim como são os dados utilizados como ponto de partida para os cenários apresentados anteriormente. Os arranjos municipais são simulados como unidades únicas de gestão, e para tanto têm seus dados de entrada ponderados (no mais das vezes, pela quantidade de RSU gerado).

Como se trata de um estudo de característica estratégica, não há indicação de localidade específica, dentro dos arranjos, para as plantas de tratamento simuladas nas RT. Claramente, os arranjos devem buscar as áreas mais adequadas dentro das possibilidades levantadas por este estudo, conforme ilustrou o Capítulo 4. De preferência, os centros de tratamento devem se localizar o mais próximo possível aos aterros sanitários, reduzindo assim os custos de transporte dos rejeitos. Para fins de simplificação, as simulações pressupõem exatamente isso: não há custo significativo para o transporte de rejeitos das plantas de tratamento até os aterros sanitários.

Também para fins de simplificação, pressupõe-se que há a implantação de uma única planta de cada tecnologia por arranjo ou por município com solução individual.

Na realidade, claramente, podem ser instaladas várias plantas, desde que haja escala de trabalho para tal. Nota-se que o município de São Paulo, sozinho, tem escala para acomodar diversas plantas de tratamento. Para este atípico caso, é previsivelmente ineficiente concentrar os tratamentos em um local único, dadas as dificuldades de se transportar resíduos através da mancha urbana mais adensada do país. Já para os demais municípios, tanto os que apresentam soluções consorciadas como isoladas, grosso modo se pode prever de uma a duas plantas por tecnologia.

Ainda sobre as escalas típicas de cada tecnologia, tem-se aqui outro pressuposto importante da análise: impõe-se o respeito aos limites mínimos de viabilidade das tecnologias. Nem todo arranjo tem porte suficiente para comportar soluções como a incineração, por exemplo. Além disso, devido aos parâmetros de entrada da ferramenta utilizada, é possível identificar qual o grau de escala que cada arranjo obtém com cada tecnologia simulada em cada RT. Esses resultados são apresentados de 1 a 5, sendo que 1 é a menor escala tecnologicamente possível para a dada tecnologia, e 5 é a escala máxima. Essa informação pode ser útil para embasar as próximas etapas da estruturação dos projetos.

O horizonte temporal de operação das Rotas Tecnológicas é de 20 anos, compatível dessa forma com o horizonte desde Plano e com o ciclo típico de concessões na área de gestão de resíduos sólidos.

A modelagem também incorpora, para a disposição final dos rejeitos, a utilização dos aterros sanitários atualmente em operação. Não há, em nenhuma RT, a proposição explícita de novos aterros sanitários. Essa premissa é adotada com base nos próprios objetivos da gestão de RSU: de acordo com as metas estabelecidas, deve-se promover ativamente a redução da massa que segue para a destinação final sem ser antes tratada e recuperada.

Por fim, um último pressuposto condiz com a impossibilidade de se ter triagem manual dos resíduos coletados pela coleta mista (indiferenciada). Embora existam

experiências nacionais que apliquem esse sistema, as implicações em saúde dos triadores não valida a prática. A única triagem possível para os resíduos da coleta mista é, portanto, a mecanizada. Isso posto, destaca-se que a última etapa da triagem mecanizada é justamente a separação manual, mas que ocorre com o resíduo já pré-triado e totalmente descaracterizado em relação ao que chega diretamente da coleta indiferenciada.

### 7.2.3. Rotas Tecnológicas Analisadas

No Capítulo 7.2.3 são apresentadas as rotas tecnológicas avaliadas: a primeira perfaz a linha de base para as demais (são os cenários já abordados); enquanto as outras nove rotas analisam a adição de complexidade e de diferentes tecnologias. A lógica que orienta a composição das rotas é, portanto, a de complexidade. Desta forma, inicia-se apenas com a proposição de melhorias para a RT atual, seguindo do incremento cumulativo de novas tecnologias. Importante frisar que em todas as RT contemplam incremento nas taxas de coleta seletiva, como é melhor-descrito na sequência.

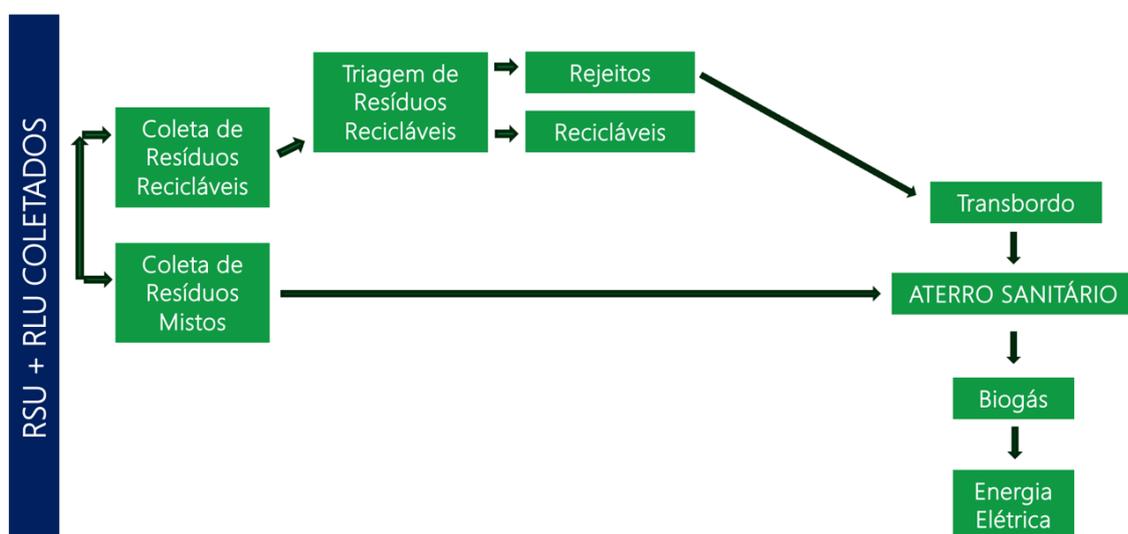
#### 7.2.3.1. RT *Contrafactual* (linha de base)

Com base nos resultados tendenciais dos cenários de cada uma das propostas de arranjos para os municípios da área de estudo, e também para cada um dos municípios com soluções individuais, traça-se aqui uma rota tecnológica de linha de base: conforme o nome sugere, é a RT que simula a continuidade dos serviços tal como prestados na atualidade. Ou seja, pressupõe-se que não há adoção de modificações na RT atual pelos próximos 20 anos.

Essa RT embute todos os pressupostos do cenário tendencial abordado nos capítulos anteriores, com a única distinção de se já considerar o valor reduzido de custo da disposição final em aterro sanitário (10% menor do que o valor de referência), simulando assim o ganho de escala para as soluções consorciadas. Tal como descrito

no Capítulo 3, essa simulação pressupõe a manutenção da cobertura e efetividade da coleta seletiva, mas amplia para 100% a cobertura da coleta indiferenciada. Ou seja, toda a população abrangida é atendida.

Importante salientar que todos os resultados das demais RT representam a diferença, ou seja, o incremental para esse cenário. Afinal, as opções de RT devem se comparar a esta, que é a opção de nada fazer (equivalente, portanto, ao cenário base descrito na análise de custo benefício). A Figura 48 traz o desenho esquemático da RT Contrafactual, ou seja, a linha de base frente a qual todos os demais resultados serão comparados.



**Figura 48: RT Contrafactual (linha de base).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.2.3.2. RT de melhorias na coleta seletiva

A primeira das alternativas à RT atual é a simulação de melhorias em seu fluxo. Trata-se, a rigor, da manutenção da RT *per se*, haja vista a manutenção do emprego das mesmas tecnologias. Inicia-se com duas formas de coleta: a coleta indiferenciada de mistos e a coleta seletiva de recicláveis, ou resíduos secos. O resultado da coleta indiferenciada segue - sem adição de etapas de tratamento - diretamente para a destinação final (passando ou não por estação de transbordo, a depender da

configuração do arranjo ou da localização do município com solução individual). Já o resultado da coleta seletiva tem como destino as cooperativas de triagem de resíduos, que segregam o material aproveitável dos rejeitos.

O que diferencia essa RT da linha de base, no entanto, é a abrangência e a forma com a qual a coleta seletiva é realizada. Primeiramente, pressupõe-se um incremento da abrangência da coleta seletiva em ao menos 7% por arranjo e por município com solução individual. Para os casos de Salesópolis e Santa Izabel, que detém índices de 20,10% e 10,50% de coleta seletiva, respectivamente, pressupõe-se a continuidade de tal sucesso. Já para os demais municípios, cresce-se a abrangência da coleta seletiva atual para se ter, ao fim, 7% de coleta de secos sobre a quantidade total disponibilizada para a coleta formal (ou seja, já líquido do que os catadores autônomos coletaram informalmente, pois esses resíduos não compõe a RT).

Conforme relatório Diagnóstico do presente Plano, sabe-se que a coleta seletiva porta-a-porta é muito custosa e pouco eficiente. Com base no histórico do SNIS para os 42 municípios componentes do PGIRS-AT, desvenda-se que a produtividade média de um caminhão baú de coleta seletiva é de apenas 225 t/ano. Não é à toa que o valor de referência para o custo da coleta seletiva é de R\$ 450/t, valor três vezes superior ao da coleta convencional.

Compreende-se, então, que insistir na proposição de uma solução que já enfrenta esse nível de dificuldade não é auspicioso. Por outro lado, é imperativo realizar o incremento da coleta seletiva formal, haja vista os pífios resultados em termos de recuperação de materiais. Há, ainda, um agravante de alta relevância que cerca o papel da coleta seletiva formal: sua interação com a coleta informal.

Quanto mais se investe na coleta formal por meio da prestação do serviço na mecânica de coleta porta-a-porta, executada por uma empresa privada ou autarquia municipal, maior é a chance de se reduzir a quantidade de material reciclável disponibilizado para coleta via coletores autônomos, pois as áreas de atuação podem

se sobrepor. Por outro lado, as cooperativas e triadores organizados que (geralmente) contam com algum apoio do poder público, acabam por receber o tanto o material coletado formalmente quanto informalmente, por meio de catadores autônomos. Os valores direcionados para o apoio das cooperativas, no entanto, tende a ser uma fração do que é direcionado para a coleta seletiva formal.

Não se está sugerindo que a coleta seletiva informal - da forma como ocorre atualmente - seja simplesmente incentivada, mas sim se sugere a implementação de estratégias de inclusão, de formalização e de regramento mínimo dos coletores autônomos. Enquanto essa estratégia é pormenorizada no Capítulo 0, cabe aqui descrever os pressupostos para essa RT tecnológica:

- Apenas 25% do incremento da coleta seletiva é realizado na mecânica porta-a-porta, principalmente visando consolidar rotas atuais e atender locais nos quais há grande densidade habitacional e não há coleta autônoma. O custo de referência para essa coleta é de R\$ 450/t.
- O restante do incremento da coleta seletiva (75%) se dá de formas alternativas à coleta porta-a-porta, fazendo uso de pontos de entrega voluntária (PEVs) e de catadores autônomos "formalizados". O custo de referência para essa coleta é de 25% do custo da coleta porta-a-porta, espelhando a maior eficiência econômica que pode ser efetivada por meio dos métodos alternativos.

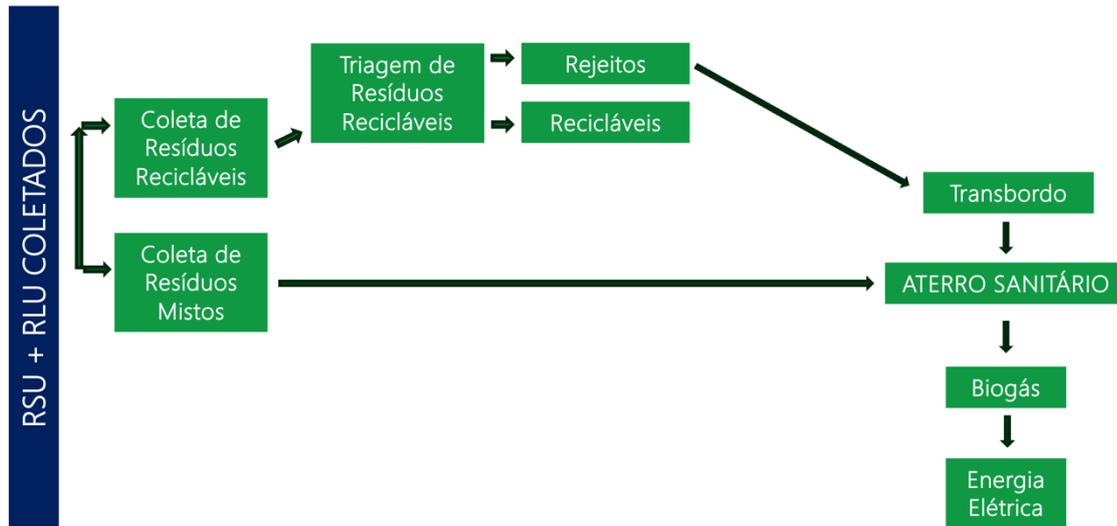
Pressupõe-se, para fins de estimativas quantitativas, que metade da coleta alternativa de recicláveis se dê pelos catadores autônomos "formalizados". A eficiência da coleta autônoma foi estimada (conforme apresentação no Capítulo 3) em 13,38 toneladas de material por ano. A formalização desses trabalhadores deve aumentar a eficiência da atividade, pois pressupõe-se que haja oferta de capacitação e treinamento, equipamentos mais adequados (carrinhos ergonômicos com melhor sistema de rodagem e maior capacidade de carga), rotas otimizadas, implementação

de registros das coletas por meio de aplicativos móveis, dentre outros (além, claro, de equipamentos de proteção individual para garantir a segurança e a saúde dos catadores). A oferta de infraestruturas adequadas de apoio para a triagem e o armazenamento dos materiais coletados é também fundamental. Com base nesse arrazoado, adota-se a premissa de que haja um incremento de 1,5 vezes mais resíduos por catador formalizado.

De forma análoga, adota-se a premissa de que a outra metade da coleta seletiva alternativa se dê via a implantação e operação de pontos de entrega voluntária (PEV) de resíduos recicláveis, devidamente localizados em locais estratégicos (alta densidade populacional e de congregação de pessoas, tais como nas proximidades de escolas, postos de saúde, mercados e outros). Considera-se, então, que cada PEV tenha uma capacidade de 2,5 mil litros, o que equivale a aproximadamente 0,3125 toneladas (haja vista que a densidade média dos resíduos mistos recicláveis fica entre 100 e 150 kg/m<sup>3</sup>). Caso a coleta dos resíduos depositados nos PEVs ocorra 1,5 vezes por semana, sua capacidade anual unitária passa a ser de recolhimento de 24,44 toneladas.

Compreende-se que as modificações propostas por essa RT são tão essenciais que passam a fazer parte dos pressupostos de todas as demais RT simuladas. Ou seja, todas as RT subsequentes mantêm os mesmos pressupostos desta.

A Figura 49 apresenta a RT de melhorias na coleta seletiva. Enquanto as opções tecnológicas ilustradas são as mesmas, há modificação na fração da coleta seletiva, que sobe para ao menos 7%; e aprimoramento na forma da coleta seletiva, mais eficiente e menos custosa. Realizam-se, então, as simulações desta RT de forma a gerar os resultados incrementais à linha de base, ou seja, em contraste com a RT que simula a continuidade sem modificação dos padrões atuais.



**Figura 49: RT de melhorias na coleta seletiva (igual à atual).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

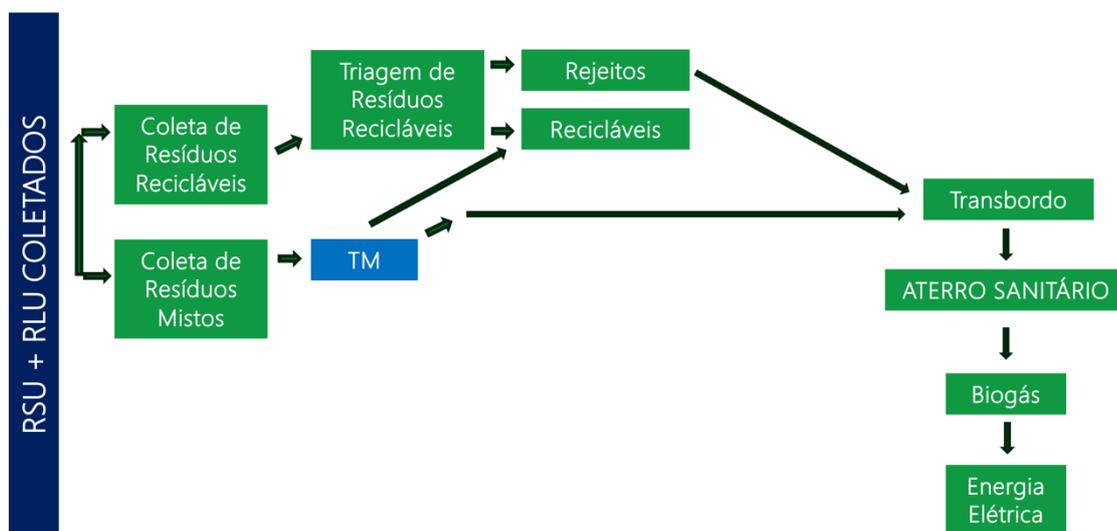
A diferença que RT promove se desdobra em maiores taxas de recuperação dos materiais recicláveis, reduzindo a quantidade destes que é disposto em aterro sanitário. Ruma-se, nesse sentido, para as metas estabelecidas pelos planos setoriais estratégicos. Uma das quantificações que emerge dessa RT é a quantidade de triadores de material reciclável que precisam ser incorporados. De forma análoga, pode-se estimar a quantidade adicional de PEVs e de caminhões coletores que se fazem necessários. A receita obtida com a comercialização dos recicláveis é tida como acessória, independente de quem dela se aproprie.

### 7.2.3.3. RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão

A segunda rota tecnológica estudada contempla a adição da triagem mecanizada de resíduos mistos, sem biodigestão. Importante reforçar que essa RT mantém os pressupostos da primeira alternativa, quais sejam: incremento na fração da coleta seletiva (que passa a ser de pelo menos 7%) e aprimoramento na forma da coleta seletiva, mais eficiente e menos custosa. Adota-se, conservadoramente, o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, sendo que os demais 20% seguem o fluxo atual com destino ao aterro sanitário.

Nota-se que o objetivo da triagem mecanizada (TM) é a segregação exclusiva da fração reciclável que se faz presente na coleta indiferenciada. Para tanto, a adição dessa forma de triagem considera tanto o papel da catação autônoma quanto o incremento na taxa de coleta seletiva, que reduzem os recicláveis disponíveis na coleta de mistos. Mesmo com o balanço de massa considerando essa redução, a quantidade de materiais recicláveis que ainda permanece na coleta de mistos é muito expressiva - e teria como destino, não fosse a adição da triagem mecanizada, o aterro sanitário.

A Figura 50 apresenta a adição da tecnologia de triagem mecanizada de resíduos mistos, identificada pela cor azul. Nela, os recicláveis que são triados com sucesso (respeitando-se o grau de eficiência de 40%) seguem para a reciclagem efetiva; os rejeitos, incluindo os resíduos orgânicos, seguem para a destinação final em aterro sanitário (requerendo ou não o uso de estações de transbordo, a depender do arranjo e da localização dos aterros).



**Figura 50: RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Essa RT, da mesma forma que a RT anterior, promove o incremento (significativo) nas taxas de recuperação dos materiais recicláveis. Pode-se contabilizar, então, a quantidade de triadores de material reciclável, a quantidade adicional de PEVs e de

caminhões coletores que se fazem necessários. Aumentam-se, também, as receitas acessórias.

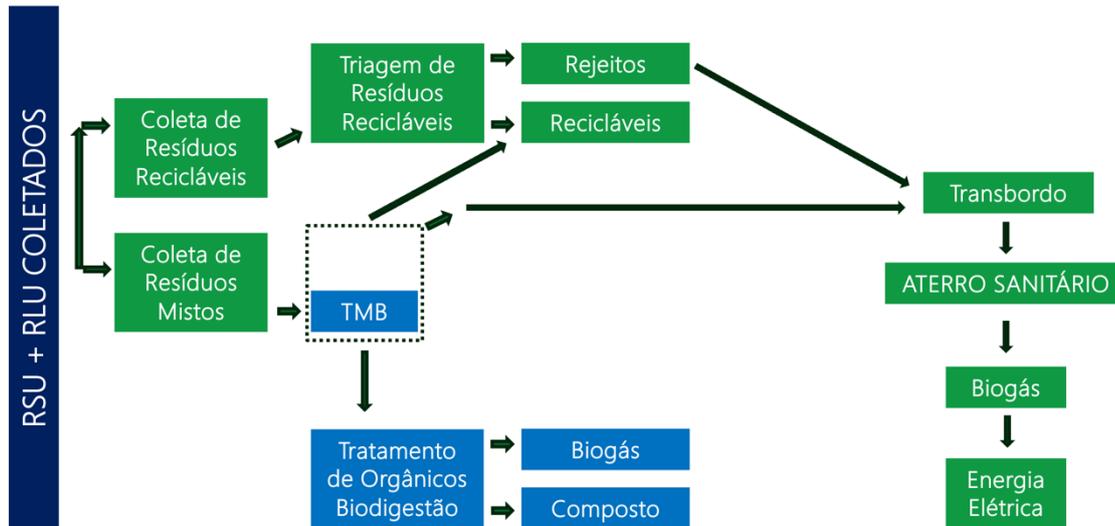
#### 7.2.3.4. RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão

A terceira RT simulada é similar à segunda e parte do mesmo pressuposto de partida: mantém-se o incremento de ao menos 7% na fração da coleta seletiva e aprimoramento na forma da coleta seletiva, mais eficiente e menos custosa. Também como a RT anterior, mantém-se o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, sendo que os demais 20% seguem o fluxo atual com destino ao aterro sanitário.

A triagem mecânica de mistos, no entanto, passa a incluir a segregação da fração orgânica (TMB). Esta fração orgânica segregada passa a ser insumo para o processo de biodigestão (tratamento anaeróbico, ou seja, sem a presença de oxigênio), que gera como produtos o biogás e o biodigestato. Assume-se que o primeiro é utilizado como combustível de motores que transformam a energia mecânica em elétrica, de forma análoga à que ocorre com o biogás captado e aproveitado dos aterros sanitários. A energia elétrica, comercializada, compõe uma das receitas acessórias.

Já o digestato, que é a matéria orgânica decomposta pelo biodigestor, gera um composto que se assume como não nobre. Ou seja, não é adequado para aplicações em cultivos de consumo primário. Todavia, pode ser utilizado para aplicação no solo (cultivo de milho, soja, florestamento etc.) ou mesmo como cobertura de aterro sanitário. Não se prevê, dadas as condições atuais de mercado, a comercialização desse subproduto.

A Figura 51 ilustra, nos blocos azuis, a adição da TMB e do tratamento de orgânicos via biodigestor. Da mesma forma que na RT anterior, a fração reciclável segregada pela triagem mecanizada segue para a reciclagem, enquanto os rejeitos seguem para a destinação final em aterro sanitário.



**Figura 51: RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

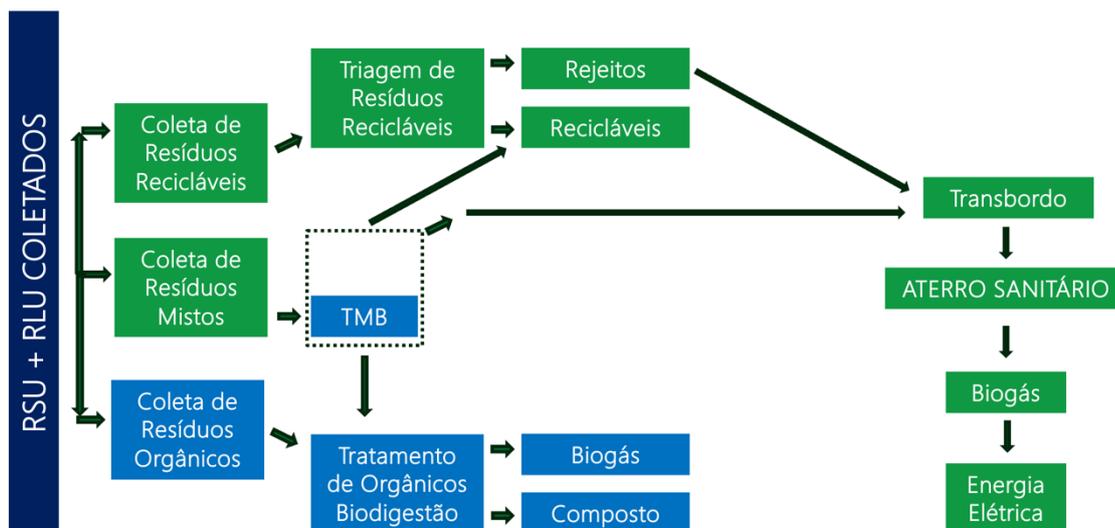
Uma vez que essa RT contempla o tratamento de parte da fração orgânica, tem-se adicionalmente às quantidades estimadas de triadores de material reciclável, quantidade adicional de PEVs e de caminhões coletores; as estimativas de ciclagem de matéria orgânica e de quantidade de energia elétrica gerada. Aumentam-se, novamente, as receitas acessórias por meio da comercialização da energia, sob o pressuposto de que o digestato terá aproveitamento não remunerado.

### 7.2.3.5. RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos

Esta RT dá um passo além da anterior ao simular a adição de uma nova fração orgânica no processo de biodigestão. Trata-se da simulação da coleta exclusiva de resíduos orgânicos oriundos de grandes geradores desse material, como feiras livres, mercados, supermercados, hipermercados e atacadões, hotéis, restaurantes e hospitais.

Pressupõe-se que uma coleta exclusiva de orgânicos, voltada para estes grandes geradores, possa desviar 20% do total da fração orgânica disponibilizada para coleta formal. Como destino dessa fração orgânica coletada de forma exclusiva, tem-se o próprio biodigestor, que não apenas recebe o insumo da TMB, como dessa coleta.

Essa RT mantém os pressupostos das anteriores, a saber: incremento na fração da coleta seletiva; aprimoramento na forma da coleta seletiva; desvio de 80% da coleta de mistos para a TMB. A Figura 52 representa a adição da coleta exclusiva de orgânicos e como esta etapa se complementa às demais. Essa RT, portanto, adiciona uma etapa à RT anterior.



**Figura 52: RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A figura acima ilustra, nos blocos azuis, a adição da coleta ao TMB e ao tratamento de orgânicos via biodogestor. Da mesma forma que na RT anterior, a fração reciclável segregada pela triagem mecanizada segue para a reciclagem, enquanto os rejeitos seguem para a destinação final em aterro sanitário.

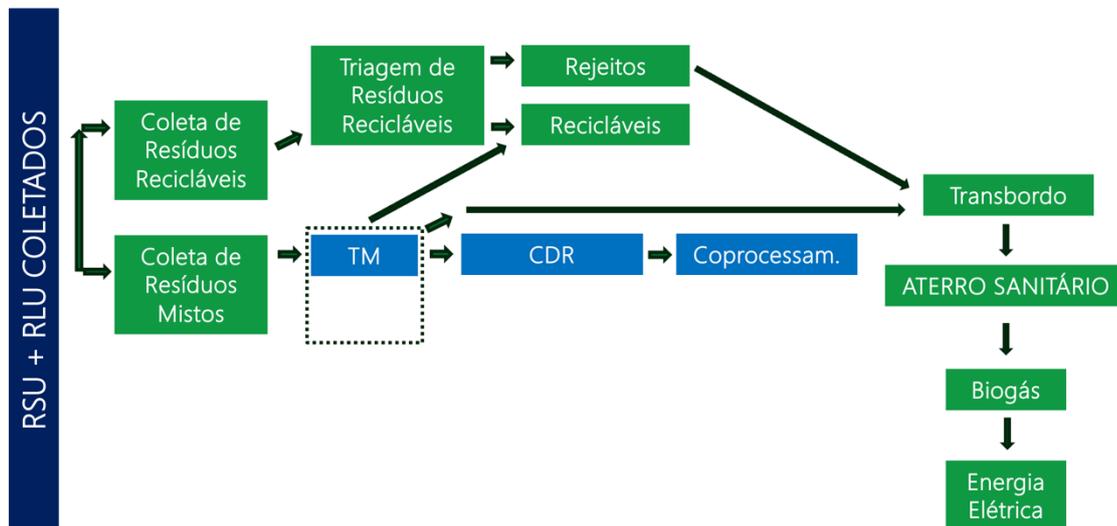
### 7.2.3.6. RT com geração de CDR, sem biodigestão

Esta RT agrega uma nova etapa de tratamento aos resíduos mistos, e é aqui simulada sem a adição da coleta de orgânicos e sem o tratamento destes resíduos. A próxima RT volta a contemplar o tratamento dos orgânicos via biodigestor.

Nesta, 80% dos proventos da coleta indiferenciada (coleta de mistos) seguem para a triagem mecanizada, na qual a fração reciclável é encaminhada para a

reciclagem. A fração que não pôde ser reciclada (incluindo a fração orgânica e rejeitos) e seguiria para disposição final em aterro sanitário, é desviada como insumo do processo de geração de combustível derivado de resíduos (CDR). Como observado nos capítulos precedentes, todos os municípios da área de estudo têm cimenteiras localizadas nas proximidades que conseguem (potencialmente) absorver este combustível, substituindo de seu processo produtivo a queima de combustíveis fósseis (co-processamento).

O processo de geração de CDR gera uma parcela de rejeitos, pois nem todos os resíduos que entram como insumo apresentam poder calorífico (notadamente os resíduos minerais). Estes rejeitos, enfim, seguem para o aterro sanitário. Importante ressaltar que essa RT mantém os pressupostos das anteriores, a saber: incremento na fração da coleta seletiva; aprimoramento na forma da coleta seletiva; desvio de 80% da coleta de mistos para a triagem mecanizada (e conseqüente manutenção de 20% da coleta de mistos tendo como destino o aterro sanitário). Os blocos azuis da Figura 53 identificam a adição do CDR e do envio deste combustível para co-processamento.

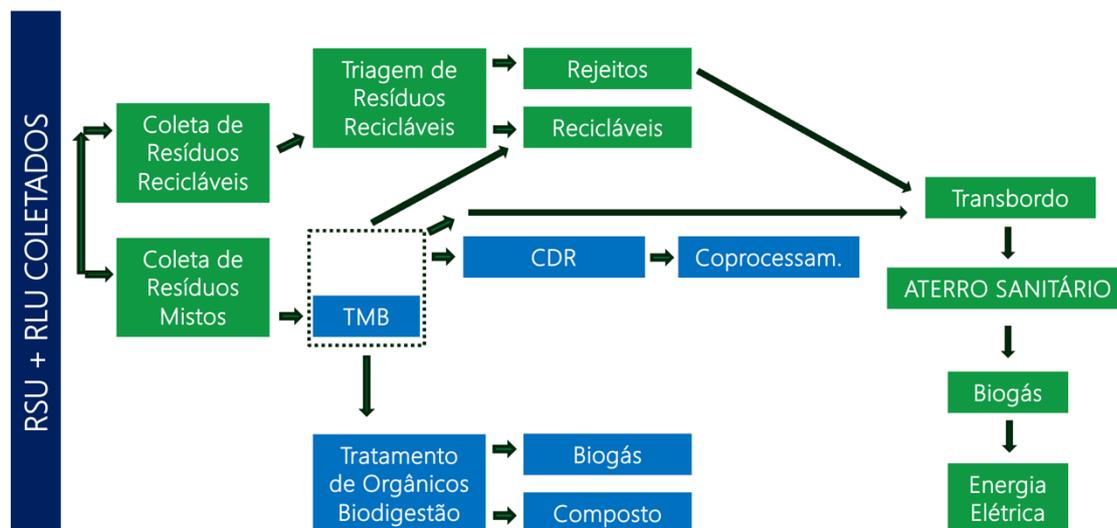


**Figura 53: RT com geração de CDR, sem biodigestão.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.2.3.7. RT com geração de CDR, com biodigestão

Esta sexta variação de RT explora a adição da segregação de orgânicos no processo de triagem mecanizada (TMB), bem como simula o tratamento dessa fração em biodigestor. Todos os demais pressupostos da RT anterior (RT com geração de CDR, sem biodigestão) são mantidos. A Figura 54 apresenta esta variação.



**Figura 54: RT com geração de CDR, com biodigestão.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

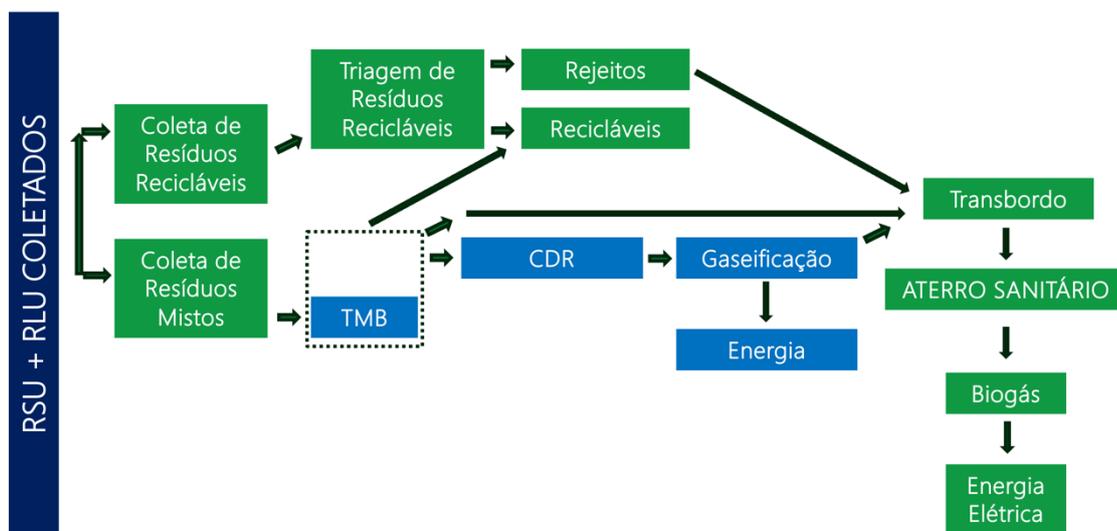
### 7.2.3.8. RT com gaseificação

A sétima das RT passa a agregar uma opção de tratamento térmico dos resíduos: a gaseificação. Conforme descrito no início deste capítulo, o insumo do processo de gaseificação é o CDR, sendo que neste a fração orgânica precisa ter passado pelo processo de biossecagem, de forma a reduzir sua umidade.

A RT segue as premissas de base das demais, ou seja, considera que 80% dos proventos da coleta indiferenciada (coleta de mistos) seguem para a triagem mecanizada, na qual a fração reciclável é encaminhada para a reciclagem. A fração que não pôde ser reciclada é desviada para geração de CDR que, ao invés de ser enviado para co-processamento em cimenteiras, é insumo para o processo de gaseificação. Como subproduto, tem-se cinzas que seguem para o aterro sanitário e gás, que é

queimado para a geração de energia elétrica. Geram-se também emissões atmosféricas, que serão consideradas na análise socioeconômica de custo-benefício.

Os blocos azuis da Figura 55 identificam a adição do CDR e da subsequente gaseificação. Tal como as demais, essa RT conta com o incremento na fração da coleta seletiva (mínimo de 7%) e com o aprimoramento na forma da coleta seletiva.



**Figura 55: RT com gaseificação.**

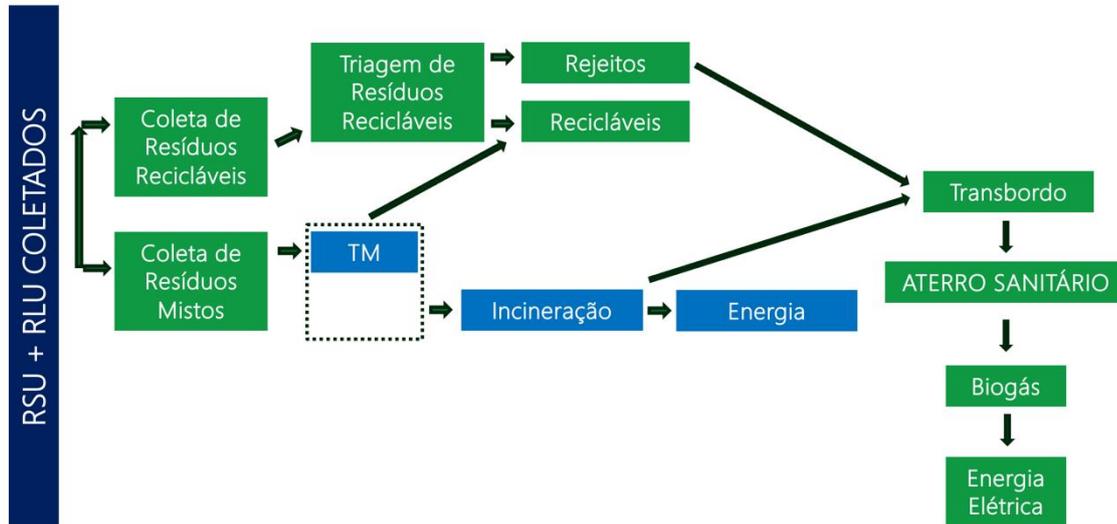
Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.2.3.9. RT com incineração, sem biodigestão

As duas últimas RT simuladas incluem o processo de tratamento térmico por incineração (tecnologia de *mass-burning*). A diferença entre esta e a próxima é a inclusão ou não do aproveitamento da fração orgânica via biodigestão (a RT atual desconsidera a biodigestão).

Novamente, mantém-se o incremento de ao menos 7% na fração da coleta seletiva e o aprimoramento na forma da coleta seletiva. Tal como nas demais RTs, pressupõe-se que 80% da coleta de mistos tem como destino a triagem mecanizada (TM). Nessa triagem, os recicláveis são segregados e enviados para a reciclagem, enquanto os rejeitos são enviados para a incineração. Deste processo, tem-se a geração de cinzas que seguem para o aterro sanitário, e energia elétrica. Geram-se

também emissões atmosféricas, que serão consideradas na análise socioeconômica de custo-benefício. A Figura 56 apresenta, nos blocos azuis, a incineração como parte desta RT.

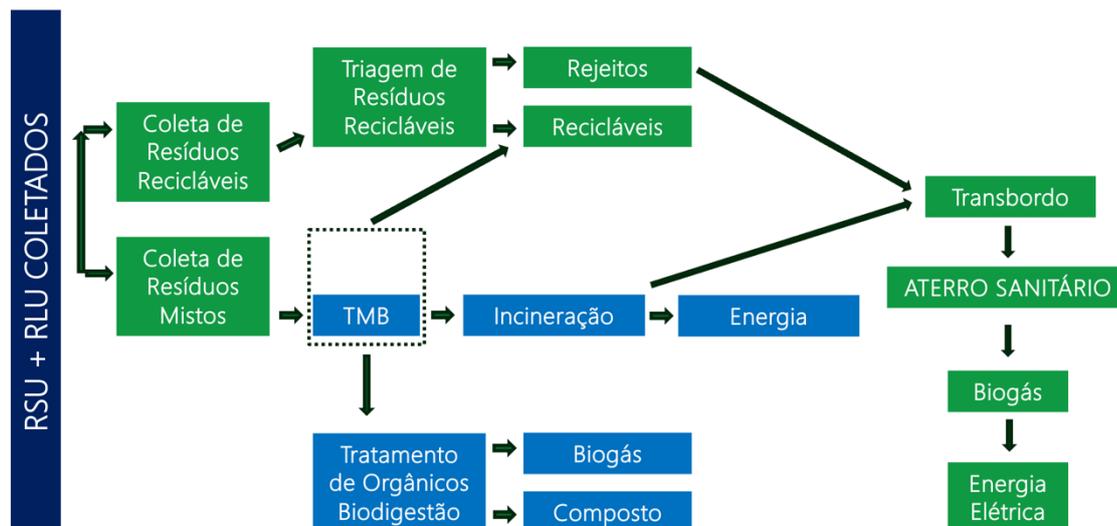


**Figura 56: RT com incineração, sem biodigestão.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.2.3.10. RT com incineração, com biodigestão

A última das RT simuladas também apresenta o tratamento térmico por incineração, mas dessa vez incluindo a TMB e o aproveitamento da fração orgânica via biodigestão. Assim como antes, mantém-se o incremento na fração da coleta seletiva e o aprimoramento na forma da coleta seletiva. A triagem da coleta dos mistos segrega os recicláveis, que são segregados e enviados para a reciclagem. A fração orgânica é segregada e enviada para biodigestão. Já os rejeitos são enviados para a incineração, processo do qual se produzem cinzas e energia elétrica. Geram-se também emissões atmosféricas, que serão consideradas na análise socioeconômica de custo-benefício. A Figura 57 ilustra essa RT.



**Figura 57: RT com incineração, com biodigestão.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 7.3. Modelagem Econômico-Financeira

### 7.3.1. Óticas complementares, mas distintas, de análise

O objetivo do presente subcapítulo é apresentar a distinção entre as duas óticas complementares de análise utilizadas para a avaliação das rotas tecnológicas. A uma delas denomina-se ótica financeira, e a outra socioeconômica. A avaliação de viabilidade financeira compara receitas e despesas sob a ótica do promotor do projeto (mesmo que público), limitando a análise a valores de mercado. Esta avaliação é importante para mensurar os investimentos necessários e apontar a eventual cobertura dos custos a partir da geração de receitas acessórias.

Já a avaliação de viabilidade socioeconômica (ACB) considera os custos a preços sociais, inclui benefícios intangíveis e contabiliza externalidades (positivas ou negativas). Embora ninguém compre ou venda melhores condições de saúde ou acréscimos na qualidade de vida, estes são precisamente os elementos que devem ser maximizados na tomada de decisão de investimentos de interesse público. Conforme apresentou-se no início deste capítulo, garantir que as rotas tecnológicas selecionadas sejam as que entregam a maior relação de benefício-custo para a sociedade brasileira

é um aspecto fundamental para a estruturação de projetos de investimento de sucesso. Trata-se, explicitamente, da segunda dimensão abordada pelo Modelo de Cinco Dimensões (BRASIL, 2022): a dimensão econômica.

Muito embora avaliações socioeconômicas e financeiras comparem custos e benefícios em termos de valor presente, o fazem sobre premissas muito distintas, como apresenta-se na Tabela 73.

*Tabela 73: Diferença entre avaliações de viabilidade socioeconômica e financeira.*

Avaliação	Detalhamento
<b>Avaliação de viabilidade financeira</b>	Comparam-se receitas e despesas sob a ótica do promotor do projeto (mesmo que público), limitando a análise a valores de mercado
	Essa avaliação é importante para mensurar os investimentos necessários e apontar a eventual cobertura dos custos a partir da geração de receitas acessórias
<b>Avaliação de viabilidade socioeconômica (ACB)</b>	Os custos são considerados a preços sociais, os benefícios incluem intangíveis, contabilizam-se externalidades (positivas ou negativas)
	Muito embora ninguém compre ou venda melhores condições de saúde, ou ainda acréscimos na qualidade de vida, estes são precisamente os elementos que devem ser maximizados na tomada de decisão de investimentos de interesse público

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Nesse contexto, compreende-se que a avaliação das Rotas Tecnológicas não pode ser realizada com base nos resultados exclusivos de sua viabilidade financeira. Afinal, a escolha da RT não pode se dar, simplesmente: i) pelo uso de uma tecnologia per se; ii) também não se pode adotar como critério a maior facilidade de execução para o titular dos serviços; ou ainda iii) o critério de menor acréscimo de despesa para os usuários (o que implica, para diversos arranjos, em nada fazer); iv) tampouco pode simplesmente se dar pelo critério de inclusão da maior fração de catadores autônomos; v) analogamente, não se pode simplesmente adotar como critério a RT que traz as maiores receitas acessórias para os prestadores dos serviços.

Cada um dos cinco critérios pontuados acima representam a escolha ideal de um grupo de atores específicos da gestão de resíduos, respectivamente: i) os fornecedores de uma dada tecnologia; ii) os titulares dos serviços; iii) os usuários pagadores; iv) os

catadores de materiais recicláveis; v) as firmas prestadoras de serviços. Nenhum pode, no entanto, preponderar quando da opção pela RT a ser adotada: esta deve ser a melhor para toda a sociedade, incluindo todos os atores individuais, mas não sobrepondo um aos outros. Essa escolha deve refletir o conjunto de atores, e por isso a ótica socioeconômica de maior acréscimo líquido de bem-estar deve preponderar.

Afinal, como demonstrou-se com clareza no Capítulo 5, a consideração de RT muito complexas e que requerem investimentos de alta monta, não necessariamente são as melhores ou as que retornam mais valor para os usuários pagadores (que são os financiadores do sistema de gestão via a cobrança de tarifas). Ao mesmo tempo, observou-se que rotas de média complexidade e com altas taxas de recuperação de recicláveis e de geração de subprodutos podem ser até menos custosas ao usuário final do que as soluções atuais, embora complexifiquem a gestão de RSU para o titular dos serviços.

Os usuários pagadores, de forma análoga, podem apresentar uma disposição a pagar maior do que está refletido na tarifa, pois incluir catadores e recuperar materiais recicláveis é uma clara preferência social (vide discussão no Capítulo 3) que não está sendo refletida na (baixa) qualidade da prestação atual dos serviços. Deve-se aplicar o princípio econômico dos preços públicos, pelo qual existe uma equivalência entre o benefício marginal do consumo do serviço e o custo marginal de longo prazo (CMLP) para sua provisão.

Esse princípio se aplica exclusivamente aos serviços básicos de interesse geral, como a gestão de RSU, e pressupõe que o benefício marginal do consumo é dado pela taxa marginal de substituição de tal consumo por outros serviços ou bens quaisquer (ABELSON, 2021; KINNAMAN, 2006; SHARP, 1973). O uso do CMLP pode ser visto como um balizador mínimo dos benefícios que a população deriva da prestação adequada, o que faz com que "aumentos" na tarifa calculados pela análise financeira não se tornem "fardos", mas sim reflexos do anseio social pela melhoria na qualidade dos serviços.

Afinal, nem sempre a tarifa praticada equivale ao CMLP - ainda mais em municípios como São Paulo que sequer cobram tarifa pela prestação dos serviços. Como regra geral, a cobrança pela prestação de um serviço público deve ser suficiente para cobrir todos os custos dos serviços prestados com eficiência a todos os usuários (acesso pleno), incluindo recursos para investimentos, remuneração adequada do capital (se concedido), e incentivos para inibição de consumo supérfluo e desperdício de recursos. No mais das vezes, no entanto, a tarifa é amplamente insuficiente para cobrir os custos da prestação, de má qualidade, quanto mais da prestação sendo realizada sob "forma ideal". A cobrança aquém do CMLP indica provisão subótima dos serviços.

Para subsidiar a tomada de decisão acerca da melhor alternativa para cada arranjo ou município com solução individual, portanto, cabe complementar as conclusões proporcionadas pela análise financeira (que demonstrará o equivalente ao custo marginal de longo prazo - CMLP de cada RT) com a ótica socioeconômica de custo-benefício, que revelará o balanço entre benefícios e custos para a sociedade.

O conceito fundamental da avaliação socioeconômica (ACB) é o de custo de oportunidade, definido como o benefício da melhor alternativa preterida, quando se precisa fazer uma escolha entre alternativas mutuamente excludentes - baseado no pressuposto de que os recursos são escassos e, portanto, a escolha de uma alternativa implica na renúncia de outra. A concessão, por vinte anos, da ampliação dos serviços de coleta seletiva na modalidade porta-a-porta junto à uma empresa prestadora assim aloca os recursos financeiros escassos que o titular dos serviços teria para formalizar catadores autônomos e ampliar a quantidade de PEVs, em um exemplo prático. O custo de oportunidade, assim, é associado à escolha de uma determinada opção em detrimento de outra, e representa o benefício que se deixa de obter.

Esse conceito pode ser mecanizado com base na abordagem microeconômica que permite aferir o impacto incremental de um dado projeto na sociedade por meio do cálculo de indicadores de viabilidade. Dessa forma, a abordagem difere de outras

avaliações de impacto econômico, como modelos de insumo-produto, por exemplo, que se propõem a avaliar os efeitos multiplicadores de um investimento nos outros setores da economia. Na abordagem microeconômica, o resultado do projeto é sempre incremental ao que teria ocorrido em sua ausência.

Na avaliação de viabilidade socioeconômica (ACB), portanto, são contabilizadas três importantes categorias de variação sobre o bem-estar:

- **Custos sociais (preços sombra):** os custos incrementais do projeto são compilados por seus valores de mercado e depois são corrigidos para preços sociais, o que permite retirar distorções de mercado, como subsídios e taxaço, e refletir o verdadeiro custo de oportunidade dos recursos utilizados. Da mesma forma, excluem-se transferências entre agentes, pois não promovem variações líquidas de bem-estar;
- **Benefícios sociais, incluindo os intangíveis:** os benefícios incrementais do projeto, mesmo intangíveis, são compilados. Muitos impactos positivos da gestão de resíduos sólidos não são transacionados a mercado, mas tem um valor significativo para a sociedade, e são assim contabilizados na ACB;
- **Externalidades, positivas ou negativas:** as externalidades são efeitos indiretos que podem impactar terceiros, mas não são refletidos nas despesas ou nos benefícios incrementais incorridos. São, portanto, considerados e crescem ou diminuem o saldo líquido de efeitos que cabem à sociedade arcar.

Ao considerar custos sociais, benefícios (incluindo intangíveis) e externalidades, é possível identificar e mitigar impactos negativos enquanto se potencializam os positivos, assegurando que todas as implicações econômicas para a sociedade sejam levadas em conta. O resultado são decisões de planejamento com maior clareza e solidez, mais informadas e (efetivamente) mais sustentáveis.

Muitas vezes, inclusive, os resultados da avaliação financeira e socioeconômica de um determinado projeto podem ser distintos. Duas situações podem tipicamente ocorrer para o caso da escolha de rotas tecnológicas para gestão de resíduos sólidos, como se coloca na Tabela 74.

Tabela 74: Possíveis divergências entre resultados da avaliação socioeconômica e financeira.

Divergência	Resultado da Avaliação Socioeconômica	Resultado da Avaliação Financeira	Encaminhamento
<b>"GAP" de Financiamento</b>	POSITIVA (benefícios sociais superam custos sociais)	NEGATIVA (despesas privadas superam receitas privadas)	Uma vez que o resultado positivo na ACB indica que há ganhos líquidos para a sociedade, estratégias de financiamento e execução devem ser traçadas para que o "gap" de financiamento seja coberto.
<b>Conflito de Interesse</b>	NEGATIVA (custos sociais superam benefícios sociais)	POSITIVA (receitas privadas superam despesas privadas)	Nesse caso, há um conflito de interesse, pois a sociedade perde com a opção, embora um ator específico ganhe. Estes casos devem ser impedidos pelos titulares dos serviços.

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

No caso da identificação de um "gap" de financiamento, algum dos atores privados pode não ter interesse na opção, uma vez que não consegue retorno positivo de seu investimento com isso. Entretanto, a sociedade como um todo ganha com a opção, o que deve motivar o desenho de uma estratégia que seja suficiente para cobrir o "gap" e executá-la. Dentre estas estratégias, estão arranjos diferentes de contratação de provisão dos serviços de coleta e tratamento de RSU, que devem contar com o trabalho devidamente formalizado e remunerado de catadores autônomos.

Já no caso da identificação de um conflito de interesse, tipicamente a empresa prestadora dos serviços ou o fornecedor de uma determinada tecnologia encontram viabilidade financeira privada para realizar a oferta dos mesmos (ou seja, há interesse privado na opção). Entretanto, em oposição à situação do "gap" de financiamento, não há viabilidade socioeconômica que justifique essa opção. Nestes casos, a sociedade

perde enquanto um ator específico ganha, o que deve ser impedido de ocorrer pelo titular dos serviços. Afinal, retomando-se a prescrição do M5D, é apenas depois da atestação da viabilidade socioeconômica que se passa para a dimensão seguinte, de arranjos de governança e alternativas de sustentabilidade financeira.

### 7.3.2. Viabilidade Técnico-Financeira

A metodologia da modelagem técnico-financeira é aqui apresentada. Dadas as metas de se atingir a plena sustentabilidade financeira na prestação de serviços<sup>9</sup>, pode-se adotar o usuário-pagador como o principal elemento de análise da viabilidade técnico-financeira, embora a modelagem seja realizada sob a ótica da prestação de serviço como um todo, não distinguindo explicitamente os atores envolvidos (poder público, prestador de serviços de coleta, prestador de serviços de destinação final, cooperativa de catadores responsável pela triagem, usuários-pagadores etc.).

O objetivo da modelagem é embasar e auxiliar os arranjos intermunicipais ora propostos na formulação e estruturação de eventuais contratos de concessão, parcerias ou outras formas de prestação dos serviços a serem firmados com a iniciativa privada, com organizações sociais sem fins lucrativos, e com organizações de catadores para a modernização e operação integrada dos serviços de gestão de resíduos sólidos, permitindo o cumprimento das metas setoriais.

Para tanto, a modelagem espelha o anseio pelo maior *Value for Money* (VfM), ou seja, pela obtenção da combinação mais vantajosa de atendimento às metas setoriais, qualidade dos serviços, atendimento aos anseios societários, menores despesas e maiores receitas acessórias. Isso envolve considerar os investimentos totais ao longo de todo o horizonte de planejamento, que é de vinte anos. Envolve, ainda, considerar as variações incrementais na prestação dos serviços atuais, de acordo com as

<sup>9</sup> Vide, além das metas do PLANARES e do PERS-SP, a edição da Norma de Referência nº 1 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), aprovada pela Resolução ANA nº 79, de 14 de junho de 2021, que estabelece as diretrizes para a cobrança pela prestação do Serviço Público de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SMRSU). Esta norma define o regime, a estrutura e os parâmetros de cobrança, além dos procedimentos e prazos para fixação, reajuste e revisões tarifárias.

necessidades de investimentos (Capex), custos operacionais e de manutenção (Opex) e de eventuais compensações pela geração de receitas acessórias.

Os resultados incrementais refletem as variações, para mais ou para menos, sobre o que já seria realizado no cenário contrafactual (modelagem de linha de base). Conforme observa-se pelos resultados dos cenários, os elementos de incerteza acompanham as modelagens, pois existe uma gama de possibilidades para a variação da população, para a quantidade (toneladas) e para o perfil (gravimetria) de resíduos gerados. Estas incertezas afetam os quantitativos das ações previstas e é inerente ao instrumento de planejamento de longo prazo.

A modelagem considera um horizonte temporal de vinte anos de operação da RT, adotando-se a premissa simplificada que todos os investimentos propostos são sujeitos ao mesmo cronograma de implementação, qual seja: 60% dispendido no ano 1 (2025) e o restante (40%) dispendido no ano 2 (2026). A operação da RT se estende, após estes dois anos de inversões, por um período de vinte anos (equivalente aos anos de 2027 a 2046).

As despesas consideradas se desdobram nas de Capex (investimentos) e de Opex (despesas operacionais e de manutenção), estas últimas subdivididas na coleta dos RSU (mista e seletiva), no tratamento e na disposição final. Estes resultados são provenientes da aplicação adaptada da "Ferramenta de Rotas e Custos" (GIZ, 2021). Uma das importantes adaptações é quanto ao item de custeio de aquisição de terreno (local para instalação das plantas) das tecnologias. Uma vez que a região da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê é coincidente com a Região Metropolitana de São Paulo, sabe-se que o valor dos terrenos é mais alto do que nas demais regiões do país, refletindo seu maior custo de oportunidade. Dessa forma, adaptou-se a ferramenta para utilização dos seguintes valores de referência: preço médio do terreno para construção de R\$ 1.250,00 por metro quadrado; preço médio de paisagismo e pavimentação em concreto de R\$ 600,00 por metro quadrado; preço médio do

concreto usinado industrial aplicado de R\$ 5.000,00 por metro cúbico; preço médio da construção de galpão industrial com piso de R\$ 1.118,33 por metro quadrado.

Também relevante foram as atualizações relativas ao custo da mão de obra, mais caro na RM Paulista que em outras regiões do país. Considerou-se: salário médio no nível gerencial de R\$ 17.500 por mês; R\$ 9.000 por mês no nível de supervisão; e R\$ 2.300 por mês no nível operacional. A remuneração de triador/operador de triagem manual é de R\$ 1.725 por mês, compatível com o salário de nível operacional dado o regime diferenciado de contratação por cooperativa. Para serviços de terceiros auxiliares, considerou-se um custo médio de R\$ 100.000,00 por mês.

Acerca dos insumos, atualizou-se o custo médio de consumo de energia elétrica para R\$ 450,00 por MWh, em linha com a Resolução Homologatória nº 3.053/2023 da ANEEL válida a partir de 04/07/2023. O custo fixo para a demanda de energia elétrica contratada industrial foi considerado equivalente a R\$ 25.000,00 por MW por mês; já o custo médio de aluguel de pá carregadeira com operador é de R\$ 20.000 por mês; e o de aluguel de outros equipamentos móveis de R\$ 100,00 por hora. Eventuais efluentes líquidos tem custo de R\$ 35,00 por metro cúbico para tratamento. O custo médio de óleo diesel para movimentação interna de resíduos é de R\$ 4,50 por litro.

A tecnologia de incineração tem custos específicos para o abatimento das emissões, quais sejam; ureia (R\$ 5,00 por quilograma), cal hidratada (R\$ 0,80 por quilograma), e carvão ativado (R\$ 30,00 por quilograma). Finalmente, o custo da tarifa média de água industrial para incineração é de R\$ 7,50 por metro cúbico.

As premissas da "Ferramenta de Rotas e Custos" (GIZ, 2021) quanto as frações de nacionalização de equipamentos de cada tecnologia; ao sobredimensionamento de projetos (de forma a lidar com incertezas); e à necessidade de áreas das unidades industriais, foram todas mantidas inalteradas. Considera-se, também, que a incineração tem como base tecnológica a europeia. Para a gaseificação, tecnologia não contemplada originalmente pela ferramenta, considerou-se a base tecnológica

nacional. Insumos importados tem conversão pelas seguintes taxas de câmbio: R\$ 5,50 por euro e R\$ 4,85 por dólar americano. As taxas e impostos sobre a importação de equipamentos são de 50%.

Em contraste com as despesas (saídas de caixa), estão as receitas acessórias (entradas de caixa). Estas receitas podem advir (a depender da configuração de cada RT) da comercialização de materiais recicláveis oriundos da triagem manual e da triagem mecanizada, da comercialização de energia elétrica produzida no aterro sanitário, na biodigestão, na incineração ou ainda na gaseificação, e também da comercialização do CDR. Para fins de simplificação, considerou-se apenas a energia elétrica como subproduto do tratamento dos resíduos, desconsiderando-se, portanto, a produção de biometano.

Em relação aos preços médios de venda dos itens geradores de receitas acessórias apresentados pela "Ferramenta de Rotas e Custos" (GIZ, 2021), foram atualizados os referentes aos materiais recicláveis. Considerou-se o preço médio líquido de venda de papel/papelão como sendo de R\$ 550,00 por tonelada; R\$ 2.300/t para o plástico filme; R\$ 1.500/t para o plástico rígido; R\$ 150/t para o vidro; R\$ 1.000/t para os metais ferrosos; e finalmente R\$ 3.500/t para os metais não ferrosos. Os demais preços de venda tiveram seus valores mantidos de acordo com GIZ (2021), quais sejam: R\$ 108,00 por tonelada para o CDR (preço médio considerando a produção de CDR fino, comercializado a R\$ 126/t e o CDR grosso, comercializado a R\$ 90,00/t); e R\$ 175,00 por MWh para a energia elétrica gerada pelas várias tecnologias que a produzem. Não se considerou valor de comercialização para o digestato (R\$ 0,00 por tonelada).

Uma vez que a ótica de análise é a de *Value for Money*, compreende-se que as receitas acessórias abatem as despesas de investimento e operação. Trata-se de uma lógica que remete ao anseio do cidadão usuário dos serviços públicos: as receitas acessórias reduzem os custos da prestação que terão de ser repassados aos usuários via cobrança da tarifa pública. Claramente, as empresas privadas que empreenderem

processos que geram receitas acessórias, devem incorporar a lucratividade gerada pela atividade para que possam ser compensadas pelo risco incorrido e, assim, compensar o titular dos serviços com tarifas proporcionalmente inferiores. Dessa forma, conservadoramente, adota-se a premissa de que 20% do valor gerado pelas receitas acessórias é apropriado pelo seu promotor como valor agregado (suficiente para cobrir risco, custos financeiros e lucratividade). Os 80% restantes representam o abatimento das despesas da prestação de serviços.

Pressupõe-se que os demais serviços de limpeza urbana, conservação e asseio dos municípios, que não são explicitamente articulados em nenhuma das RT, sigam ocorrendo de forma inalterada em relação aos serviços atuais. Isso não quer dizer que estejam sendo efetivados, em todos os municípios, com a abrangência e com a qualidade devidas. Significa apenas que não são modelados. São, no mais, serviços indivisíveis e de natureza difusa, bem como a coleta de resíduos de serviços de saúde, execução de roçada e poda, coleta de resíduos especiais, disponibilização de PEV, dentre outros.

Uma vez que o fluxo de receitas e despesas é alocado em cada um dos 22 anos de modelagem, utiliza-se da metodologia de Fluxo de Caixa Descontado (FCD) para trazê-lo a valor presente - valor este que passa a representar o resultado agregado de todos estes anos. A metodologia do FCD utiliza, para tanto, de uma determinada taxa de juros que reflete o custo de oportunidade do capital ao longo do tempo. Utilizou-se como taxa de desconto a Taxa Social de Desconto (TSD) do Governo Federal para avaliação de projetos de investimento, de 8,5% ao ano (Ministério da Economia, 2020).

A Taxa Social de Desconto (TSD) reflete a percepção da sociedade sobre o custo de oportunidade do capital, ou seja, o valor social dos usos alternativos dos recursos investidos em um projeto de propósito público. Para calcular a TSD, foi utilizada a abordagem de eficiência, que considera a média ponderada dos custos de oportunidade de três fontes de financiamento disponíveis na economia nacional: a poupança interna, o investimento privado deslocado e a poupança externa. Esses

custos são representados, respectivamente, pela taxa de captação da poupança doméstica, pela rentabilidade real do investimento privado e pelo custo marginal do endividamento externo. A metodologia envolve a estimação de elasticidades de resposta dessas fontes a variações nas taxas de juros e a utilização de projeções macroeconômicas de médio a longo prazo.

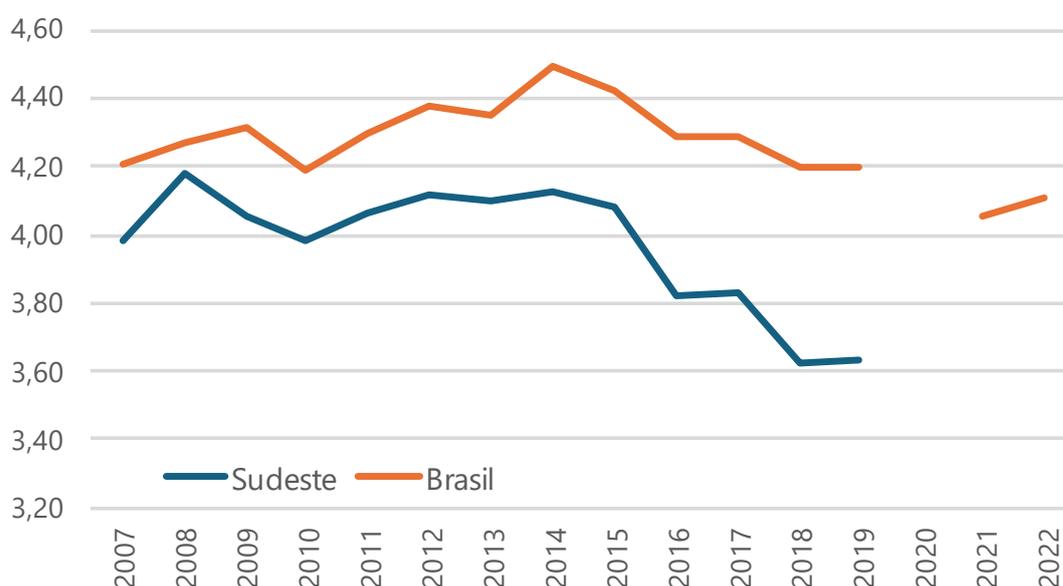
A TSD recomendada para projetos de infraestrutura a partir de 2020 é de 8,5% real ao ano, assegurando a isonomia e comparabilidade entre projetos, além de contribuir para a padronização na preparação e avaliação de projetos. Nota-se que a TSD de 8,5% é superior à taxa que espelha o custo real de financiamento do Governo Federal de prazo compatível com os 20 anos aqui simulados (com vencimento em maio de 2045), extraído do Título do Tesouro denominado "Tesouro IPCA+2045", que é de 6,30% ao ano. A TSD, ainda, é compatível (embora ligeiramente inferior) ao Retorno sobre Capital Investido (ROIC) médio no Brasil, que é de 9,02% ao ano segundo amostra de quase duas mil empresas não-financeiras no período de 2009 a 2019, excluindo empresas de porte extraordinário (CEMEC-Fipe, 2020).

A modelagem expressa todos os custos fixos e variáveis decorrentes da operação dos serviços simulados por cada RT, com todas as prerrogativas que se fazem necessárias para sua plena completude, como a aquisição de equipamentos, instalação de infraestrutura, insumos produtivos, contratação de pessoal etc., contemplando a plenitude da prestação dos serviços de gestão integrada dos resíduos sólidos.

Importante ressaltar que não se analisa, nesta modelagem estratégica, as condições de equilíbrio econômico-financeira das RT. Ou seja, não se estimam as receitas da prestação de serviços que seriam suficientes para cobrir a totalidade das despesas previstas e remunerar o capital investido. Essa análise deve ser realizada a posteriori, pois se altera conforme as estruturas de cobrança de cada município, bem como conforme as formas de contratação e a natureza jurídica dos contratados. Estas configurações implicam em diferentes recolhimentos de emolumentos, taxas, impostos e quaisquer outros vencimentos previstos pelas normativas locais. Adicionalmente, a

concessão de serviços implica na estruturação, por parte do poder concedente, de medidas de fiscalização e controle dos serviços (regulação).

As premissas adotadas não consideram as expectativas de incrementos nos níveis de eficiência na prestação de serviços, o que pode fazer com que os custos unitários se reduzam no futuro em relação aos parâmetros adotados. Existem, outrossim, evidências passadas de ganhos de eficiência, captada pela taxa decrescente de empregos por mil toneladas de RSU geridas (Figura 58).



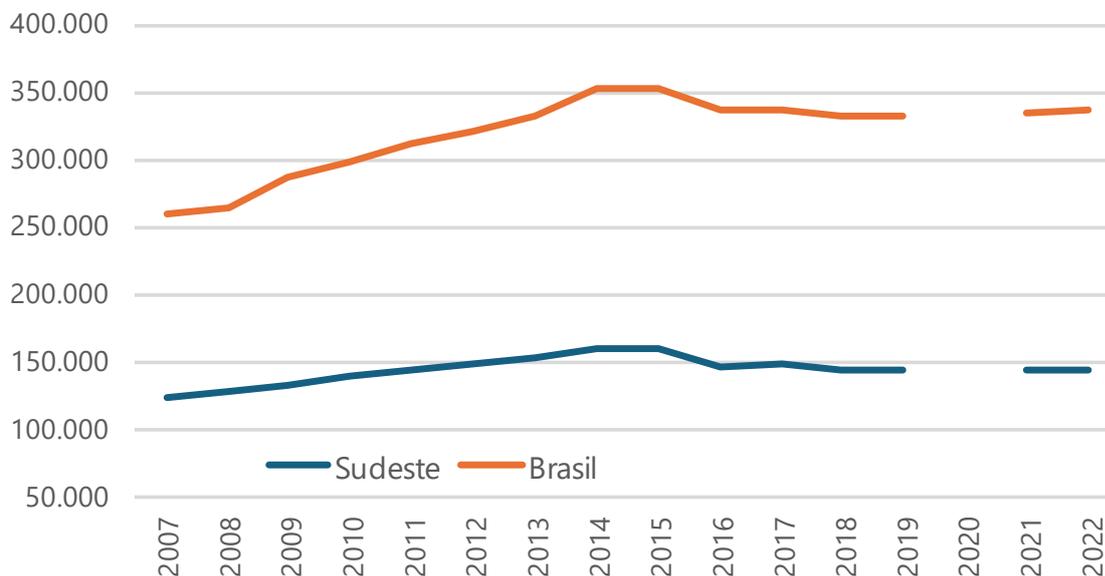
**Figura 58: Taxa de empregos por mil toneladas de RSU geradas.**

Fonte: ABRELPE (2022).

Os dados apostos na Figura 58 são compilados das publicações históricas do "Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil" da ABRELPE, e demonstram que, enquanto no ano de 2007 havia 122,65 mil empregos diretos no setor para lidar com 84,25 mil toneladas por dia de RSU (3,99 empregos por mil toneladas), em 2019 foram necessários 143,12 mil empregos para lidar com 107,99 mil toneladas por dia (3,63 empregos por mil toneladas). A queda também é observada na série histórica de dados do Brasil como um todo, incluindo a região Sudeste.

Já a Figura 59 revela que a quantidade absoluta de trabalhadores no setor aumentou ao longo dos anos, mas de forma menos intensa do que o aumento

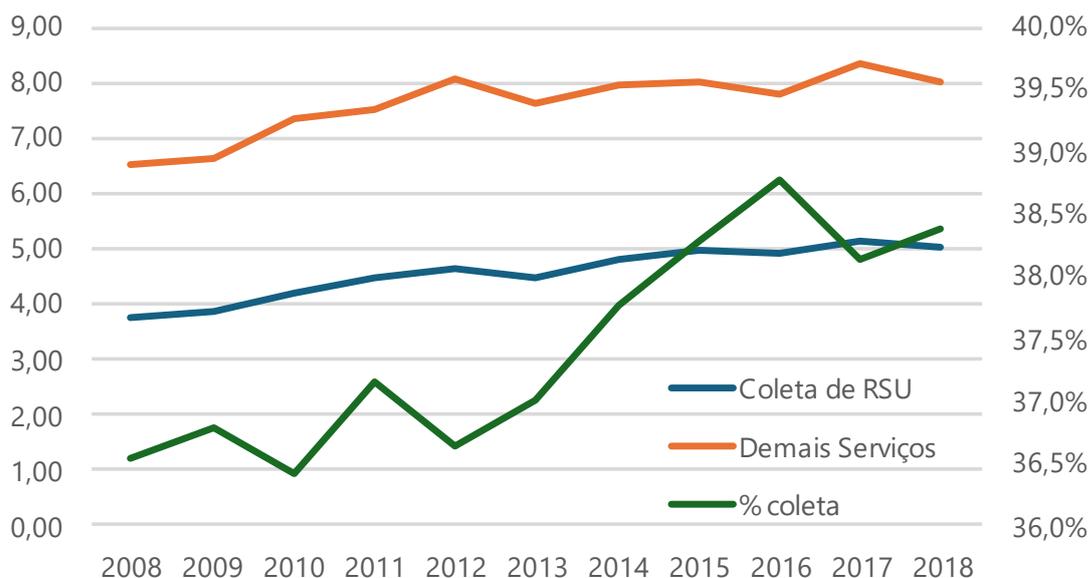
absoluto dos resíduos, revelando o ganho de produtividade média do trabalhador do setor.



**Figura 59: Empregos diretos no setor de limpeza urbana.**

Fonte: ABRELPE (2022).

Outro fator de interesse é o peso relativo dos serviços de coleta em relação ao total das despesas com a prestação dos serviços. De acordo com os dados da ABRELPE de 2018 para a região Sudeste (último ano com essa informação), a prestação dos serviços de manejo de RSU e limpeza urbana somavam R\$ 13,03 por habitante por mês. Desse valor, R\$ 5,00 (38,4%) eram referentes à coleta de RSU, e os outros R\$ 8,03 para a cobertura dos demais serviços, incluindo a disposição final. Conforme observa-se na Figura 60, a participação dos custos com os serviços de coleta subiu desde 2008 até 2018.

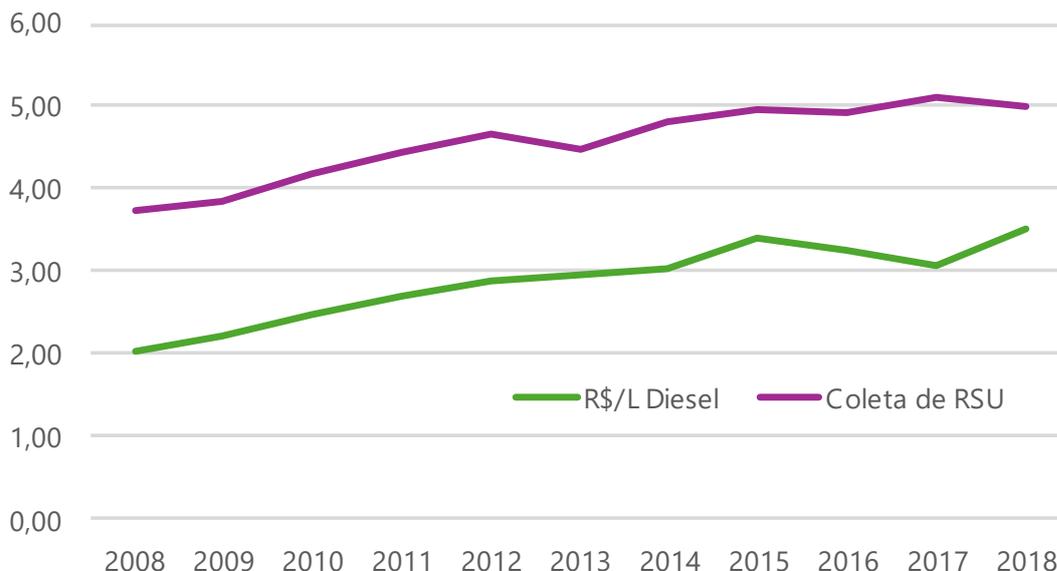


**Figura 60: Custos da prestação dos serviços na região Sudeste (R\$/hab/mês).**

Fonte: ABRELPE. (2022).

Atualizando os valores de 2018 pelo deflator implícito do produto para se obter preços de 2023, tem-se a referência de R\$ 14,82 por habitante por mês como custos dos serviços de manejo de RSU e limpeza urbana no Sudeste do País. Mais interessante é que, mantendo-se a tendência de aumento da participação dos serviços de coleta, pode-se estimar que esta represente atualmente 42,8% do total, ou seja, R\$ 6,34 hab/mês, enquanto os demais serviços custam R\$ 8,48 hab/mês.

Conforme demonstra a Figura 61, os custos de coleta estão bastante correlacionados com os custos de combustível. Ao se comparar o histórico de variação nos custos de coleta de RSU com a dos preços médios de óleo diesel no País, consultados junto à ANP (2024), entre 2008 e 2018 encontra-se um fator de correlação de 94,5%.



**Figura 61: Custos da prestação dos serviços na região Sudeste (R\$/hab/mês).**

Fonte: ABRELPE (2022) e ANP (2024).

Dado que os eventuais ganhos de produtividade dos trabalhadores no setor de RSU podem ser compensados por perdas relativas pelo acréscimo dos custos com combustível, opta-se por não considerar na modelagem nenhum dos dois. A modelagem das RT utiliza como linha de base, portanto, os resultados do cenário tendencial tal como exposto no Capítulo 3.

Para lidar de forma explícita com as diferenças de população, variação na taxa de geração per capita de resíduos e com o papel da catação informal cenarizados nas demais combinações, mas sem necessitar de um número exagerado de simulações, os resultados de uma única RT de menor complexidade (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) são simulados com as combinações máxima (combinação 6) e mínima (combinação 11).

Dessa forma, tem-se que a modelagem de viabilidade técnico-financeira para infraestruturas e investimentos oferece uma base robusta para o planejamento estratégico os arranjos intermunicipais, não apenas ao fazer uso de abrangente e moderna ferramenta de simulação, como também ao incorporar as incertezas inerentes ao longo prazo.

### 7.3.3. Avaliação Socioeconômica de Custo-benefício (ACB)

O método de análise de custo-benefício (ACB) é apropriado para a atestação da viabilidade socioeconômica. A metodologia analisa projetos sob a ótica de maximização do bem-estar social, e sob essa perspectiva, recebendo a denominação de ACB econômica ou socioeconômica (BOARDMAN *et al.*, 2018; FLORIO, MORRETTA & WILLAK, 2018; ADLER & POSNER, 1999). Como apontado por Tha e Seager (2013), o propósito da ACB é a avaliação de alterações ao bem-estar social por conta de uma proposta de mudança do status quo, no caso, pela implantação de rotas tecnológicas para aprimorar a gestão de resíduos sólidos urbanos.

Destaca-se a recente edição de "Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura - Guia ACB" do Governo Federal (BRASIL, 2022). O documento tem a intenção de equipar o serviço público federal com definições metodológicas, recomendações de abordagem de projetos e roteiro para a realização de análise de viabilidade socioeconômica. Uma vez que se trata de referencial teórico prescrito no âmbito federal, a ACB aqui realizada segue o Guia ACB e seus anexos.

Nos próximos itens, descreve-se o roteiro da análise, seguindo os passos do Guia ACB e apresentando-se as premissas para a estimativa dos custos, benefícios e externalidades, suas metodologias e técnicas de valoração, referências bibliográficas e outros aspectos metodológicos. Já nos itens subsequentes, os resultados gerais da ACB de cada RT para cada um dos arranjos intermunicipais e para os municípios com soluções individuais são apresentados. Os apêndices apresentam os resultados detalhados da ACB.

#### 7.3.3.1. Definições iniciais

Conforme prescrito pelo Guia ACB, as definições da análise devem ser apresentadas de forma clara e alinhada aos objetivos a serem alcançados. Uma vez que a elaboração da ACB no âmbito da avaliação das RT para a regionalização e avanço do

gerenciamento de resíduos sólidos urbanos se aninha ao plano aqui sendo construído, esta etapa foi concebida e apresentada nos passos anteriores a este capítulo, incluindo os cenários que articulam incertezas acerca da demanda social a ser atendida. Claramente, esta aplicação da ACB trata das mesmas RT já apresentadas, incluindo os quantitativos pertinentes de balanço de massa, custos de investimento e operação, caminhões de coleta, quantidade de catadores autônomos formalizados e tantos outros indicativos já descritos.

Importante destacar que a RT Contrafactual (linha de base) perfaz o papel de "Cenário base" trazido pelo Guia ACB, frente ao qual se faz a avaliação incremental das alternativas (as nove Rotas Tecnológicas). Reforça-se que os resultados de cada uma das nove RT são incrementais ao que ocorreria na RT Contrafactual. Uma outra definição requerida é quanto à escala espacial de análise: neste caso, trata-se dos arranjos intermunicipais propostos (aninhados sob três lógicas conformadoras - Consórcios, micro arranjos e regiões geográficas) e dos nove municípios que mantêm soluções individuais para a gestão dos RSU.

Conforme prescreve o Guia ACB (BRASIL, 2022), a avaliação de viabilidade socioeconômica também requer a configuração de uma "unidade autossuficiente de análise", pela qual estejam contemplados todos os elementos - físicos e de serviços - necessários para que o projeto cumpra com seus objetivos sociais. A conformação dessa unidade está também devidamente considerada no âmbito da definição de cada uma das nove RT simuladas e no tratamento integral dos RSU que nela adentram. Afinal, o próprio conceito adotado para a RT perfaz uma unidade autossuficiente de análise que "Inicia-se na geração dos resíduos e encerra-se com a disposição final em aterro sanitário". O balanço de massa que a Ferramenta GIZ (2021) realiza é a forma mais precisa de se garantir que, essencialmente, nenhuma tonelada de RSU que adentra a RT sai dela sem um tratamento (e subprodutos físicos, energéticos ou de emissões) ou destinação final (e subproduto energético e de emissões), todos com a devida consideração de seus custos de investimento e custos operacionais.

Outro requerimento da análise de custo-benefício é a definição de um horizonte temporal compatível com as características do projeto sendo investido e com a vida útil dos ativos subjacentes. No caso da presente aplicação, mantém-se o horizonte já utilizado na análise financeira: dois anos de implantação e vinte anos de operação (compatível, assim, com o prazo costumeiro de concessões públicas destes serviços).

Definição intrínseca a do horizonte temporal é a da taxa de desconto a ser utilizada para trazer o fluxo de custos e benefícios ao valor presente. Afinal, o amanhã detém uma utilidade menor do que o hoje, conceito que sublinha o custo de oportunidade. O valor futuro deve permitir que ao mínimo se cubra o tempo de inação entre o que se pode realizar hoje com o recurso e o que se poderá realizar amanhã caso este recurso deixe de ser utilizado hoje (custo de oportunidade). Tal como para a análise financeira, adota-se a Taxa Social de Desconto (TSD) de 8,5% ao ano, definida especificamente para as aplicações em análises custo-benefício no Brasil (BRASIL e IPEA, 2022).

A definição de objetivos claros e precisos para as opções de intervenção sendo analisadas, segundo o Guia ACB (Brasil, 2022), é parte do desenvolvimento de uma proposta assertiva de investimento. Deve-se avaliar as necessidades setoriais que podem ser atendidas pelo projeto, em conformidade com as estratégias delineadas, sendo que os objetivos da intervenção devem endereçar as necessidades de maneira ampla, focando na solução dos problemas societários e não na implementação de uma solução específica ao problema levantado. Conforme orientação do, a definição dos objetivos dever atender aos preceitos da metodologia S.M.A.R.T (Tabela 75).

Tabela 75: Aplicação da metodologia S.M.A.R.T. para a definição dos objetivos da análise socioeconômica das RT no Alto Tietê.

Característica do Objetivo	Justificativa
<b>Específicos</b> ( <i>specific</i> )	O objetivo enfoca a mudança na gestão de resíduos sólidos urbanos a partir da gestão regionalizada e adoção de novas rotas tecnológicas, contemplando a totalidade dos 42 municípios que perfazem o PGIRS-AT.
<b>Mensuráveis</b> ( <i>measurable</i> )	Indicadores objetivos e multifacetados são apresentados para cada arranjo e RT simulados, a exemplo da taxa de recuperação de materiais recicláveis, formalização de catadores, geração de energia elétrica, custos unitários e outros
<b>Atingíveis</b> ( <i>achievable</i> )	Primeiramente, a limitação das opções tecnológicas às que foram tidas como "consolidadas" pela GIZ (2021) e à gaseificação (por ter planta demonstrativa instalada na região de estudo), garantem a aderência tecnológica das RT. Também, uma vez que se considera atingível a RT que se encontra no "triângulo de gestão do projeto" (orçamento/recursos, tempo/orçamento e escopo/qualidade), observa-se que a limitação de certas tecnologias pela sua escala de aplicação responde ao que se pode atingir em cada caso
<b>Relevantes</b> ( <i>relevant</i> )	Todas as RT simuladas atendem de forma explícita aos anseios do planejamento setorial de priorizar a recuperação de resíduos antes da destinação final, fazendo uso máximo dos subprodutos disponíveis e promovendo a inclusão social dos catadores de materiais recicláveis. Nota-se que o cenário contrafactual, que tem como base o histórico de vinte anos pregressos para a região de estudo, projeta avanço praticamente nulo em relação as metas
<b>Metas temporais</b> ( <i>time-based</i> )	A simulação das RT se estende por dois anos de instalação e vinte de operação, equivalente à maior parte das concessões de prestação de serviços de resíduos. Grosso modo, as RT representam o planejamento de um ciclo na gestão de RSU na área de estudo

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Os subcapítulos 7.3.3.2 e 7.3.3.3 descrevem o tratamento dos custos, benefícios e externalidades utilizados para a realização da análise socioeconômica de custo-benefício.

### 7.3.3.2. Estimativa dos custos econômicos

Segundo o Guia ACB (BRASIL, 2022), a estimativa de custos econômicos consiste em analisar os valores totais de investimento ou implantação (Capex) e os de operação e manutenção (Opex), incluindo sua repartição ao longo do horizonte de análise. Essa estimativa já foi realizada na análise financeira, e parte das premissas da Ferramenta

GIZ (2021) ajustadas conforme o exposto nos capítulos precedentes. Cabe, na ACB, realizar a conversão dos preços de mercados do Capex e do Opex para seus preços sociais, uma vez que estes últimos corrigem as distorções encontradas nos preços de mercado. Preços sociais são aqueles que, do ponto de vista da sociedade, garantem a maximização do benefício social líquido: são os custos de oportunidade sob o princípio da eficiência alocativa.

Para a consideração de custos econômicos em detrimento a valores de mercado, utilizam-se dos fatores de conversão constantes do Catálogo de Parâmetros (BRASIL e IPEA, 2022). Fatores de conversão são definidos, por sua vez, como o quociente entre os preços sociais e de mercado (representam o coeficiente pelo qual os preços de mercado devem ser multiplicados para obter fluxos valorados a preços sociais). A Tabela 76 apresenta os fatores de conversão utilizados.

Tabela 76: Fatores de conversão utilizados para obtenção de preços sociais.

Classificação Setorial	Valor	Categorização	Perfil	Forma de Utilização
FCS - Produtos de indústrias diversas	1,0140	Comercializável	Insumo nacional	Equipamentos e montagem - Capex; Consumo de materiais - Opex
FCS - Obras de infraestrutura	0,9470	Comercializável	Insumo nacional	Infraestrutura civil e utilidades - Capex
FCS - Serviços especializados para construção	0,9890	Comercializável	Insumo nacional	Serviços especializados - Capex
FCS - Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	0,9650	Comercializável	Insumo nacional	Despesas de manutenção - Opex
FCS - Serviços jurídicos, contabilidade e consultoria	0,9800	Comercializável	Insumo nacional	Serviços especializados - Opex
FCS - Caminhões e ônibus, incl. cabines, carrocerias e reboques	0,9810	Comercializável	Insumo nacional	Veículos - Coleta
FCMO - Fator de Conversão da Mão de Obra, região Sudeste, menor qualificação	0,7371	Não comercializável	Força de trabalho	Mão de obra - Capex, Opex e Serv. Coleta
FCP - Fator de Conversão Padrão	0,9350	Não comercializável	Itens menores	Outros - Capex, Opex e Serv. Coleta
Avaliação própria: Preço social é equivalente ao preço de mercado	1,0000	Não comercializável	Itens maiores	Custo de aquisição do terreno - Capex; Consumo de energia elétrica - Opex

Fonte: Brasil e IPEA, 2022..

Como se faz notar pela Tabela 76, a aplicação dos fatores de conversão requer a categorização (abertura) do Capex e do Opex de cada uma das tecnologias componentes das RT, de forma a permitir a aplicação correta dos fatores setoriais e de mão de obra.

Como os custos operacionais com a coleta de RSU não variam significativamente entre as RT, considera-se uma divisão mais simples de sua estrutura de custos, abrangendo as categorias de mão de obra (35% do total), operação e manutenção de veículos (25% do total) e outras despesas (incluindo despesas financeiras de amortização da aquisição de veículos) com 40% do total. O Fator de conversão ponderado para os serviços de coleta monta em 0,8772, o que significa que R\$ 1,00 de custo operacional na coleta de RSU tem um equivalente social de R\$ 0,88. Nesse cálculo ponderado, grande parte da diferença está no emprego de mão de obra, cujo fator de conversão é de 0,7371 na região Sudeste (para a mão de obra de menor qualificação, como é o caso).

As tabelas abaixo (Tabela 77, Tabela 78, Tabela 79, Tabela 80, Tabela 81, Tabela 82) apresentam a abertura do Capex e Opex para as tecnologias consideradas nas RT, quais sejam: triagem manual, triagem mecanizada, produção de CDR, biodigestão, gaseificação e incineração. Ao final da fração de cada categoria de custo para cada tecnologia, é apresentado o fator de conversão ponderado, que é utilizado então na conversão do custo total para seu correspondente preço social.

*Tabela 77: Abertura de custos de instalação e operação da triagem manual.*

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Equipamentos e montagem	13,72%	Mão de obra	84,02%
Infraestrutura civil e utilidades	17,31%	Consumo de energia elétrica	0,66%
Custo de aquisição do terreno	40,70%	Despesas de manutenção	4,29%
Serviços especializados	3,10%	Serviços especializados	1,12%
Mão de obra	21,43%	Consumo de materiais	0,81%
Outros	3,74%	Outros	9,09%

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9336</b>	<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,7716</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 78: Abertura de custos de instalação e operação da triagem mecanizada.

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Equipamentos e montagem	55,89%	Mão de obra	17,60%
Infraestrutura civil e utilidades	8,09%	Consumo de energia elétrica	21,84%
Custo de aquisição do terreno	11,13%	Despesas de manutenção	26,77%
Serviços especializados	4,80%	Serviços especializados	3,76%
Mão de obra	16,10%	Consumo de materiais	20,94%
Outros	4,00%	Outros	9,09%
<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9581</b>	<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9406</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 79: Abertura de custos de instalação e operação de CDR.

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Equipamentos e montagem	60,14%	Mão de obra	13,38%
Infraestrutura civil e utilidades	10,61%	Consumo de energia elétrica	27,00%
Custo de aquisição do terreno	11,86%	Despesas de manutenção	37,47%
Serviços especializados	1,77%	Serviços especializados	0,42%
Mão de obra	11,40%	Consumo de materiais	12,64%
Outros	4,22%	Outros	9,09%
<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9699</b>	<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9475</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 80: Abertura de custos de instalação e operação da biodigestão.

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Equipamentos e montagem	30,35%	Mão de obra	15,55%
Infraestrutura civil e utilidades	18,82%	Consumo de energia elétrica	37,66%
Custo de aquisição do terreno	26,29%	Despesas de manutenção	29,07%
Serviços especializados	3,69%	Serviços especializados	2,24%
Mão de obra	14,93%	Consumo de materiais	10,72%
Outros	5,94%	Outros	4,76%
<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9508</b>	<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9469</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 81: Abertura de custos de instalação e operação da gaseificação.

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Equipamentos e montagem	57,34%	Mão de obra	24,98%
Infraestrutura civil e utilidades	26,32%	Consumo de energia elétrica	22,69%
Custo de aquisição do terreno	1,01%	Despesas de manutenção	25,63%
Serviços especializados	1,25%	Serviços especializados	13,96%
Mão de obra	9,78%	Consumo de materiais	3,65%
Outros	4,30%	Outros	9,09%
<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9654</b>	<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9172</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 82: Abertura de custos de instalação e operação da incineração.

CAPEX		OPEX	
Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Equipamentos e montagem	70,29%	Mão de obra	11,79%
Infraestrutura civil e utilidades	10,04%	Consumo de energia elétrica	0,00%
Custo de aquisição do terreno	3,70%	Despesas de manutenção	59,11%
Serviços especializados	2,01%	Serviços especializados	4,68%
Mão de obra	9,66%	Consumo de materiais	15,33%
Outros	4,30%	Outros	9,09%
<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9761</b>	<b>Fator de Conversão Ponderado</b>	<b>0,9436</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A análise das diferenças encontradas entre a triagem manual e a triagem mecanizada ilustra a lógica da consideração de preços sociais na ACB: No que diz respeito ao Capex, a triagem mecanizada apresenta um maior percentual de custos associados a equipamentos e montagem (55,89%) em comparação com a triagem manual (13,72%). Isso reflete a necessidade de maior investimento inicial em tecnologia e maquinário. Por outro lado, a triagem manual tem uma maior fração de custos relacionados à aquisição de terrenos (40,70%) e mão de obra (21,43%), indicando uma dependência maior de espaço físico e trabalho humano.

Em termos de Opex, a triagem manual tem uma fração significativamente maior de custos operacionais atribuídos à mão de obra (84,02%) em comparação com a triagem mecanizada (17,60%). Isso se deve à natureza intensiva em trabalho da triagem manual. A triagem mecanizada, por sua vez, tem maiores custos operacionais associados ao consumo de energia elétrica (21,84%) e despesas de manutenção (26,77%), refletindo a dependência de equipamentos.

Os fatores de conversão ponderados, desta forma, refletem estas diferenças entre as duas modalidades: O fator de conversão ponderado do Opex para a triagem manual é menor (0,7716) devido à maior fração de mão de obra, que possui um fator de conversão mais baixo (0,7371) em comparação com outros insumos. Para a triagem mecanizada, o fator de conversão ponderado do Opex é maior (0,9406), refletindo a menor dependência de mão de obra e maior dependência de insumos com fatores de conversão mais altos, como energia elétrica e manutenção.

Os fatores de conversão ponderados, tal como apresentados nas tabelas acima (Tabela 77, Tabela 78, Tabela 79, Tabela 80, Tabela 81, Tabela 82), são então aplicados para os custos de Capex e Opex apresentados na análise financeira, respectivamente para cada tecnologia em cada RT simulada para cada arranjo intermunicipal, bem como para cada um dos nove municípios com soluções individuais.

### 7.3.3.3. *Estimativa dos benefícios econômicos e externalidades*

Os benefícios socioeconômicos decorrem da promoção de alterações no bem-estar da população afetada pelo projeto. Eis que muitos dos benefícios não são transacionados a mercado, e inexistem, portanto, preços que podem ser consultados e utilizados para sua contabilização. Mesmo assim, estas alterações devem ser consideradas, e para tanto é necessário lançar mão de técnicas de valoração de bens e serviços de não mercado.

Ao se cumprir com o objetivo de aprimorar a gestão de RSU para os próximos vinte anos nos municípios componentes da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, ao menos quatro categorias de benefícios são gerados:

- A maior taxa de recuperação de materiais recicláveis retorna insumos produtivos que teriam de ser obtidos via matérias primas virgens.
- A formalização da atuação de catadores (tanto para a coleta como para a triagem de materiais recicláveis) promove a redução de sua notória fragilidade social.
- A biodigestão do resíduo orgânico promove a ciclagem da matéria orgânica.
- O desvio de resíduos da disposição final em aterro sanitário gera economia de áreas que seriam usadas para esse fim, bem como reduz as inconveniências da população que mora no seu entorno.

Devido à sua natureza, as externalidades não são capturadas na avaliação dos custos de implantação, de operação e manutenção, ou mesmo dos benefícios diretos do projeto. Não obstante, devem compor o rol de efeitos monetários da avaliação de viabilidade socioeconômica de forma a permitir a correta avaliação dos efeitos líquidos a serem gerados para a sociedade. A gestão de RSU gera como externalidades as emissões atmosféricas, que podem ser positivas ou negativas:

- Variações nos níveis de poluição atmosférica de âmbito local (material particulado e SO<sub>2</sub>, por exemplo) e efeito global (gases de efeito estufa).

Os benefícios diretos e as externalidades são, portanto, aferidas e devidamente incluídas no balanço monetário que embasa os indicadores da ACB. Conforme o Guia ACB (BRASIL, 2022), o pressuposto básico para a valoração de bens e serviços de não-mercado é o de custo de oportunidade: ou seja, as repercussões do que ocorreriam na ausência ou em alternativa ao bem ou serviço valorado. Os benefícios, dessa forma, devem refletir os menores custos da alternativa mais factível para a modificação da realidade sendo analisada. São aqui aplicadas diversas técnicas para quantificar e valorar os efeitos de não-mercado, subdivididas nas categorias de benefícios e externalidades acima apresentadas.

### **Benefícios sociais da reciclagem de materiais**

O aumento na taxa de recuperação de materiais recicláveis que cada RT promove (em cada arranjo intermunicipal ou município com solução individual) permite retornar ao mercado de fatores de produção os insumos produtivos que, na ausência desta recuperação, teriam de ser obtidos de forma primária, ou seja, via matérias primas virgens. Por essa lógica subjacente do custo de oportunidade, derivam-se diversos benefícios a partir deste retorno ao ciclo de produção, em oposição ao descarte "permanente" em um aterro sanitário.

Tendo como base o custo de oportunidade (ou seja, o que ocorreria na ausência da recuperação dos materiais), a reciclagem promove ao menos cinco efeitos positivos, descritos na Tabela 83 e pormenorizados na sequência.

*Tabela 83: Efeitos positivos da recuperação de materiais recicláveis.*

<b>Efeito positivo</b>	<b>Racional do custo de oportunidade</b>
<b>Redução do custo de insumos de produção</b>	Insumos de produção obtidos a partir de materiais recicláveis são menos custosos do que os equivalentes produzidos de forma primária (a partir de matéria prima virgem)
<b>Redução do consumo de energia na produção</b>	O processo de reciclagem de materiais recicláveis consome menos energia do seria consumido na produção dos equivalentes obtidos de forma primária (a partir de matéria prima virgem)
<b>Redução do consumo de água na produção</b>	O processo de reciclagem de materiais recicláveis consome menos água do seria consumido na produção dos equivalentes obtidos de forma primária (a partir de matéria prima virgem)
<b>Redução da geração de gases de efeito estufa</b>	O processo de reciclagem de materiais recicláveis emite menos GEE do seria emitido na produção dos equivalentes obtidos de forma primária (a partir de matéria prima virgem)
<b>Redução da pressão por desmatamento</b>	A reciclagem de papel / papelão e de aço reduz a necessidade de cultivo de florestas para celulose e carvão vegetal (respectivamente), reduzindo a pressão pelo desmatamento

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Todos os cinco benefícios elencados são doravante quantificados e valorados. Nota-se que o benefício da redução da geração de gases de efeito estufa é tratado no subcapítulo 7.3.3. Os demais são abordados na sequência.

Nota-se ainda que outros benefícios ambientais também decorrem da recuperação de materiais, tais como a redução do consumo de produtos químicos contaminantes ao ambiente (quando descartados) e a economia de custos decorrentes do transporte de materiais, tanto ambientais (tais como as emissões de gases de efeito estufa e a emissão de material particulado) como sociais (tais como acidentes). Estes benefícios não são facilmente estimados, especificamente quanto ao fluxo dos insumos primários e não foram incluídos.

### **Redução do custo de insumos de produção**

Um dos principais benefícios da reciclagem é verificável pela simples existência de demanda pela aquisição de materiais recicláveis: caso os insumos de produção gerados a partir da reciclagem fossem mais custosos que os insumos obtidos via matéria prima virgem, não haveria tal demanda, ou seja, não haveria mercado para a compra e venda de sucatas. Tendo como base o custo de oportunidade (ou seja, o que ocorreria na ausência da recuperação dos materiais), pode-se atribuir a diferença de custo dos insumos reciclados e primários como sendo benefício direto da recuperação de materiais.

O IPEA (2010) apresenta, na "Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos", uma estimativa dos custos de produção dos insumos produtivos a partir de matéria prima virgem e a partir da reciclagem de materiais descartados. Para o aço, foram consideradas duas rotas tecnológicas principais: fornos a oxigênio, que utilizam matéria-prima virgem, e fornos a arco elétrico, que usam sucata, contrastados por dados obtidos do Instituto Aço Brasil e do Ministério de Minas e Energia. No caso do alumínio, a análise baseou-se em dados da Associação Brasileira do Alumínio e do Governo Federal, complementados por pesquisa de campo. Para a celulose, foram utilizados dados da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel e do Relatório de Sustentabilidade da Aracruz Celulose (*apud* IPEA, 2010).

Por fim, a produção de plástico foi estimada a partir de dados do IBGE (*apud* IPEA, 2010), considerando um "plástico misto" teórico, enquanto para o vidro, a metodologia foi similar à do alumínio, usando o consumo médio nacional de recursos naturais. Já os custos da reciclagem foram calculados por IPEA (2010), e incluíram gastos com água e energia, além de material secundário. A Tabela 84 apresenta os valores encontrados e a diferença entre eles, que traduzem o benefício da reciclagem quanto aos custos dos insumos de produção.

*Tabela 84: Benefícios unitários da redução do custo de insumos de produção.*

Material	Custos dos insumos a partir da produção primária (R\$/t)	Custos dos insumos a partir da reciclagem (R\$/t)	Benefícios líquidos da reciclagem (R\$ de 2010)	Atualização Monetária dos Benefícios (R\$ de 2023)
Papel e papelão	687,00	357,00	330,00	850,07
Plástico filme	1.790,00	626,00	1.164,00	2.998,44
Plásticos rígidos	1.790,00	626,00	1.164,00	2.998,44
Vidros	263,00	143,00	120,00	309,12
Metais ferrosos	552,00	425,00	127,00	327,15
Metais não ferrosos	6.162,00	3.447,00	2.715,00	6.993,79

Fonte: IPEA, 2010. Apresentação e adaptação: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A atualização monetária dos benefícios líquidos da reciclagem no tangente à redução do custo de insumos de produção foi realizada pelo Índice Geral de Preços a Mercado (IGPM), da Fundação Getúlio Vargas (FGV), com a técnica de meio-ano. A escolha pelo índice de inflação se dá por sua composição abrangente e representativa da economia brasileira, permitindo capturar as variações de preços em diferentes setores da economia. O IGPM, afinal, tem como base: 60% de preços ao produtor, que mede a variação de produtos agropecuários e industriais na porta das fábricas; 30% de preços ao consumidor, que mede a variação dos preços dos produtos e serviços consumidos pelas famílias; e 10% de preços da construção.

Uma vez desvendados os valores unitários (R\$/t) dos benefícios econômicos da redução do custo de insumos de produção a partir da recuperação de materiais

recicláveis, basta aplicá-los aos quantitativos de cada tipo de material (papel e papelão; plástico filme; plásticos rígidos; vidros; metais ferrosos; e metais não ferrosos) recuperados em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

### **Redução do consumo de energia na produção**

A produção de insumos de produção a partir de matérias-primas virgens é tipicamente intensiva em energia (indústria da transformação), enquanto a reciclagem reduz significativamente essa necessidade, proporcionando uma economia de energia para a sociedade. Para quantificar o benefício da economia de energia, utilizou-se da ferramenta *Waste Reduction Model* (WARM) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2020). O WARM (versão 1.5 de novembro de 2020) calcula indicadores de emissões de gases de efeito estufa, de consumo de energia envolvido e de outros impactos econômicos de diversas práticas de gestão de resíduos, incluindo a redução na fonte (não geração), a reciclagem de materiais (a opção de interesse), a combustão de resíduos, a compostagem da matéria orgânica e a destinação final em aterro sanitário.

Especificamente no que diz respeito ao consumo de energia, o WARM calcula aquela economizada pela reciclagem ao invés de ter sua produção realizada a partir de matérias-primas virgens. O faz, ainda, para mais de cinquenta tipos de materiais, apresentando os resultados unitários em milhões de BTUs por tonelada. Uma vez que os dados exprimem a quantidade de energia economizada que teria sido necessária para a produção dos diversos tipo de materiais, torna-se independente da fonte energética utilizada para essa fabricação, ou ainda do próprio local de fabricação. Ao expressar a economia de energia com base no que se requer dela como insumo energético, tem-se medida padronizada que pode ser aplicada no Brasil ou qualquer outra localidade, desde que o material seja o mesmo e seja produzido, grosso modo, da mesma forma.

Para pormenorizar a validade dessa última premissa, que se aplica em estudos estratégicos e comparativos dessa natureza, observam-se as variações na demanda energética para a produção de vidro a partir da matéria prima virgem (Zier *et al.*, 2021; Cantini *et al.*, 2022). O vidro plano, utilizado em janelas, portas e espelhos, apresenta um consumo energético que varia entre 5,1 e 5,6 MMBTU/t. Já o vidro de garrafas, devido à sua complexidade de produção, demanda mais energia (6,0 e 6,5 MMBTU/t). Vidros especiais, que possuem propriedades específicas como alta resistência ou baixo índice de refração, podem consumir entre 7,0 e 8,0 MMBTU/t. Além do tipo do produto, a tecnologia de produção também influencia o consumo energético: fornos tradicionais que utilizam combustíveis fósseis apresentam um consumo maior do que fornos elétricos, mais modernos e eficientes (variações respectivas de 5,5 a 7,5 MMBTU/t e de 4,5 a 6,0 MMBTU/t. A fábrica pode, ainda, contar com a recuperação de calor e controle de alta precisão da temperatura, alcançando índices menores de consumo unitário. Todas as variáveis são importantes e adicionam incertezas, mas observa-se que diversas das variabilidades se cancelam, produzindo um valor médio bastante representativo de algo como 5,5 MMBTU/t. Segundo os dados da EPA (2020), a reciclagem do vidro, que requer um ponto de fusão inferior ao da matéria prima virgem, economiza o emprego de 2,39 MMBTU/t.

A partir dos dados consultados na ferramenta WARM, foi realizada a identificação da economia de energia dos grandes grupos de materiais recicláveis aqui tratados. Uma vez que a ferramenta da EPA pressupõe que haja alguma recuperação energética a partir da destinação final em aterro sanitário, realiza-se o desconto dessa energia para se obter o resultado líquido da reciclagem dentro da própria cadeia de tratamento e disposição final dos resíduos. A Tabela 85 apresenta os dados consultados na EPA (MMBTU/t) e sua posterior conversão em energia elétrica (MW/h).

Tabela 85: Benefícios unitários da redução consumo de energia na produção.

Material	Economia de Energia da Reciclagem (MMBTU/t)	Equivalência em Energia Elétrica (MW/h/t)	Benefício da Economia de Energia (R\$/t)
Papel e papelão	20,31	5,95	2.230,86
Plástico filme	45,05	13,20	4.946,86
Plásticos rígidos	28,86	8,46	3.168,79
Vidros	2,39	0,70	262,87
Metais ferrosos	20,23	5,93	2.222,08
Metais não ferrosos	117,95	34,57	12.952,36

Fonte: EPA, 2020..

A Tabela 85 também apresenta a conversão da economia de consumo de energia na produção para valor econômico. Esse resultado é obtido pela multiplicação do MWh unitário de economia de energia pelo valor econômico unitário de R\$ 374,71/MWh, que representa o custo médio de geração de energia elétrica no Brasil, conforme o Plano Decenal de Energia 2031 da Empresa de Pesquisa Energética do Governo Federal (EPE, 2022). Uma vez que este é o valor utilizado pela EPE como dado de entrada para o modelo de planejamento da expansão da geração de energia, significa que a menor necessidade de energia gerada pela reciclagem de materiais economiza essa expansão de energia. Tem-se, portanto, um parâmetro de referência adequado para representar o valor social no competitivo mercado de geração de energia elétrica para aporte ao Sistema Interligado Nacional.

Uma vez desvendados os valores unitários (R\$/t) dos benefícios econômicos da redução do custo de energia na produção a partir da recuperação de materiais recicláveis, basta aplicá-los aos quantitativos de cada tipo de material (papel e papelão; plástico filme; plásticos rígidos; vidros; metais ferrosos; e metais não ferrosos) recuperados em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

### **Redução do consumo de água na produção**

Sob o mesmo racional do benefício do consumo de energia na produção de insumos a partir de materiais recicláveis, apresenta-se a quantificação e valoração do benefício do consumo de água. Para estimar a quantidade de água que deve ser captada como insumo para a produção primária, o IPEA (2010) fez uso de dados sistematizados da indústria na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, que conta com a intensa presença de captações com essa finalidade. Cruzando o volume captado, o perfil industrial e a quantidade produzida por unidade industrial, levantou-se a demanda por água por tonelada produzida para os grupos de materiais de interesse.

Já quanto ao consumo da água para a reciclagem, sabe-se que essa demanda é bastante diminuta - tanto que IPEA (2010) a julgou insignificante e, portanto, não a estimou. Para fins de conservadorismo, adota-se aqui o pressuposto de que seja 10% da necessidade de captação para a produção primária. Dessa forma, pode-se calcular os benefícios unitários, em metros cúbicos por tonelada, da reciclagem sobre a fabricação de materiais a partir de matéria prima virgem. A Tabela 86 apresenta estes valores.

*Tabela 86: Benefícios unitários da redução consumo de água na produção.*

Material	Água captada para produção primária (m <sup>3</sup> /t)	Água captada para reciclagem (m <sup>3</sup> /t)	Benefícios líquidos da reciclagem (m <sup>3</sup> /t)	Benefícios líquidos da reciclagem (R\$/t)
Papel e papelão	40,50	4,05	36,45	373,14
Plástico filme	1,95	0,20	1,76	17,97
Plásticos rígidos	1,95	0,20	1,76	17,97
Vidros	1,00	0,10	0,90	9,21
Metais ferrosos	13,40	1,34	12,06	123,46
Metais não ferrosos	31,20	3,12	28,08	287,46

Fonte: IPEA, 2010. Apresentação e adaptação: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Para a atribuição de valor econômico do custo de oportunidade de utilização de cada metro cúbico de água, utilizou-se dos resultados da publicação "Contas

Econômicas Ambientais da Água 2018-2020", realizado conjuntamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico com base nas diretrizes do manual SEEA-Water da Divisão de Estatística das Nações Unidas (IBGE e ANA, 2023). O estudo apresenta uma análise detalhada sobre a oferta e demanda de água no Brasil, integrando dados físicos e monetários, e assim fornece indicadores sobre o uso da água por atividades econômicas e para as famílias, bem como os custos associados a esses usos.

Um dos indicadores híbridos apresentados é quanto ao custo da "água de distribuição e serviços de esgoto para as atividades econômicas", na região Sudeste do Brasil, de R\$ 8,34/m<sup>3</sup>. Este valor expressa o custo da obtenção de uma unidade do insumo água obtido via rede geral de abastecimento, e é adotado como representativo do seu custo de oportunidade social para a área de estudo. A bacia do Alto Tietê, conforme conclui seu Plano de Bacia (2018), apresenta alta restrição hídrica e risco de desabastecimento. Por fim, realizou-se a atualização monetária do valor expresso em 2020 para o ano de 2023, utilizando para tanto o deflator implícito do produto (espelhando a contabilidade nacional utilizada para desvendar o valor original). O resultado é de um custo de oportunidade de R\$ 10,24/m<sup>3</sup>.

Uma vez desvendados os valores unitários (R\$/t) dos benefícios econômicos da redução do custo de água na produção a partir da recuperação de materiais recicláveis, basta aplicá-los aos quantitativos de cada tipo de material (papel e papelão; plástico filme; plásticos rígidos; vidros; metais ferrosos; e metais não ferrosos) recuperados em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

### **Redução da pressão por desmatamento**

Um dos efeitos benéficos da reciclagem é redução da pressão por desmatamento, advindo da menor necessidade de expansão de solo agrícola voltado para silvicultura. Afinal, na produção de e papel e aço a partir de matérias-primas virgens, há uma intensa utilização de florestas plantadas: a fabricação de papel pela necessidade óbvia

da celulose; o aço, por sua vez, pelo fato de seu insumo ferro gusa ser tipicamente fabricado com uso de carvão vegetal. A reciclagem desses materiais, portanto, diminui a necessidade de expansão de áreas de silvicultura, o que por sua vez gera oportunidade de preservação de florestas nativas e maior proteção da biodiversidade e exploração sustentável de recursos não madeireiros. Com base na produtividade média da silvicultura por hectare e na demanda por seus produtos na fabricação de papel e aço, IPEA (2010) compilou a área de cultivos de silvicultura necessária para tal. Conforme apresenta-se na Tabela 87, a reciclagem de celulose e de aço reduz a necessidade de cultivos silvícolas, o que reduz a pressão pelo desmatamento. Por fim, nota-se que não há requerimento compatível de área de silvicultura para efetivar a reciclagem dos materiais, sendo considerada nula. Ou seja, a reciclagem desloca totalmente a expansão marginal de áreas de silvicultura.

No entanto, nem toda a expansão da atividade silvícola se dará sobre áreas de vegetação nativa, sendo que é só sob estas áreas vegetadas que há um custo de oportunidade em relação aos serviços ecossistêmicos prestados e que seriam substituídos pelo monocultivo de espécimes florestais. A expansão da silvicultura sobre em áreas já antropizadas (seja com pastagens ou sejam áreas de agricultura, por exemplo) não implica no mesmo custo de oportunidade (grosso modo, isso implicaria em um custo de oportunidade financeiro e privado, não societário).

De forma a se compreender a tendência com a qual a silvicultura ocupa áreas de vegetação nativa, consultou-se o estudo "Contas Econômicas Ambientais da Terra" do IBGE, que analisa as mudanças nos estoques de recursos naturais no Brasil entre 2000 e 2020. Este estudo faz parte do Sistema de Contas Econômicas Ambientais (o mesmo que o estudo supracitado de Contas Econômicas Ambientais da Água) e visa fornecer uma compreensão abrangente da dinâmica de ocupação do território brasileiro e suas mudanças ao longo do tempo. O estudo apresenta uma matriz de mudanças na cobertura e uso da terra, padrões de ocupação regional e características fundiárias dos estabelecimentos agropecuários.

Com base nesse consistente histórico de duas décadas, observa-se que a expansão da área de silvicultura foi de 71,4% (36 mil km<sup>2</sup>). Ainda mais relevante é o pormenor dessa expansão: 8 mil km<sup>2</sup> (22%) se deu sobre mosaicos de ocupações em área florestal; 2,9 mil km<sup>2</sup> (8%) se deu sobre vegetação florestal; e a maior parte da expansão, de 15,4 mil km<sup>2</sup> (43%) se deu sobre vegetação campestre. No total dos últimos vinte anos, portanto, 73% das novas áreas de florestas plantadas deslocaram vegetação nativa (a maior parte no bioma Cerrado). Uma vez que há tendência de continuidade de conversão da vegetação nativa, especialmente no bioma Cerrado, considera-se que essa mesma taxa histórica de conversão seja mantida<sup>10</sup>.

*Tabela 87: Demanda unitária de área de produção e área com custo de oportunidade.*

Material	Área de silvicultura para produção primária (ha.ano/t)	Área de silvicultura com custo de oportunidade (expansão sobre vegetação nativa) (ha.ano/t)
Papel e papelão	0,0140	0,0102
Metais ferrosos	0,0010	0,0007

Fonte: IPEA, 2010.

Uma vez que IPEA (2010) estimou a necessidade de ocupação de áreas de silvicultura para cada tonelada de papel e aço produzidos, como se apresenta na Tabela 87, adota-se a premissa de que 73% destes substituirá a vegetação nativa do Cerrado brasileiro. Resta, então, realizar a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos que serão perdidos com essa substituição. São ao menos três dos efeitos com claro custo de oportunidade: custos ambientais associados à biodiversidade local; perda de serviços ecossistêmicos de regulação climática; e emissões de GEE pela perda de vegetação do Cerrado. Cada um é abordado na sequência.

O estudo de IPEA (2010) estima que o custo ambiental da instalação de um monocultivo de eucalipto seja de R\$ 389,21/ha por ano sobre a biodiversidade deslocada. A atualização monetária para 2023 resulta em R\$ 1.002,60 (utilizando-se da

<sup>10</sup> Ver, por exemplo, esta reportagem do dia 6 de março de 2024: <https://oeco.org.br/noticias/desmatamento-no-cerrado-vai-chegar-a-12-mil-km2-em-2024-caso-ritmo-se-mantenha/>

mesma técnica e do mesmo índice de preços que para a atualização monetária dos custos com insumos produtivos).

Uma vez que a vegetação nativa do Cerrado contribui para a regulação do clima local e em mesoescala, reduzindo a exposição a calor extremo, há também um custo de oportunidade de se realizar sua substituição quanto ao serviço ecossistêmico de regulação climática. Flach *et al.* (2021) investigaram o valor desta regulação, com foco na conversão de ecossistemas para expansão agrícola e o risco majorado de calor extremo para a própria atividade agrícola no entorno das áreas desmatadas. Com base na avaliação da perda acumulada de vegetação nativa entre 1985 e 2012 e na definição da perda histórica de receita nos cultivos de soja devido ao aumento da exposição a calor extremo, os autores estimaram o valor desse serviço ecossistêmico em 85,40 dólares americanos por hectare por ano em 2005. A atualização monetária para 2023 e a conversão em reais utilizando o mesmo câmbio que na aplicação da Ferramenta GIZ (2021), de R\$ 4,85 por dólar, revela o valor atual de R\$ 593,79/ha por ano.

O último dos custos de oportunidade da conversão de vegetação nativa pela silvicultura é dado pela emissão de gases de efeito estufa da vegetação deslocada. Certamente o cultivo de eucalipto promove o sequestro de carbono, mas isso não invalida o racional deste custo de oportunidade, pois o pressuposto é que o cultivo continuaria a ocorrer em algum outro lugar, deslocando outras atividades produtivas que ocorrem em áreas já antropizadas. Dessa forma, o sequestro de carbono adicional promovido pelo cultivo de eucalipto não está sendo modificado. A perda da vegetação nativa para que esse cultivo ocorra, de fato, é o que acarreta o custo de oportunidade sendo aqui analisado.

Farinha *et al.* (2019) utilizaram de sofisticada modelagem para obter o custo de oportunidade de se manter uma Reserva Particular do Patrimônio Natural em comparação com a produção de soja e milho, analisando especificamente uma área no bioma Cerrado (especificamente no município de Jardim, localizado na região sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul). Dentre os benefícios ambientais identificados pela

manutenção da área com vegetação nativa está o resultado líquido do sequestro de carbono, de 53.619,52 dólares americanos para o ano de 2017. Fatorando-se a área da reserva e a tomando como representativa para esse serviço ecossistêmico no bioma todo, tem-se o valor unitário de R\$ 892,33/ha por ano.

Todos os três valores dos serviços ecossistêmicos com custo de oportunidade pela conversão de vegetação nativa (biodiversidade local, regulação do clima e sequestro de carbono) são incorridos por ano. Enquanto os demais benefícios da reciclagem ocorrem pontualmente no tempo, como a comercialização de um insumo produtivo de origem reciclada, por exemplo, este perdura ao menos enquanto durar o ciclo de cultivo do eucalipto. Conforme Embrapa Florestas (2019), esse ciclo é de cerca de sete anos. Dessa forma, e sob a premissa bastante conservadora (e apenas hipotética) de que os efeitos negativos da conversão da vegetação nativa poderiam ser revertidos de imediato após um ciclo de cultivo, tem-se que cada tonelada de papel/ papelão ou aço que são de origem de materiais reciclados pós consumo e não de matérias primas virgens evita a geração dos efeitos negativos aqui descritos por sete anos.

A Tabela 88 apresenta os valores econômicos referenciais descritos nas métricas por tipologia de resíduo, aplicando-se para tal a demanda de área unitária para produção que carrega o custo societário de oportunidade de substituição da vegetação nativa.

*Tabela 88: Benefícios unitários econômicos da redução da pressão por desmatamento.*

Material	Custos ambientais associados à biodiversidade (R\$/t.ano)	Perda de serviços ecossistêmicos de regulação climática (R\$/t.ano)	Emissões de GEE pela perda de vegetação nativa (R\$/t.ano)	Total dos benefícios da reciclagem (R\$/t.ano)
Papel e papelão	14,04	6,07	9,12	29,22
Metais ferrosos	1,00	0,43	0,65	2,09

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez desvendados os valores unitários (R\$/t) dos benefícios econômicos da redução da pressão por desmatamento a partir da recuperação de materiais recicláveis, basta aplicá-los aos quantitativos de cada tipo de material pertinente (papel e papelão; e metais ferrosos) recuperados em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

- **Benefícios da redução da fragilidade social de catadores**

Conforme apresentado em detalhes no Diagnóstico do presente Plano, nos municípios do PGIRS-AT, a situação social dos catadores de materiais recicláveis é frágil e multidimensional: perpassa aspectos econômicos, sociais, psicológicos, de saúde, educação, entre outros. Não cabe aqui retomar os tristes indicadores dessa situação, mas sim estimar um balizador mínimo acerca do benefício econômico que se espera gerar pela redução da situação de fragilidade quando se realiza a formalização destes trabalhadores.

Deve-se atentar que os benefícios oriundos da contratação de mão de obra *per se* (não apenas de catadores outrora informais, mas sim de qualquer trabalhador que atue na RT) já estão devidamente contabilizados na ACB por meio do uso do fator de conversão da mão de obra de menor qualificação. O benefício aqui abordado, no entanto, é incremental ao deslocamento da mão de obra contratada, e afeta apenas os catadores de materiais recicláveis que passam a estar formalizados e deixam, portanto, de atuar à margem do sistema.

No que se refere a estimativa para a quantidade de triadores de materiais recicláveis, que precisam ser contratados para atuação em cada uma das RT, foram considerados, os catadores autônomos que passam a estar formalizados como parte integral do processo de execução da RT, entretanto, ao invés de permanecerem realizando a coleta formalizada nas ruas, exercem o papel de triagem de resíduos recicláveis.. Essa triagem ocorre tanto de forma plenamente manual como também no emprego da tecnologia de triagem mecanizada, cujo final do processo da segregação

mecânica faz uso da triagem manual como "pente fino" para a recuperação máxima de recicláveis.

É notório que rotas tecnológicas que priorizam a reutilização, compostagem e reciclagem de resíduos sólidos geram mais empregos do que sistemas baseados na recuperação energética e na disposição final em aterros sanitários. Ribeiro-Broomhead e Tangri (2021) utilizaram dados de 16 países para estimar, tipicamente, qual é o potencial de criação de empregos de cada tecnologia. Para a triagem mecanizada, os autores desvendam a criação de empregos como sendo de 15,2 para cada 10 mil toneladas de resíduos. Esta figura já desconta a perda dos empregos respectivos nos aterros sanitários. Os empregos na triagem manual de resíduos recicláveis, também em métrica líquida da perda de empregos incutidos na disposição final, é de surpreendentes 319,2 para cada 10 mil toneladas. Estes foram os parâmetros utilizados para a estimativa da quantidade de triadores incrementais necessários em cada RT.

Além da contabilização da remuneração destes triadores e catadores formalizados, desvenda-se aqui a redução de sua situação de fragilidade social. Esse benefício só é computado para a quantidade de triadores de materiais recicláveis contratados para atuar na triagem e na quantidade de catadores formalizados para atuarem na coleta seletiva de recicláveis, pois são estes os trabalhadores que atualmente (na RT contrafactual) são marginalizados e que passam a estar formalizados com as RT. Tem-se, como sempre, a contabilização exclusiva dos catadores contratados de forma incremental de cada RT em relação à linha de base.

Eis que mensurar a redução da fragilidade social de forma objetiva requer a integração de múltiplos indicadores, o que pode ser metodologicamente complexo. Além do mais, como visto, muitas vezes, os catadores têm acesso limitado a serviços públicos e programas sociais, o que resulta em subnotificação e escassez de dados e informações sistemáticas e pragmáticas. Dessa forma, e como baliza de valor (não retratando o valor per se), adota-se o pagamento equivalente ao do Programa Bolsa-Família para mensurar a redução da fragilidade social. Esse valor, de R\$ 600 por mês,

equivale a R\$ 7,2 mil por ano e expressa o custo de oportunidade, ou seja, o que ocorreria na ausência da formalização dos catadores: estes continuariam a se encontrar em situação de fragilidade e continuariam a receber o benefício.

Independentemente da continuidade da concessão do benefício do Bolsa-Família para os catadores formalizados, tem-se no seu valor uma *proxy* para o benefício da redução da fragilidade social, pois é esse o valor que o Programa do Governo Federal destina exatamente para esse fim: a renda básica mensal é destinada para famílias em situação de pobreza e extrema pobreza, ajudando a garantir um mínimo de subsistência. Para se obter uma outra referência, tem-se que a Prefeitura Municipal de Campinas, em 2023, pretendeu destinar R\$ 44,70 milhões para a redução da fragilidade social dos cerca de 2,23 mil moradores em situação de rua<sup>11</sup>. O custo por pessoa dessa ação monta em, aproximadamente, R\$ 4,4 mil.

Uma vez desvendado o valor *proxy* para o benefício da redução da fragilidade social dos catadores formalizados (R\$/ano por catador formalizado), basta aplicá-lo aos quantitativos de catadores formalizados em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

<sup>11</sup> Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2022/12/21/nuvem-de-problemas-custo-de-servicos-para-pessoas-em-situacao-de-rua-sobe-68percent-e-supera-r-44-milhoes-em-campinas.ghtml>

- **Benefícios sociais da ciclagem de matéria orgânica**

Tal como para os demais benefícios, o racional que dá origem ao da ciclagem de matéria orgânica se encontra no custo de oportunidade: as rotas tecnológicas que promovem a ciclagem da matéria orgânica e impedem que esse material seja destinado ao aterro sanitário, possibilitam fazer uso de matéria orgânica que não estaria disponível de outra forma na adensada região da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.

Na avaliação financeira, não se previu receita acessória para a comercialização do digestato, que é o material residual resultante do processo de digestão anaeróbica em biodigestores (conforme descrito nas RT). Não obstante, o digestato possui características fertilizantes devido à alta concentração de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), e pode-se coerentemente prever que seja distribuído - a custo zero - e utilizado para fins agrícolas. Sabe-se que nem todos os cultivos poderão fazer uso direto do digestato, seja pelo risco de contaminação quando aplicado em cultivos de consumo direto, ou seja por necessidade de tratamento adicional (adição mineral e/ou redução de umidade). Não obstante, quando tecnicamente possível, sua aplicação como fertilizante orgânico traz vários benefícios, incluindo a melhoria da fertilidade do solo, a redução da dependência de fertilizantes químicos e a recuperação de solos degradados.

Para se ter noção da demanda pelo composto orgânico, consultou-se a publicação da Embrapa (Oliveira, Lima e Cajazeira, 2004) intitulada "Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos", que traz a recomendação de utilização de composto em sistemas agrícolas orgânicos de cultivo. Nestes sistemas, que abundam na região sul do município de São Paulo, recomenda-se a utilização de 20 a 30 tComposto orgânico por hectare para o cultivo da maioria das espécies. Na média, portanto, demanda-se 25 t/ha de composto orgânico por ano.

Rahman *et al.* (2020) analisaram a composição física, química e biológica de composto oriundo da ciclagem da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, incluindo densidade, porosidade, capacidade de retenção de água, teor de umidade, pH, matéria orgânica, relação C:N, e conteúdo de NPKS. Os resultados apontam para um composto maduro e estável, com pH de 7,3 e boa capacidade de tamponamento, embora a matéria orgânica e a relação C:N (14,5) sejam baixas. O conteúdo de N, P, K e S foi mensurado, minimamente, como de 0,9%, 0,3%, 0,4% e 0,45%, respectivamente. Os valores máximos encontrados para o NPK foram de, respectivamente, 2,3%, 0,4% e 0,9%. Já os níveis de sais solúveis e metais pesados estavam dentro dos limites permitidos. Os autores não detectaram *E. coli* e *Salmonella*, sugerindo que é seguro para uso como fertilizante.

Considerando, portanto, que uma tonelada de digestato contém 1,60% de NPK, pode-se consultar o valor médio para aquisição destes mesmos nutrientes, obtendo-se assim uma *proxy* econômica do benefício do aporte da ciclagem da matéria orgânica. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024) realiza o acompanhamento mensal dos preços de insumos agrícolas e os apresenta no "Relatório de Insumos Agropecuários", incluindo fertilizantes químicos. Consultando os preços médios de NPK para o Estado de São Paulo em 2023, obtém-se o custo deste insumo como sendo de R\$ 3.228,00 por tonelada.

A multiplicação do preço do fertilizante pela proporção de sua ocorrência em uma tonelada de digestato revela o benefício unitário de R\$ 51,65 por tonelada de composto em valor de NPK. Uma vez desvendado o valor *proxy* para o benefício da ciclagem da matéria orgânica, basta aplicá-lo aos quantitativos de matéria orgânica que são produzidos em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

- **Benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário**

O último benefício considerado é o da redução da disposição final de RSU em aterro sanitário. Tendo como base o custo de oportunidade (ou seja, o que ocorreria na ausência do envio de resíduos para disposição final em aterro sanitário), o desvio de massa ao aterro sanitário promove ao menos dois efeitos positivos, pormenorizados na sequência.

### **Custo de oportunidade de uso do solo**

Os resíduos que são enviados para disposição final em aterro sanitário demandam espaço para que sejam "estocados para sempre". Uma vez encerrada a vida útil de um aterro sanitário, demanda-se ao menos duas décadas para que algum uso alternativo seja realizado com a devida segurança na área ocupada. Embora existam iniciativas de utilização dos aterros sanitários encerrados para instalação de painéis fotovoltaicos<sup>12</sup>, observa-se que do ponto de vista do custo de oportunidade societário, outros locais (como shoppings, fábricas e edifícios) oferecem as mesmas possibilidades de aproveitamento de "telhados" ociosos. Em outras palavras: não haverá uma redução na potência instalada futura em painéis solares caso não haja mais aterros sanitários encerrados.

Por outro lado, o custo de oportunidade de uso do solo na região de estudo é notadamente alto devido à competição pelo escasso espaço da maior Região Metropolitana da América do Sul. Essa mesma constatação fez com que os preços de referência para a instalação de plantas de tratamento fossem ajustados (para cima) na Ferramenta de Rotas e Custos (GIZ, 2021), conforme descrito no subcapítulo 7.2.2. Pode-se coerentemente conceber, então, que uma RT que reduza o envio de resíduos para disposição final em aterro sanitário reduza, por consequência, a necessidade de área para a acomodação destes resíduos.

---

<sup>12</sup> A exemplo de Santo André/SP. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/por-que-a-construcao-de-usinas-fv-em-aterros-ainda-e-pouco-explorada/>

Silva, Freitas e Candiani (2013) sistematizaram dados do Aterro Bandeirantes, localizado na área de estudo (quilômetro 26 da Rodovia Bandeirantes), que operou entre 1978 e 2007. A unidade recebeu ao longo desse período aproximadamente 30 milhões de toneladas e formou um maciço de cerca de 90 metros e 1,17 milhões de m<sup>2</sup>. Tomando-se os dados deste aterro sanitário como *proxy* para os demais, tem-se uma taxa de ocupação de cerca de 0,0390 m<sup>2</sup>/t. O desvio de resíduos ao aterro sanitário, no entanto, gerará demanda por outras plantas de tratamento - sejam plantas de triagem mecanizada, gaseificação, biodigestão, CDR ou incineração. Como premissa simplificadora, assume-se que estas unidades ocupem 10% dessa área unitária, haja vista serem mais compactas por apenas "hospedar" temporariamente os resíduos e não os "enterrar".

Dessa feita, pode-se calcular, para cada RT de cada arranjo e de cada município com solução individual, a economia de área a partir do desvio de uma dada massa de RSU. Por fim, deve-se atribuir o valor econômico da área economizada, o que se faz pelo valor de R\$ 625/m<sup>2</sup>. Conservadoramente, este preço é metade daquele utilizado como dado de entrada na Ferramenta de Rotas e Custos (GIZ, 2021) como baliza para a aquisição de terreno para implantação das plantas de tratamento.

### **Redução das inconveniências dos moradores do entorno**

O racional para esse benefício parte das evidências que as habitações no entorno dos aterros sanitários sofrem inconveniências (*disamenities*, na língua inglesa), ou seja, sofrem os efeitos negativos do convívio com odores, movimentação intensa de caminhões de resíduos e ruídos que ocorrem, mesmo que eventualmente.

Certamente, a qualidade da operação do aterro sanitário influencia na intensidade e/ou na frequência com a qual os efeitos negativos são sentidos. Inobstante, mesmo sob condições ótimas de operação, combinações climáticas eventuais irão favorecer a geração de odores (como quando ocorre a elevação da temperatura logo após um período chuvoso, durante o qual não se consegue realizar

a cobertura imediata dos resíduos que foram recebidos). Sabe-se, também, que há emissões fugitivas de gás, por mais que o sistema de drenagem seja amplo e eficiente (Silva, Freitas e Candiani, 2013, estimaram em 16% as emissões fugitivas do encerrado Aterro Bandeirantes). Ruídos, também, são dificilmente contornados com qualidade operacional, haja vista dependerem da localização específica da célula sendo trabalhada, podendo essa estar a uma cota bastante elevada em relação ao entorno, o que facilita a propagação do som. Mesmo o uso de dispositivos de controle de impactos, como rojões que tentam impedir o estabelecimento da fauna alada que é atraída pela disposição dos resíduos, podem causar desconfortos em termos de ruídos para a população do entorno.

Embora não tenham sido encontrados estudos sistemáticos dos efeitos dessa inconveniência para casos nacionais, destaca-se o estudo "*Property-Value Impacts of an Environmental Disamenity: The Case of Landfills*". Conduzido por Diane Hite *et al.* (2001), o estudo investiga os impactos dos aterros sanitários nos valores das propriedades residenciais próximas, no condado de Franklin, estado norte americano de Ohio. Utilizando o método de valoração econômica de preços hedônicos, os autores quantificam como a proximidade de aterros afeta os preços dos imóveis, fazendo uso de transações imobiliárias em quatro áreas de estudo, abrangendo tanto terrenos não ocupados quanto ocupados. Como prerrogativa do método, foram controladas variáveis como as características estruturais das casas, características ambientais e de vizinhança, e variáveis demográficas.

Hite *et al.* (2001) desvendam que os valores das propriedades são negativamente impactados pela proximidade de aterros, efeito esse que pode persistir mesmo após o encerramento dos mesmos. Tanto que a expectativa de vida útil dos aterros foi uma variável significativa na explicação dos valores das propriedades, com aterros de vida mais longa tendo um impacto mais pronunciado. Os resultados médios do estudo apontam para uma desvalorização imobiliária de 18,50% em um perímetro de até 5,6 km do aterro sanitário (3,5 milhas). Ainda tomando o Aterro Bandeirantes como *proxy*

dos demais, tem-se que seu perímetro é de 5,5 km, o que resulta em um raio de 0,88 km. Com a adição do buffer de 5,6 km, o raio total passa a ser de 6,48 km, com área total dentro desse buffer de 131,73 km<sup>2</sup>. Deduzindo-se a área do próprio aterro, tem-se como resultante a área líquida estimada de 129,32 km<sup>2</sup> na qual pode-se prever que ocorra a desvalorização imobiliária.

De forma conservadora, assume-se que 50% da área nesse buffer impactado seja ocupada por residências. Ao se dividir a área do buffer pela quantidade total de resíduos recebidos no Aterro Bandeirantes para se obter a métrica unitária (área com residências no raio de 5,6 km de um aterro por tonelada). O resultado, de 2,16<sup>-6</sup> km<sup>2</sup>/t é adimensional, mas que permite replicar a *proxy* do Aterro Bandeirantes para a massa desviada dos demais aterros a partir das RT simuladas.

Resta, então, inferir quantas residências estão nessa área afetada pela inconveniência. Para isso, faz-se uso da densidade habitacional média ponderada na totalidade dos 42 municípios do PGIRS-AT, que é de 6,34 mil hab./km<sup>2</sup>. Como o Censo Demográfico de 2022 revelou uma média de 2,73 habitantes por domicílio, tem-se que a densidade de domicílios pode ser calculada como 2,32 mil domicílios por quilômetro quadrado. Em ainda outra unidade adimensional, tem-se 5,01<sup>-3</sup> domicílios na área afetada por tonelada de RSU desviados.

Finalmente, cabe estabelecer o valor econômico médio dos imóveis, de forma a aplicar, para aqueles que se encontram na área afetada pela inconveniência do aterro sanitário, a redução de 18,5% em seus valores. Adotando-se a premissa de que o tamanho mínimo de uma propriedade é de 66 m<sup>2</sup> (conforme sinalizado pelo mercado da construção)<sup>13</sup>, pode-se estimar seu valor com base no Custo Unitário Básico de sua construção, que é de R\$ 1.959,87/m<sup>2</sup> (referência para imóveis residenciais em São Paulo, conforme o índice CUB R8-N - SINDUSCON-SP, 2024). Uma das formas de se derivar o valor anual de uma residência é com base no seu valor de aluguel.

<sup>13</sup> Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/qual-e-o-tamanho-medio-da-casa-propria-do-brasileiro/>

Consultando-se o índice FIPE-Zap (2024), tem-se que o rendimento médio anual do aluguel em São Paulo é de 5,56%, o que produz o valor anual de uma residência pequena em R\$ 7,19 mil (ou cerca de R\$ 600 por mês). Finalmente, portanto, pode-se aplicar a redução de 18,5% devido à inconveniência do aterro, desvenda-se que seu valor é de R\$ 1,33 mil por ano.

Uma vez desvendado o valor *proxy* para o benefício da redução das inconveniências dos moradores do entorno de aterro sanitário (com base na referência adimensional de valor por tonelada), basta aplicá-lo aos quantitativos de desvio de massa que cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual promove ao privilegiar tratamentos e outras formas de recuperação dos resíduos.

- **Externalidade de poluição atmosférica**

A atividade de coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos é emissora de poluição atmosférica em vários níveis. Essa emissão, no entanto, é distinta entre tecnologias e poluentes, fazendo de sua consideração na ACB um balanço entre as opções mais ou menos emissoras. A adoção de uma determinada rota tecnológica sobre a linha de base pode tanto aumentar as emissões de um aspecto do sistema quanto reduzir as emissões de outro. Para que esse balanço possa ser realizado, portanto, deve-se conhecer os não apenas os parâmetros das emissões de diversos poluentes de cada etapa do sistema de gestão (coleta, tecnologia de tratamento e tecnologia de disposição final), como também seu custo econômico. Dessa forma, o balanço das emissões entre as RT passa a ser aquele que exprime os custos econômicos totais a que expõe a sociedade.

As externalidades de poluição atmosférica se subdividem nas que trazem efeitos locais e nas que trazem efeitos globais, sendo cada uma apresentada na sequência.

### **Externalidades de poluição atmosférica local**

Dentre os poluentes atmosféricos de âmbito local para os quais se pode estabelecer uma relação causal entre exposição (seja de curto ou de longo termo) e

piora de condições normais de saúde, estão: materiais particulados finos (PM<sub>2,5</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e dioxinas. A emissão desses poluentes, portanto, incorrem em custos sociais de saúde e devem ser quantificadas e valoradas no âmbito da proposição de RT de gestão de resíduos.

Os materiais particulados finos (PM<sub>2,5</sub>) são partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 micrômetros. Quando inaladas, podem penetrar nos pulmões e até entrar na corrente sanguínea, causando problemas respiratórios e cardiovasculares. A presença de PM<sub>2,5</sub> no ar é associada (relação causal) a um aumento de internações hospitalares e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares (Pope III *et al.*, 2002; EPA, 2021). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos lista os seguintes custos sociais associados às emissões de material particulado fino: a exposição a longo prazo é associada a um aumento significativo na mortalidade total, com estudos mostrando uma relação causal clara; há associação à aumento de hospitalizações e visitas a emergências por doenças cardiovasculares e respiratórias; registra-se aumento do risco de infartos do miocárdio, início de asma em crianças, e dias de atividade restrita (EPA, 2021).

O dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), por sua vez e também em relações causais, pode gerar irritação nos olhos, nariz, garganta e pulmões. Além disso, também contribui para a formação de chuva ácida, que pode danificar ecossistemas aquáticos e florestais e corroer edificações e monumentos, embora esse efeito não seja aqui considerado dada a sua complexidade do estabelecimento de suas relações de dano. Da mesma forma que para o material particulado fino, no entanto, existem evidências causais da exposição ao SO<sub>2</sub> com efeitos deletérias na saúde humana (Bont *et al.*, 2022; Pope III *et al.*, 2002; Orellano, Reynoso e Quaranta, 2021). A exposição ao poluente é causalmente vinculada à problemas respiratórios, ao agravamento de doenças pulmonares existentes (como asma e bronquite), e ao aumento na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias (Bont *et al.*, 2022).

Os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) são gases que contribuem para a formação de ozônio troposférico e para a poluição fotoquímica, e junto com o  $\text{SO}_2$ , é precursor da chuva ácida. A exposição ao  $\text{NO}_x$  é causalmente vinculada a problemas respiratórios como bronquite e asma, além do agravamento de doenças cardiovasculares. Exposições de curto prazo a  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{NO}_x$  foram consistentemente associadas a riscos aumentados de hipertensão, desencadeamento de infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral, fatal e não fatal (Bont *et al.*, 2022; Huangfu e Atkinson, 2020; Faustini e Forastiere, 2014).

Por fim, tem-se a emissão de dioxinas, grupo de compostos químicos organoclorados altamente tóxicos que podem ser formados durante a combustão de materiais que contêm cloro, como plásticos. As dioxinas são persistentes no meio ambiente (são poluentes orgânicos persistentes - POP) e podem se acumular na cadeia alimentar, causando efeitos adversos à saúde humana, incluindo câncer, problemas reprodutivos e imunológicos. Adicionalmente, devido à sua volatilidade e persistência, os organoclorados podem ser transportados por longas distâncias através do ar e da água, contaminando regiões distantes de suas fontes de emissão. A geração e mitigação da emissão de dioxinas na incineração de resíduos sólidos foram revistas por McKay, 2002, e segundo suas conclusões, a incineração de resíduos não se torna fonte significativa se as emissões forem inferiores a  $0,1 \text{ ng Nm}^{-3}$ , que é o parâmetro estabelecido pela União Europeia.

A exposição aos compostos organoclorados, no entanto, tem associação com disfunções nos níveis de hormônios tireoidianos, afetando a homeostase através de vários mecanismos, incluindo a interferência na síntese, transporte e metabolismo dos hormônios (Little *et al.*, 2022). Uma revisão de literatura de 11 estudos na Coreia do Sul encontrou evidências de aumento do risco de câncer de laringe em mulheres que vivem próximas a incineradores de resíduos (Baek, Park e Kwak, 2022). O mesmo estudo não encontrou evidências significativas de aumento do risco outros cânceres.

Eis que a gestão de resíduos sólidos urbanos envolve várias etapas que podem gerar emissões dos poluentes atmosféricos acima citados, iniciando-se pela coleta.

**Coleta e transporte de resíduos:** a coleta e transporte de resíduos é realizada com veículos tipicamente movidos a óleo diesel, e assim emitem poluentes atmosféricos. Quanto maior for a movimentação de caminhões de coleta e transporte, maiores as emissões atmosféricas de poluentes de efeito local. As RT simuladas propõem alterações na coleta de resíduos seletivos (recicláveis e, em uma das rotas, também de orgânicos).

A maior fração de resíduos coletados seletivamente implica em um aumento na circulação de caminhões baú, tipicamente utilizados para a coleta diferenciada. Ao mesmo tempo, o aumento da fração coletada seletivamente reduz a necessidade de caminhões compactadores que realizam a coleta dos resíduos mistos. Uma vez que os caminhões de coleta mista são mais eficientes do que os de coleta seletiva, tem-se um acréscimo líquido de emissões.

A diferença na externalidade, portanto, se dá pela menor eficiência na coleta (em função do volume de transporte em cada viagem) dos resíduos seletivos em relação aos resíduos indiferenciados. Segundo dados do SNIS, já referenciados em capítulos precedentes, a eficiência média de um caminhão compactador na região de estudo é de 6,47 mil t/ano; já este mesmo índice para os caminhões baú é de apenas 0,26 mil t/ano. Uma vez que as RT consideram sempre os efeitos incrementais em relação à linha de base (RT contrafactual), pode-se quantificar a diferença que a maior circulação de caminhões coletores de resíduos seletivos (recicláveis ou orgânicos) gera em emissões.

Para realizar a quantificação da variação das externalidades de emissão veicular das RT, requer-se conhecer os parâmetros de emissão de cada poluente. Para o SO<sub>2</sub>, pressupõe-se que as emissões não significativas, dado o sucesso na redução do teor de enxofre no diesel utilizado. Já a emissão de material particulado se dá

principalmente devido à combustão incompleta do combustível, e assim é altamente dependente da idade do veículo, da qualidade da manutenção do motor, além da tecnologia de controle de emissões instalada (como filtros de partículas). Dada a dificuldade em se extrair um parâmetro médio coeso para a emissão de  $PM_{2,5}$ , e uma vez que se pressupõe que os caminhões coletores operem com os devidos filtros e com a devida manutenção, não se contabiliza a emissão desse poluente. Quanto à emissão de  $NO_x$ , esta é causada quando o nitrogênio reage com o oxigênio em razão da alta temperatura na câmara de combustão. Diferente dos demais, a emissão dos óxidos de nitrogênio é sujeita à regulação, sendo que a legislação EURO 6 é uma das mais rigorosas e estabelece o limite de 0,4 g/kWh para um caminhão movido a óleo diesel. Parte-se do pressuposto que esse limite de emissões é devidamente cumprido.

Como forma de se estimar a emissão por tonelada de resíduos de  $NO_x$ , parte-se das referências de que um caminhão compactador de lixo (CCL), tipicamente, tem consumo de 2,0 km/litro e roda 3.000 km por mês. A energia total de cada litro de óleo diesel é de cerca de 10 kWh, e uma vez que sua eficiência de conversão energética é, tipicamente, de 30% a 40%, adota-se 3,5 kWh por litro como referência. O consumo energético mensal de um CCL típico, portanto, é de 63 mil kWh/ano. Quando o mesmo cálculo é realizado para o caminhão baú, cujo consumo típico de combustível é de 4,0 km/litro, desvenda-se um consumo energético de 31,5 mil kWh/ano.

Com base nesses parâmetros de consumo energético por tipo de caminhão, e sob o pressuposto de que cada kWh emite 80% do limite legal de 0,4 gramas de  $NO_x$ , pode-se calcular a quantidade de emissões de cada RT para os diferenciais de coleta seletiva e mistos. O valor econômico dessa emissão (custo social) é tratado mais adiante. Por hora, cabe investigar as emissões das demais etapas do sistema de gerenciamento de RSU.

**Triagem manual e mecanizada:** As etapas de triagem e processamento de recicláveis também podem emitir poluentes atmosféricos, notadamente quando fazem uso (mesmo que parcialmente) de combustíveis fósseis - tal como no uso de uma

retroescavadeira para movimentação dos resíduos. Uma vez que esse consumo energético é pequeno comparado com as demais fontes de emissões, e a tecnologia de triagem mecanizada utiliza energia elétrica para segregar os resíduos em suas diferentes categorias, desconsidera-se essa emissão.

**Tratamento de resíduos e disposição final em aterro sanitário:** incineradores, gaseificadores, biodigestores e o processo de produção de CDR emitem poluentes atmosféricos. Tecnologias de controle de poluição do ar, tal como filtros de manga e separadores eletrostáticos, podem ser utilizadas para remover PM; lavadores úmidos podem reduzir a concentração de compostos que formam ácidos; e a injeção de carbono ativado, junto com sistemas de resfriamento rápido, podem reduzir a emissão de mercúrio e de dioxinas. Estes processos, claramente, devem estar devidamente previstos nas normativas de licenciamento ambiental. Não obstante, Hodgkinson *et al.* (2022) encontraram diferenças significativas nos padrões de emissões de dioxinas entre países mais desenvolvidos e países em desenvolvimento.

A disposição final em aterro sanitário também é geradora de poluição atmosférica, seja pelo vazamento do gás do lixo (mesmo quando há captação, pois existem emissões fugitivas), seja pela intensa movimentação de maquinário que se faz necessária para garantir a qualidade ambiental da operação (compactação, cobertura, movimentação de terra, abertura de células etc.).

O Departamento de Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais do Reino Unido (*Department of Environment, Food and Rural Affairs - DEFRA, 2023*) compilou os parâmetros de emissão de poluentes locais em quilogramas por tonelada de resíduos, para dois tratamentos de RSU e para a disposição final em aterro sanitário, como se apresenta na Tabela 89.

Tabela 89: Parâmetros de emissões de poluentes locais por tecnologia.

Poluente	Aterro Sanitário (kg/t de RSU)	Biodigestão (kg/t de RSU)	Incineração (kg/t de RSU)
Material Particulado Fino (PM <sub>2,5</sub> )	0,012	0,0	0,03
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	0,01	0,11	0,27
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	0,08	0,27	0,99
Dioxinas (limite legal)	0,0	0,0	1x10 <sup>-13</sup>

Fonte: DEFRA, 2023. Apresentação e adaptação: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Nota-se que a tecnologia de CDR não foi listada. Para fins de simplificação e conservadorismo, considera-se aqui como inexistente sua emissão de poluentes locais. Sabe-se que a emissão de MP<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> ocorrerá, mas estas são mais do que compensadas pela redução das emissões destes mesmos gases quando do uso do combustível derivado de resíduos como combustível substituto parcial do coque ou do carvão na produção de cimento. De fato, o uso do CDR reduz emissões de NO<sub>x</sub> porque o CDR tem menor teor de nitrogênio em comparação ao carvão ou coque; de forma análoga, o CDR tem menor teor de enxofre, o que reduz as emissões finais de SO<sub>2</sub>. O balanço da emissão de material particulado, embora menos evidente, também aponta para ganhos líquidos do CDR, haja vista que o manuseio de matérias-primas, moagem e produção de clínquer sejam potenciais fontes de emissões de PM nas plantas de cimento.

A tecnologia de gaseificação de resíduos sólidos urbanos se constitui em processo termoquímico que converte resíduos em gás de síntese (*syngas*), composto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H<sub>2</sub>). Este processo ocorre em condições subestequiométricas, ou seja, com uma quantidade de oxigênio inferior à necessária para a combustão completa dos resíduos. Dessa forma, os resíduos não são propriamente queimados, mas sim convertidos diretamente em gás de síntese, sem a emissão de organoclorados e com emissões reduzidas dos demais poluentes (Li *et al.*, 2020). Uma vez que não foram encontrados parâmetros específicos para essa emissão na literatura, assume-se que sejam equivalentes à uma terça-parte da emissão da incineração, excluindo-se as dioxinas.

Uma vez que se tem a emissão unitária de poluentes atmosféricos locais para cada tonelada de resíduos tratados por cada tecnologia (biodigestão, gaseificação, incineração, CDR e aterro sanitário), é possível associar as variações de quantidades de RSU submetidos à cada uma delas (em cada RT) com os custos sociais dessa emissão. Resta, para tanto, conhecer o valor econômico dos efeitos deletérios dos poluentes na saúde humana.

**Valor econômico da externalidade de emissões de âmbito local:** Não foram encontrados estudos nacionais que relacionam os custos sociais das emissões de poluentes. No entanto, o Reino Unido traz recente estimativa para estes custos, conforme se apresenta na Tabela 90 (UK, 2023).

Tabela 90: Custo econômico da externalidade de emissões de poluentes atmosféricos locais.

Poluente	Custo do dano	Custo do dano (R\$/kg)
Material Particulado Fino (PM <sub>2,5</sub> ) <sup>1</sup>	74,77 (£/kg)	296,66
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	16,62 (£/kg)	65,93
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) <sup>1</sup>	8,15 (£/kg)	32,33
Dioxinas <sup>2</sup>	550.000.000,00 (USD/kg)	1.420.650.000,00

Fontes: <sup>1</sup>UK, 2023; <sup>2</sup>Martinez-Sanchez *et al.*, 2017.

O custo de danos é uma medida utilizada para quantificar os impactos econômicos da poluição do ar, e se refere aos efeitos adversos dos poluentes sobre a saúde humana. Sua forma de cálculo é complexa, pois envolve modelagem de dispersão e exposição dos poluentes, fazendo uso, ainda, de funções de dose-resposta para relacionar a estimativa da exposição aos impactos na saúde. Já a atribuição de valores monetários aos impactos identificados é realizada pelos respectivos custos de saúde e perda de produtividade causados. Uma vez que são expressos em termos monetários por tonelada de poluente emitido, servem de referência para a atribuição de valor econômico no caso dos resíduos da área de estudo.

A conversão dos valores de libras esterlinas para reais é realizada a partir da taxa de câmbio que exprime a paridade do poder de compra do real para o dólar americano

(R\$ 2,58) e da libra para o dólar americano (£ 0,65), o que resulta em uma conversão de R\$ 3,97/£ (ambos calculados pela OECD, 2024). A conversão por paridade do poder de compra foi adotada por medir quanto uma unidade monetária pode adquirir em termos de uma cesta de bens e serviços nos diferentes países, o que reflete o custo de vida local e é, portanto, mais aderente aos valores subjacentes do custo social do que a taxa de câmbio de mercado, sujeita às flutuações do mercado cambial (que é, por sua vez, ditado pelos níveis de importações e exportações e fluxos de capital).

Uma vez que o valor do custo social da dioxina não consta do estudo britânico, utiliza-se do detalhado levantamento de Martinez-Sanchez *et al.* (2017), realizado nos Estados Unidos. Os autores estimaram o custo do dano dessa externalidade com base na metodologia de análise de ciclo de vida (*Societal Life-Cycle Costing - S-LCC*), desvendando um valor de 550 milhões dólares americanos por quilograma de resíduo. A conversão deste valor para reais também utilizou da taxa em paridade de poder de compra ao invés da taxa de câmbio de mercado. Embora o valor por quilograma seja extremamente alto, refletindo o alto dano potencial, a quantidade emitida pelos parâmetros legais é bastante diminuta.

Uma vez desvendado o valor das externalidades sociais das emissões atmosféricas de âmbito local para a coleta de resíduos e para cada tecnologia de tratamento e disposição final de resíduos, basta aplicá-lo aos quantitativos de resíduos que são tratados por cada tecnologia em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

### **Externalidades de poluição atmosférica global**

Primeiramente, justifica-se a classificação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) como poluição atmosférica dado que se alteram as propriedades naturais da mesma. Embora os GEE, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), sejam essenciais para manter o planeta Terra habitável ao reter parte da energia solar, o excesso desses gases motivado pelas emissões antrópicas provoca amplo

desequilíbrio nessa função natural, resultando em um aumento das temperaturas globais e eventos climáticos extremos.

Tal como para a emissão de poluição atmosféricas de efeito local, os de efeito global também são gerados em diversas etapas da gestão de RSU, desde a coleta e transporte até as diversas formas de tratamento e disposição final. Conforme se demonstrou no item de benefícios da reciclagem, esta prática também deve ser considerada no balanço das emissões de GEE, pois economiza emissões em relação ao que ocorreria no processamento de matérias primas virgens.

Para realizar as estimativas de variação de GEE nas diferentes rotas tecnológicas simuladas, utiliza-se de outra ferramenta produzida no âmbito do projeto ProteGEEr, promovido pela Cooperação Técnica Brasil–Alemanha e pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (por meio da Secretaria Nacional de Saneamento), denominada "Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para o Brasil" (Giegrich, 2021).

A doravante denominada Ferramenta-GEE foi totalmente adaptada para o contexto brasileiro, ou seja, foram adotados, sempre que possível, fatores de emissão específicos para o Brasil. Na ausência de dados locais, foram adotados dados apropriados de outras partes do mundo. A abordagem metodológica foi a de Ciclo de Vida, que considera as emissões de GEE de processos de reciclagem e produção primária, calculando o balanço líquido entre eles. Já para a disposição final em aterro sanitário, a ferramenta considera a eficiência de coleta de gás e seu tratamento (geração de energia), exprimindo assim um balanço completo das emissões e seus conflitos de escolha. De forma importante, a Ferramenta-GEE traz integração com a Ferramenta de Rotas e Custos (GIZ, 2021), facilitando a realização da comparação das emissões sob as exatas mesmas premissas das RT simuladas. A saída da ferramenta é o balanço líquido de emissões de GEE gerados por cada RT (em tCO<sub>2eq</sub> por ano), segregando as relacionadas à reciclagem e às demais opções de tratamento e disposição final dos resíduos (Giegrich, 2021).

Uma das características da gestão de resíduos sólidos é sua capacidade de promover a geração de energia elétrica. Sob a lógica do custo de oportunidade, um MWh gerado a partir de resíduos deixa de demandar a geração deste mesmo MWh a partir de outras fontes. A Ferramenta-GEE considera esse deslocamento de emissões, e faz uso do parâmetro de 93 g CO<sub>2eq</sub>/kWh, representativo das emissões de GEE da matriz elétrica brasileira de 2017. Este valor é utilizado para calcular as emissões de GEE associadas ao consumo de eletricidade e também para os benefícios da eletricidade gerada a partir de tecnologias de tratamento de resíduos, como a captura e aproveitamento energético de biogás em aterros sanitários, biodigestão ou incineração (Giegrich, 2021).

A Ferramenta-GEE, no entanto, não aborda as diferenças promovidas pela coleta e transporte dos resíduos. Da mesma forma que se estimou a variação na poluição atmosférica de âmbito local, realiza-se então a estimativa da variação das emissões de GEE (devido ao uso de combustíveis fósseis nos veículos de transporte) para a diferença entre o acréscimo de caminhões coletores seletivos (caminhões baú) e o decréscimo de caminhões compactadores.

Como parâmetros de emissão veicular, utiliza-se da referência do "Manual de Priorização de Ações e Avaliação Socioeconômica para Apoio ao Planejamento de Sistemas e Infraestruturas de Transportes" editado pela Infra S/A (2022), que fornece diretrizes para a avaliação de projetos de infraestrutura de transporte. O Manual detalha a aplicação do método da Análise Socioeconômica de Custo-Benefício (ACB) no setor de transportes, e apresenta um catálogo de parâmetros referenciais para facilitar essa aplicação.

Dentre estes parâmetros, identifica-se o da emissão de 0,00006516 tCO<sub>2eq</sub> por tku (tonelada por quilometro útil) para veículos rodoviários de 3 eixos transportando cargas gerais. Uma vez que os caminhões coletores não rodam sempre com a capacidade plena (ao contrário, só a atingem imediatamente antes de encerrarem a rota de coleta e seguirem ao destino), adota-se a fração de um quinto para calcular o

tku. Uma vez que se tem a estimativa de quilômetros úteis na coleta (cerca de 3 mil por mês) e a carga média de resíduos para o CCL e Baú representativos, basta realizar a multiplicação do parâmetro de emissão à variação respectiva em tku promovida por cada RT em cada arranjo ou município com solução individual. Finalmente, com base nesse mesmo conjunto de informações e premissas, estima-se o custo social da emissão de GEE para a variação na distância máxima de cada um dos arranjos intermunicipais propostos e a destinação final, completando assim o cálculo do balanço das variações nessa relevante externalidade.

**Valor econômico da externalidade de emissões de âmbito global:** O custo social das emissões de gases de efeito estufa é calculado com base nos gastos necessários para compensar os impactos das mudanças climáticas na sociedade. Claramente, é um custo que diminui com o controle rígido das emissões e aumenta caso ocorra (o que infelizmente ocorre na prática) a falta de limite para as emissões. Não se tem equivalência ao valor de mercado da emissão evitada (custo de abatimento), e suas estimativas são realizadas com base em modelos que incluem projeções socioeconômicas, mudanças climáticas, valoração dos danos e benefícios, e cálculo do fluxo futuro dos custos descontados.

O custo social do carbono tem sido objeto de diversas estimativas ao longo dos anos, refletindo a evolução do entendimento sobre os impactos das mudanças climáticas. Recentemente, a EPA americana incorporou os avanços científicos recentes e atualizou suas estimativas, colocando o custo social do carbono entre 120 e 340 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> até o ano de 2029. Entre 2030 e 2039, o intervalo sobe para 140 a 380 US\$/t CO<sub>2</sub>, sendo que após 2040 o intervalo passa a ser de 170 a 430 US\$/t CO<sub>2</sub> (EPA, 2023).

No Brasil, não há estimativas oficiais sobre o custo social do carbono, embora o IPEA tenha publicado uma nota técnica com valores de referência (bastante baixos) de US\$ 8,45 tCO<sub>2eq</sub> em 2022; US\$ 14,29 tCO<sub>2eq</sub> em 2030; US\$ 16,42 tCO<sub>2eq</sub> em 2040; e US\$ 18,29 tCO<sub>2eq</sub> em 2050 (IPEA, 2022). Tomando-se, conservadoramente, os resultados da

publicação nacional como *proxy* do custo social do carbono, converte-se então as estimativas para reais com base na taxa de câmbio de R\$ 4,85 por dólar americano.

Uma vez desvendado o valor das externalidades sociais das emissões atmosféricas de âmbito global para a coleta de resíduos, para cada tecnologia de tratamento e disposição final de resíduos e também para a reciclagem (utilizando-se da Ferramenta-GEE, à exceção da coleta), basta aplicá-lo aos quantitativos de resíduos que são tratados por cada tecnologia em cada RT de cada arranjo intermunicipal ou solução municipal individual.

#### 7.3.3.4. Viabilidade, risco e análise distributiva

O presente Subcapítulo aborda os indicadores de viabilidade da análise socioeconômica de custo-benefício. Salienta-se que, mesmo na fase estratégica de concepção das Rotas Tecnológicas, não se pode prescindir da análise de risco e a da análise distributiva, ambas utilizadas para complementar e qualificar a tomada de decisão. São análises que entraram para o rol de boas práticas internacionais de avaliação de investimentos, uma vez que agregam muita riqueza de informações e dão robustez aos encaminhamentos do projeto, mesmo quando os resultados dos indicadores são positivos.

- **Indicadores de viabilidade**

Dando sequência aos passos estabelecidos pelo Guia ACB (Brasil, 2022), após a estimativa dos custos, benefícios e externalidades, monta-se o fluxo de distribuição destes ao longo do horizonte de análise. Com base no resultado líquido entre cada RT simulada e seu resultado na RT Contrafactual (linha de base) realiza-se, finalmente o cálculo dos indicadores de viabilidade. Esse cálculo requer descontar o fluxo, ou seja, trazer seus valores para uma base presente e comparável a quaisquer outras decisões de investimento, o que se faz com a Taxa Social de Desconto de 8,5% ao ano, constante do Catálogo de Parâmetros Brasil e IPEA (2022).

Os indicadores de viabilidade socioeconômica são abaixo apresentados, seguindo os padrões metodológicos internacionalmente reconhecidos e o guia brasileiro de ACB (BRASIL, 2022).

- **Valor Social Presente Líquido Comparativo ( $\Delta$ VSPL):** indicador expresso em unidades monetárias (R\$), representa a diferença entre o total de benefícios e custos econômicos trazidos a valor presente por meio da aplicação da Taxa de Social de Desconto. Sintetiza, em um único número, o saldo líquido de custos e benefícios no momento presente, entre a RT simulada e a RT contrafactual, permitindo compará-lo a quaisquer outras opções de investimento de interesse social.
- **Valor Anual Equivalente (VAE):** Indicador expresso em unidades monetárias (R\$), representa o valor que, se recebido anualmente pela vida útil da intervenção, teria o mesmo VSPL que o próprio projeto. É redundante ao  $\Delta$ VSPL, ou seja, caso este for positivo, aquele também o será. Uma vez que é expresso em R\$/ano, trata-se de um indicador que facilita a comunicação dos resultados socioeconômicos.
- **Taxa de Retorno Econômica (TRE):** Indicador expresso em variação percentual (%), corresponde ao retorno socioeconômico do projeto ao ser calculado como a taxa de desconto que resulta em um valor igual a zero para o  $\Delta$ VSPL. Sua interpretação se dá na comparação com a Taxa Social de Desconto (TSD), pois esta última representa o custo de oportunidade do recurso público.
- **Índice Benefício-Custo (B/C):** Indicador expresso pelo quociente entre os valores presentes de benefícios e custos econômicos, é adimensional. Seu cálculo permite demonstrar de forma muito clara e simples o resultado da análise, pois quando os benefícios superam os custos, o índice B/C é maior do que a unidade; caso contrário, é inferior a unidade.

Nota-se que a primeira e mais importante abordagem na interpretação dos resultados é o indicador de valor social presente líquido comparativo ( $\Delta VSPL$ ), cuja interpretação é bastante direta: resultados negativos devem ser rejeitados, pois seus custos superam os benefícios; ao contrário, um  $\Delta VSPL$  positivo indica a superação dos custos pelos benefícios, ou seja, permitem que os beneficiários mais do que compensem os prejudicados e que haja a produção de valor social líquido positivo. Uma vez que o resultado é comparativo (incremental à linha de base), tem-se a métrica do valor agregado à sociedade.

Eis que, mesmo com um  $\Delta VSPL$  maior do que zero, o projeto pode não promover a eficiência no uso do recurso econômico de finalidade social, pois pode não superar o custo de oportunidade. A segunda abordagem, portanto, é baseada na Taxa de Retorno Econômica do projeto (TRE), cuja comparação se dá com a Taxa Social de Desconto (TSD) utilizada. Projetos com TRE inferior à TSD sinalizam para o uso excessivo de recursos valiosos e escassos da sociedade, enquanto realiza benefícios demasiadamente modestos; o oposto, no entanto, pode ser afirmado: projetos com TRE superior à TSD agregam valor à sociedade e devem - *ceteris paribus* - ser perseguidos.

Já o uso do índice Benefício/Custo, por sua vez, é complementar à análise e pode ser útil na comparação entre projetos e na comunicação de seus resultados. Uma vez que é adimensional, deve sempre ser interpretado em conjunto com o  $\Delta VSPL$  e com a TRE. Afinal, o índice B/C apresenta o tamanho relativo dos benefícios em comparação com os custos, enquanto o  $\Delta VSPL$  está preocupado com o tamanho absoluto dos benefícios em comparação com os custos.

- **Análise de risco**

Segundo o Guia ACB (BRASIL, 2022), a análise de risco é ambivalente: lida de forma explícita com as incertezas inerentes às modelagens e projeções da avaliação (análise de sensibilidade); assim como permite endereçar riscos de desempenho e

outros. Parte da análise de sensibilidade é realizada pela comparação dos resultados padrão da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, que são calculados sob as premissas do cenário tendencial de crescimento demográfico, com os resultados dos dois cenários extremos (combinações 6 e 11) de população e geração de RSU. Dessa forma, estes fatores exógenos ao gestor público podem ser compreendidos em seu intervalo de variação plausível. Essa análise comparativa entre o cenário tendencial e os cenários máximo e mínimo, tal como para a análise financeira, é descrita para cada arranjo.

Além dos cenários, e ainda conforme o Guia ACB, a análise de risco de forma probabilística, aplicando-se o método de Monte Carlo. Objetiva-se incorporar as incertezas inerente às estimativas da ACB e elementos quantitativos de risco, tal como atrasos e sobrecustos (BRASIL, 2022). Como uma forma simples de operacionalizar a análise probabilística das RT simuladas, adotam-se os seguintes pressupostos: impõe-se uma variação de 0% a 200%, seguindo uma distribuição normal, para cada um dos benefícios e externalidades considerados (quais sejam: benefício da reciclagem de redução do custo de insumos de produção, benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção, benefício da reciclagem de redução do consumo de água na produção, benefício da reciclagem de redução da pressão por desmatamento, benefício social da redução da fragilidade social de catadores, benefícios da ciclagem da matéria orgânica, benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário, variação na poluição atmosférica de âmbito local e variação na poluição atmosférica de âmbito global). Também de forma simplificada, alocam-se as seguintes variações aos custos sociais de Capex e Opex: de 80% a 140%, seguindo uma distribuição normal. O intervalo dos custos é maior para a faixa superior do que para a inferior, pois sabe-se que há maiores chances de orçamentos serem avançados do que estimados a menor. Por fim, um último e importante elemento de variação que se coloca na análise é quanto a TSD. A partir da distribuição normal, simula-se a variação na TSD no intervalo de 5,7% a 11,4%. Este é o intervalo trazido pelo Catálogo de Parâmetros para

a avaliação da TRE, recomendando que resultados inferiores a 5,7% sejam descontinuados ou substancialmente revistos; e que resultados acima de 11,4% sejam considerados viáveis.

Dessa forma, em alguns sorteios aleatórios durante a execução do método, alguns dos benefícios serão majorados - refletindo a adoção de premissas conservadoras e subvalorização dos efeitos positivos; por outro lado, outros benefícios serão reduzidos - refletindo as diversas incertezas acerca dos parâmetros e valores adotados. Os custos sociais também apresentarão variações aleatórias, permitindo inferir, pela leitura estatística dos 9.999 sorteios que são produzidos para cada arranjo intermunicipal e cada solução individual municipal, as variações possíveis dos resultados.

- **Análise distributiva**

O último item que deve compor a avaliação socioeconômica é o de análise distributiva. Segundo o Guia ACB (BRASIL, 2022), trata-se de compreender a distribuição dos custos e dos benefícios do projeto entre os usuários do serviço e demais partes interessadas, com o objetivo de garantir que a avaliação tenha incorporado fatores de equidade que maximizem os efeitos progressivos do investimento público.

Nesse caso, torna-se bastante evidente que todas as RT simuladas agregam valor distributivo e são de fato progressivas. A demonstração dos quantitativos de catadores autônomos que podem ser formalizados em cada RT atesta para essa conclusão, assim como o faz a inclusão do benefício de redução de sua fragilidade social.

## 7.4. Resultados da Avaliação das Rotas Tecnológicas

Para cada um dos arranjos intermunicipais propostos, bem como para os municípios com soluções individuais, são aqui apresentados os resultados técnicos (quantitativos, como o balanço de massa, os catadores formalizados e a fração de

recuperação de resíduos), financeiros (despesas, receitas e seus resultados consolidados) e socioeconômicos (custos e benefícios consolidados) resumidos. Os resultados pormenorizados são apresentados e discutidos nos Apêndices.

Tal como descrito na metodologia, os resultados da modelagem são apresentados em seus valores incrementais ao cenário contrafactual. Dessa forma, os resultados de cada rota tecnológica devem ser somados aos valores da rota contrafactual para obtenção do valor total da rota estudada.

### *7.4.1. Resultados para os arranjos sob a Lógica de Consórcios*

Os resultados resumidos de cada um dos arranjos intermunicipais propostos sob a lógica orientadora de Consórcios existentes são apresentados nos subcapítulos 7.4.1.1 ao 7.4.1.6, enquanto análises pormenorizadas são apresentadas nos Apêndices.

#### *7.4.1.1. Consórcio CIMBAJU*

O Consórcio CIMBAJU integra os municípios de Caieiras, Cajamar, Francisco Morato e Franco da Rocha.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico, financeira e socioeconômica para o arranjo Consórcio CIMBAJU, tem-se os resultados - em Valor Presente Líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 134,68 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 216,12 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 12,97 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 248,98 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 0,13

milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 10,19 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 11,47 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CIMBAJU tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 465,1 milhões em VPL, compensados em 2,49% pelo total de R\$ 11,6 milhões em VPL de receitas acessórias. Para facilitar a compreensão do resultado líquido (despesas menos receitas) de R\$ 453,5 milhões em VPL desta RT Contrafactual, pode-se utilizar do conceito de Valor Anual Equivalente (VAE), que é uma medida que converte o valor presente líquido em uma série de pagamentos anuais iguais ao longo da vida útil considerada. No caso deste arranjo, o VAE aponta despesas de R\$ 46,23 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 343,25 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 88,65 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de pífiás 25 t/ano, efetivamente desviando 14 toneladas de recicláveis. Para tanto, estima-se que não haja emprego de caminhões baú e que o trabalho de apenas 1 triador formal dê conta dos proventos da coleta seletiva formal. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das Rotas**

O arranjo Consórcio CIMBAJU não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 3 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de

realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,84% do total, requerendo para tal a contratação de 300 triadores de resíduos e de 176 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 28,5% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 46,15 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 11,21% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 45 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 11,75 mil t/ano em adição à recuperação de 5,17 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 0,01 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 51,86, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 13,39. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 0,65 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (4,05, que demonstra que os benefícios superam os custos em 305%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 66,15 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar

R\$ 30,34 milhões em VPL para o arranjo Consórcio CIMBAJU. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 165,93 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 257,54 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,08 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 192,18 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 65,36 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os negativos R\$ 63,01 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada município tem de arcar com a diferença de R\$ 12,32 por ano, ou ainda R\$ 1,03 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 47,69/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é também a que agrega maior valor líquido para a sociedade. Ao se optar por esta rota, os 4 municípios do arranjo ganham R\$ 0,68 bilhões em valor presente. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 69,75 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CIMBAJU na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,9 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSP (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 146,16 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 109,03 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 1,24% e de

42,71%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 203,79 milhões em VPL e aumentam em R\$ 192,18 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 131,23 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 71,9% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,09 vezes (69,8% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,4%, ou seja, 116,37 mil toneladas anuais (supera em 1,35 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 373,89 milhões ( $\Delta$ V SPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ V SPL de R\$ 84,64 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 16,28 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 63,25 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 26,94 mil t/ano desta fração e produz 21,5 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 83,5 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a

meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 540,91 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 143,33 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 91 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,65 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 66,15 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 35,34 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,16% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 91: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CIMBAJU.

CIMBAJU	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,014</b>	<b>0,01</b>	-	<b>216,12</b>	<b>248,98</b>	<b>465,1</b>	<b>0,13</b>	<b>11,47</b>	<b>0</b>	<b>11,6</b>	<b>-453,5</b>	<b>-46,23</b>	<b>343,25</b>	<b>88,65</b>	-	-	<b>131</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	5,17	3,80	35,24	3,27	82,43	120,95	50,71	-0,05	0	50,67	-70,29	-7,16	53,2	13,74	174,64	17,80	-11,63	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	16,92	12,60	112,9	3,15	118	234,05	165,93	-0,40	0	165,54	68,52	-6,98	51,86	13,39	648,90	66,15	-41,19	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	49,08	36,40	235,2	2,82	146,69	384,71	165,93	-2,55	0	163,39	-221,32	-22,56	167,52	43,26	546,88	55,75	-99,58	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	59,38	44,10	251,71	12,39	140,5	404,59	165,93	-3,23	0	162,70	-241,90	-24,66	183,09	47,28	540,91	55,14	-117,59	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	61,89	46,00	146,16	2,68	106,34	255,19	165,93	-4,09	30,34	192,18	-63,01	-6,42	47,69	12,32	684,24	69,75	-131,23	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	94,06	69,80	268,46	2,35	135,03	405,85	165,93	-6,24	30,34	190,03	-215,81	-22,00	163,35	42,19	599,6	61,12	-222,80	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	116,37	86,40	408,44	2,12	283,01	693,56	165,93	91,61	0	257,54	-436,02	-44,45	330,02	85,23	310,34	31,64	-212,26	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.4.1.2. Consórcio CIOESTE

O Consórcio CIOESTE integra os municípios de Carapicuíba, Jandira, Pirapora do Bom Jesus, Santana do Parnaíba e São Roque.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CIOESTE, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 261,38 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 585,99 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 17,38 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 541,12 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 35,15 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 19,75 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 22,23 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CIOESTE tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1.127,11 milhões em VPL, compensados em 5,09% pelo total de R\$ 57,38 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 109,05 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 417,2 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 137,09 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 6,52 mil t/ano, efetivamente desviando 3,58 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 29 caminhões baú e com o trabalho de 208 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo Consórcio CIOESTE apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,48% do total, requerendo para tal a contratação de 376 triadores de resíduos e de 220 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 56,15% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 89,56 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,23% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 100 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 22,8 mil t/ano em adição à recuperação de 6,48 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 3,58 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de negativos R\$ 1,59, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 0,52 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 1,23 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (5,75, que demonstra que os benefícios superam os custos em 475%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 124,94 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 58,89 milhões em VPL para o arranjo Consórcio CIOESTE. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 287,13 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 464,96 milhões), superando a rota de menor complexidade em 7,33 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 374,31 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 90,65 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 6,59 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 0,84 por

ano por habitante (R\$ 2,57/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 5 municípios do arranjo geram R\$ 1,29 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 131,15 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CIOESTE na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,13 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 250,64 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 80,88 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,45% e de 14,46%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 395,5 milhões em VPL e aumentam em R\$ 338,11 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 246,68 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 69,8% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,07 vezes (68,5% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85%, ou seja, 222,28 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico do melhor tratamento térmico é R\$ 436,73 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior

do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 98 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 31,6 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 122,75 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 52,28 mil t/ano desta fração e produz 41,72 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 162,06 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 1044,54 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 242,03 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 92 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 1,23 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 124,94 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 60,91 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,73% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 92: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CIOESTE.

CIOESTE	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>3,58</b>	<b>1,37</b>	-	<b>585,99</b>	<b>541,12</b>	<b>1.127,11</b>	<b>35,15</b>	<b>22,23</b>	-	<b>57,38</b>	<b>-1.069,72</b>	<b>-109,05</b>	<b>417,20</b>	<b>137,09</b>	-	-	<b>247,14</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,48	2,48	56,90	4,20	99,66	160,76	63,53	-0,06	0,00	63,47	-97,29	-9,92	37,94	12,47	209,55	21,36	-14,57
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,28	11,20	173,41	3,88	105,04	282,33	287,13	-0,74	0,00	286,40	4,07	0,42	-1,59	-0,52	1.225,66	124,94	-71,94
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	91,70	35,08	366,64	3,01	135,15	504,79	287,13	-4,91	0,00	282,23	-222,57	-22,69	86,80	28,52	1.094,15	111,54	-185,25
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	111,69	42,73	400,22	59,58	126,67	586,47	287,13	-6,25	0,00	280,89	-305,58	-31,15	119,18	39,16	1.044,54	106,48	-220,20
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	116,56	44,60	250,64	2,66	78,22	331,52	287,13	-7,91	58,89	338,11	6,59	0,67	-2,57	-0,84	1.286,58	131,15	-246,68
	RT com geração de CDR, com biodigestão	178,98	68,48	443,87	1,79	108,34	553,99	287,13	-12,08	58,89	333,94	-220,05	-22,43	85,82	28,20	1.188,58	121,16	-424,40
	RT com gaseificação, sem biodigestão	222,28	85,04	616,03	1,18	257,71	874,92	287,13	177,83	0,00	464,96	-409,96	-41,79	159,89	52,54	849,85	86,63	-403,94
	RT com incineração, sem biodigestão	159,86	61,16	1.127,78	2,05	412,86	1.542,69	287,13	87,18	0,00	374,31	-1.168,38	-119,10	455,67	149,73	59,29	6,04	-246,89
	RT com incineração, com biodigestão	222,28	85,04	1.321,00	1,18	442,97	1.765,16	287,13	83,00	0,00	370,14	-1.395,02	-142,21	544,07	178,77	-72,72	-7,41	-360,20

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.4.1.3. Consórcio CONISUD

O Consórcio CONISUD integra os municípios de Cotia, Embu-Guaçu, Jujuitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CONISUD, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 256,13 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 843,08 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 25,24 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 514,9 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 24,81 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 19,36 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 21,79 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CONISUD tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1357,98 milhões em VPL, compensados em 3,43% pelo total de R\$ 46,6 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 133,68 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 521,92 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 179,83 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 4,6 mil t/ano, efetivamente desviando 2,53 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 20 caminhões baú e com o trabalho de 147 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo Consórcio CONISUD apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,86% do total, requerendo para tal a contratação de 425 triadores de resíduos e de 249 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 79,05% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 87,76 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 8,35% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 95 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 22,35 mil t/ano em adição à recuperação de 7,33 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 2,53 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 1,93, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 0,66. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 1,24 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (5,6, que demonstra que os benefícios superam os custos em 460%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 126,08 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 57,71 milhões em VPL para o arranjo Consórcio CONISUD. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 291,01 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 465,26 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,48 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 376,43 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 88,83 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os negativos R\$ 2,73 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 0,37 por ano, ou ainda R\$ 0,03 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 1,09/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da

almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 6 municípios do arranjo geram R\$ 1,3 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 132,06 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CONISUD na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,02 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 247,2 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 96,48 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,26% e de 18,31%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 387,56 milhões em VPL e aumentam em R\$ 340,96 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 243,94 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 70,4% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (68,9% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,4%, ou seja, 218,8 mil toneladas anuais (supera em 1,34 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$

431,49 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 97,72 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 30,97 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 120,28 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 51,23 mil t/ano desta fração e produz 40,88 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 158,81 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 1068,8 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 226,69 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 93 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 1,24 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 126,08 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 58,63 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,53% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 93: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CONISUD.

CONISUD	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>2,53</b>	<b>0,99</b>	-	<b>843,08</b>	<b>514,90</b>	<b>1.357,98</b>	<b>24,81</b>	<b>21,79</b>	-	<b>46,60</b>	<b>-1.311,38</b>	<b>-133,68</b>	<b>521,92</b>	<b>179,83</b>	-	-	<b>244,07</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	7,33	2,86	55,92	4,40	113,13	173,46	71,89	-0,07	0,00	71,83	-101,63	-10,36	40,45	13,94	245,03	24,98	-16,49
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,68	11,59	171,01	3,95	120,17	295,13	291,01	-0,73	0,00	290,28	-4,85	-0,49	1,93	0,66	1.236,86	126,08	-72,71
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	90,84	35,47	361,17	2,71	150,49	514,36	291,01	-4,82	0,00	286,19	-228,17	-23,26	90,81	31,29	1.106,22	112,77	-183,74
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	110,43	43,12	392,99	46,38	142,19	581,56	291,01	-6,13	0,00	284,88	-296,67	-30,24	118,08	40,68	1.068,80	108,95	-217,99
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	115,20	44,98	247,20	2,21	94,27	343,69	291,01	-7,76	57,71	340,96	-2,73	-0,28	1,09	0,37	1.295,49	132,06	-243,94
	RT com geração de CDR, com biodigestão	176,37	68,86	437,36	0,97	124,59	562,92	291,01	-11,85	57,71	336,87	-226,05	-23,04	89,97	31,00	1.197,77	122,10	-418,09
	RT com gaseificação, sem biodigestão	218,80	85,42	605,58	0,11	273,35	879,04	291,01	174,25	0,00	465,26	-413,78	-42,18	164,68	56,74	864,01	88,08	-398,05
	RT com incineração, sem biodigestão	157,63	61,54	1.116,55	1,35	425,59	1.543,50	291,01	85,42	0,00	376,43	-1.167,07	-118,97	464,49	160,04	79,47	8,10	-244,15
	RT com incineração, com biodigestão	218,80	85,42	1.306,71	0,11	455,91	1.762,73	291,01	81,33	0,00	372,34	-1.390,39	-141,74	553,37	190,66	-51,43	-5,24	-355,18

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.1.4. Consórcio CONDEMAT com Guarulhos

O Consórcio CONDEMAT integra os municípios de Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Mairiporã, Mogi das Cruzes, Nazaré Paulista, Paraibuna, Poá, Salesópolis e Santa Isabel.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos), tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 881,99 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 3.935,97 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 34,43 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1.771,76 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 82,39 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 65,12 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 73,29 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 5.707,73 milhões em VPL, compensados em 2,73% pelo total de R\$ 155,68 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 565,97 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 641,7 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 227,65 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 16,31 mil t/ano, efetivamente desviando 8,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto,

conta-se com o emprego de 72 caminhões baú e com o trabalho de 521 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 3 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,9% do total, requerendo para tal a contratação de 1.482 triadores de resíduos e de 868 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 29,15% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 324,57 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,87% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 352 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 83,78 mil t/ano em adição à recuperação de 25,54 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 8,97 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,45% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 24,26, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 8,61 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 4,61 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,38, que demonstra que os benefícios superam os custos em 638%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 469,66 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 201,71 milhões em VPL para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos). A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 1.004,26 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1.614,17 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,89 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1.303,99 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 310,18 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 340,78 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada

sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 13,97 por ano por habitante (R\$ 39,39/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 12 municípios do arranjo geram R\$ 4,94 bilhões positivos em  $\Delta$ V SPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 503,23 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,21 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ V SPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 680,15 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 157,34 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,05% e de 8,76%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 1.333,94 milhões em VPL e aumentam em R\$ 1.178,26 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 895,28 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 72,4% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,07 vezes (68,5% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,3%, ou seja, 752,25 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado

socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 1.232,71 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 207,1 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 99,19 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 385,3 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 176,4 mil t/ano desta fração e produz 133,35 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 517,95 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 4.277,33 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 659,28 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 94 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com geração de CDR, com biodigestão), opção que gera R\$ 4,73 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 482,12 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 207,1 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,2% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 94: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

CONDEMAT com Guarulhos	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>8,97</b>	<b>1,02</b>	-	<b>3.935,97</b>	<b>1.771,76</b>	<b>5.707,73</b>	<b>82,39</b>	<b>73,29</b>	-	<b>155,68</b>	<b>-5.552,05</b>	<b>-565,97</b>	<b>641,70</b>	<b>227,65</b>	-	-	<b>880,11</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	25,54	2,90	171,41	12,70	384,39	568,50	234,64	-0,44	0,00	234,20	-334,30	-34,08	38,64	13,71	835,36	85,16	-59,15
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	109,32	12,40	486,50	10,38	294,14	791,01	1.004,26	-3,32	0,00	1.000,94	209,93	21,40	-24,26	-8,61	4.607,29	469,66	-275,49
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	305,25	34,61	1.018,44	4,96	365,29	1.388,69	1.004,26	-16,42	0,00	987,84	-400,84	-40,86	46,33	16,44	4.291,39	437,46	-640,26
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	372,71	42,26	1.085,11	149,57	260,08	1.494,77	1.004,26	-20,93	0,00	983,33	-511,44	-52,14	59,11	20,97	4.277,33	436,03	-761,33
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	408,29	46,29	680,15	2,11	155,23	837,48	1.004,26	-27,71	201,71	1.178,26	340,78	34,74	-39,39	-13,97	4.936,61	503,23	-895,28
	RT com geração de CDR, com biodigestão	604,22	68,51	1.212,09	-3,32	226,38	1.435,16	1.004,26	-40,81	201,71	1.165,16	-270,00	-27,52	31,21	11,07	4.729,51	482,12	-1.467,66
	RT com gaseificação, sem biodigestão	752,25	85,29	1.917,15	-7,41	471,81	2.381,55	1.004,26	609,91	0,00	1.614,17	-767,38	-78,23	88,69	31,46	3.703,90	377,57	-1.400,73
	RT com incineração, sem biodigestão	556,32	63,08	3.045,65	-1,99	1.032,05	4.075,71	1.004,26	299,73	0,00	1.303,99	-2.771,72	-282,55	320,35	113,65	1.610,26	164,15	-896,69
	RT com incineração, com biodigestão	752,25	85,29	3.577,59	-7,41	1.103,21	4.673,38	1.004,26	286,63	0,00	1.290,89	-3.382,49	-344,81	390,94	138,69	1.293,30	131,84	-1.261,45

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.1.5. Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos

O Consórcio CONDEMAT integra os municípios de Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Mairiporã, Mogi das Cruzes, Nazaré Paulista, Paraibuna, Poá, Salesópolis e Santa Isabel. Neste caso, a modelagem foi realizada excluindo-se o município de Guarulhos.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos), tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 551,17 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 3.294,63 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 44,38 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1138,69 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 73,99 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 41,65 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 46,88 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 4.433,32 milhões em VPL, compensados em 2,73% pelo total de R\$ 120,87 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 439,61 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 797,59 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 388,05 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 13,72 mil t/ano, efetivamente desviando 7,55 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 61 caminhões baú e com o trabalho de 438 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,58% do total, requerendo para tal a contratação de 826 triadores de resíduos e de 483 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 55,32% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 188,85 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,54% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 210 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 47,76 mil t/ano em adição à recuperação de 14,23 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 7,55 mil t/ano recuperadas

atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,82% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 16,93, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 8,24 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 2,67 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (6,67, que demonstra que os benefícios superam os custos em 567%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 272,37 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 124,15 milhões em VPL para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos). A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 607,92 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 982,62 milhões), superando a rota de menor complexidade em 7,05 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 791,21 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 191,42 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 135,71 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão,

representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 12,21 por ano por habitante (R\$ 25,1/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 11 municípios do arranjo geram R\$ 2,83 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 288,79 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 6,14 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 462,26 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 117,41 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0% e de 10,3%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 836,25 milhões em VPL e aumentam em R\$ 715,39 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 520,52 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 69,8% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,07 vezes (68,5% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao

aterro sanitário, podendo chegar a 85,1%, ou seja, 468,78 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 823 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 198,11 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 66,64 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 258,84 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 110,23 mil t/ano desta fração e produz 87,98 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 341,74 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 2.409,23 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 423,75 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 95 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que

a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 2,67 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 272,37 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 161,07 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,69% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 95: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

CONDEMAT sem Guarulhos	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>7,55</b>	<b>1,37</b>	-	<b>3.294,63</b>	<b>1.138,69</b>	<b>4.433,32</b>	<b>73,99</b>	<b>46,88</b>	-	<b>120,87</b>	<b>-4.312,46</b>	<b>-439,61</b>	<b>797,59</b>	<b>388,05</b>	-	-	<b>521,17</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	14,23	2,58	112,47	8,42	214,20	335,08	139,58	-0,13	0,00	139,45	-195,63	-19,94	36,18	17,60	476,26	48,55	-32,02
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	61,99	11,25	319,80	6,71	188,30	514,81	607,92	-1,55	0,00	606,37	91,56	9,33	-16,93	-8,24	2.671,91	272,37	-152,17
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	193,62	35,13	706,04	2,02	265,68	973,74	607,92	-10,35	0,00	597,57	-376,17	-38,35	69,57	33,85	2.402,95	244,95	-391,12
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	235,77	42,78	757,78	114,60	148,82	1.021,19	607,92	-13,17	0,00	594,75	-426,44	-43,47	78,87	38,37	2.409,23	245,59	-464,83
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	246,01	44,63	462,26	0,15	117,26	579,67	607,92	-16,69	124,15	715,39	135,71	13,83	-25,10	-12,21	2.832,98	288,79	-520,52
	RT com geração de CDR, com biodigestão	377,63	68,51	848,50	-4,55	194,64	1.038,60	607,92	-25,49	124,15	706,58	-332,01	-33,84	61,41	29,88	2.634,87	268,60	-895,29
	RT com gaseificação, sem biodigestão	468,78	85,05	1.247,57	-7,80	371,85	1.611,62	607,92	374,71	0,00	982,62	-628,99	-64,12	116,33	56,60	2.009,98	204,90	-852,21
	RT com incineração, sem biodigestão	337,16	61,17	2.016,93	-3,10	697,67	2.711,50	607,92	183,29	0,00	791,21	-1.920,29	-195,75	355,16	172,79	650,90	66,35	-521,07
	RT com incineração, com biodigestão	468,78	85,05	2.403,17	-7,80	775,06	3.170,42	607,92	174,49	0,00	782,41	-2.388,02	-243,43	441,66	214,88	380,14	38,75	-760,01

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.1.6. Consórcio Grande ABC

O Consórcio Grande ABC integra os municípios de Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio ABC, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 768,74 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 1.475,92 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 14,82 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1.622,62 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 119,16 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 56,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 63,79 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio ABC tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 3.098,53 milhões em VPL, compensados em 5,9% pelo total de R\$ 182,95 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 297,21 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 386,62 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 123,14 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 23,59 mil t/ano, efetivamente desviando 12,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 105 caminhões baú e com o trabalho de 753 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo Consórcio ABC apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,16% do total, requerendo para tal a contratação de 965 triadores de resíduos e de 565 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 32,21% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 282,89 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 5,88% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 328 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 73,31 mil t/ano em adição à recuperação de 16,62 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 12,97 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de negativos R\$ 24,37, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 7,76 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 3,78 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,44, que demonstra que os benefícios superam os custos em 644%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 385,79 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 175,83 milhões em VPL para o arranjo Consórcio ABC. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 826,11 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1.358,03 milhões), superando a rota de menor complexidade em 8,91 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1.087,88 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 270,15 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 279,55 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 11,81 por

ano por habitante (R\$ 37,07/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 6 municípios do arranjo geram R\$ 4,06 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 413,83 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio ABC na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,12 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 611,19 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 87,14 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,47% e de 4,95%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 1160,83 milhões em VPL e aumentam em R\$ 977,88 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 768,11 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 71,4% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,06 vezes (67,8% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,6%, ou seja, 650,47 mil toneladas anuais (supera em 1,32 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$

1.100,98 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 204,54 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 86,46 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 335,83 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 153,75 mil t/ano desta fração e produz 116,22 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 451,45 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 3.451,03 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 608,52 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 96 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com geração de CDR, com biodigestão), opção que gera R\$ 3,86 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 392,98 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 204,54 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,04% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 96: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Consórcio Grande ABC.

Grande ABC	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>12,97</b>	<b>1,69</b>	-	<b>1.475,92</b>	<b>1.622,62</b>	<b>3.098,53</b>	<b>119,16</b>	<b>63,79</b>	-	<b>182,95</b>	<b>-2.915,59</b>	<b>-297,21</b>	<b>386,62</b>	<b>123,14</b>	-	-	<b>756,82</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	16,62	2,16	148,77	10,87	250,18	409,82	152,72	-0,29	0,00	152,43	-257,39	-26,24	34,13	10,87	506,90	51,67	-38,50
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	89,93	11,70	433,51	10,00	196,01	639,52	826,11	-2,80	0,00	823,30	183,78	18,73	-24,37	-7,76	3.784,49	385,79	-227,79
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	260,70	33,91	911,62	7,96	270,28	1.189,86	826,11	-14,22	0,00	811,88	-377,97	-38,53	50,12	15,96	3.485,63	355,32	-545,71
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	319,50	41,56	969,66	200,86	138,39	1.308,91	826,11	-18,15	0,00	807,95	-500,96	-51,07	66,43	21,16	3.451,03	351,79	-651,24
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	350,54	45,60	611,19	6,89	80,25	698,33	826,11	-24,06	175,83	977,88	279,55	28,50	-37,07	-11,81	4.059,55	413,83	-768,11
	RT com geração de CDR, com biodigestão	521,31	67,81	1.089,30	4,86	154,51	1.248,67	826,11	-35,48	175,83	966,46	-282,21	-28,77	37,42	11,92	3.855,01	392,98	-1.266,99
	RT com gaseificação, sem biodigestão	650,47	84,61	1.689,38	3,32	386,96	2.079,66	826,11	531,93	0,00	1.358,03	-721,63	-73,56	95,69	30,48	2.958,57	301,59	-1.208,64
	RT com incineração, sem biodigestão	479,70	62,40	2.413,96	5,36	789,51	3.208,83	826,11	261,78	0,00	1.087,88	-2.120,95	-216,21	281,25	89,58	1.464,78	149,32	-769,29
	RT com incineração, com biodigestão	650,47	84,61	2.892,07	3,32	863,77	3.759,17	826,11	250,36	0,00	1.076,46	-2.682,70	-273,47	355,74	113,31	1.163,75	118,63	-1.087,21

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 7.4.2. Resultados para os arranjos sob a Lógica de Pequenos municípios

Os resultados resumidos de cada um dos arranjos intermunicipais propostos sob a lógica orientadora de pequenos municípios (micro arranjos) são apresentados nos subcapítulos 7.4.2.1 ao 7.4.2.5, enquanto análises pormenorizadas são apresentadas nos Apêndices. Destaca-se que não são apresentadas análises para os Micro arranjos CIMBAJU e CIOESTE, uma vez que estes arranjos são semelhantes aos arranjos sob a lógica de Consórcios, já apresentadas no subcapítulo 7.4.1.

### 7.4.2.1. Micro arranjo CONISUD 1

O Micro arranjo CONISUD 1 integra os municípios de Cotia, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONISUD 1, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 225,31 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 382,79 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 13,37 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 457,82 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 24,74 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 17,03 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 19,17 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONISUD 1 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 840,61 milhões em VPL, compensados em 5,22% pelo total de R\$ 43,9 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 81,21 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 360,46 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 129,39 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 4,59 mil t/ano, efetivamente desviando 2,52 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 20 caminhões baú e com o trabalho de 146 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O micro arranjo CONISUD 1 apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,73% do total, requerendo para tal a contratação de 357 triadores de resíduos e de 209 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 91,06% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 77,2 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,97% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 84 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 19,66 mil t/ano em adição à recuperação de 6,15 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 2,52 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 9,24, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 3,32. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 1,06 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (5,26, que demonstra que os benefícios superam os custos em 426%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 108,08 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 50,76 milhões em VPL para o micro arranjo CONISUD 1. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 253,08 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 406,36 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,74 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 328,22 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram

receitas é de R\$ 78,14 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os negativos R\$ 20,42 milhões (VPL) da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada município tem de arcar com a diferença de R\$ 3,32 por ano, ou ainda R\$ 0,28 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 9,24/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, os 3 municípios do arranjo geram R\$ 1,11 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 112,83 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONISUD 1 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 4,68 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 226,97 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 94,66 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,79% e de 20,01%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 360,46 para R\$ 371,59, ou seja, incremento de 3,09%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 4 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 340,92 milhões em VPL e aumentam em R\$ 297,02 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 213,92 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 70,2% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (68,7% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,3%, ou seja, 192,17 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 430,34 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 95,09 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 27,24 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 105,81 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 45,06 mil t/ano desta fração e produz 35,96 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 139,7 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 916,37 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 190,48 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 97 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 1,06 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 108,08 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 46,59 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,21% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 97: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONISUD 1.

CONISUD 1	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>2,52</b>	<b>1,12</b>	-	<b>382,79</b>	<b>457,82</b>	<b>840,61</b>	<b>24,74</b>	<b>19,17</b>	-	<b>43,90</b>	<b>-796,70</b>	<b>-81,21</b>	<b>360,46</b>	<b>129,39</b>	-	-	<b>214,13</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,15	2,73	50,14	4,06	95,38	149,58	60,33	-0,06	0,00	60,27	-89,31	-9,10	40,41	14,50	201,99	20,59	-13,84
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	25,81	11,45	156,89	3,85	112,12	272,86	253,08	-0,64	0,00	252,44	-20,42	-2,08	9,24	3,32	1.060,26	108,08	-63,29
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	79,61	35,34	329,13	3,27	143,59	475,98	253,08	-4,24	0,00	248,84	-227,14	-23,15	102,77	36,89	936,26	95,44	-160,96
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	96,85	42,98	355,94	46,36	118,62	520,91	253,08	-5,39	0,00	247,69	-273,22	-27,85	123,62	44,37	916,37	93,41	-191,09
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	101,04	44,85	226,97	3,04	91,62	321,63	253,08	-6,82	50,76	297,02	-24,61	-2,51	11,14	4,00	1.106,85	112,83	-213,92
	RT com geração de CDR, com biodigestão	154,85	68,73	399,21	2,46	123,09	524,75	253,08	-10,42	50,76	293,42	-231,34	-23,58	104,66	37,57	1.011,77	103,14	-367,11
	RT com gaseificação, sem biodigestão	192,17	85,29	585,05	2,06	259,45	846,55	253,08	153,28	0,00	406,36	-440,19	-44,87	199,16	71,49	676,51	68,96	-349,48
	RT com incineração, sem biodigestão	138,37	61,41	1.043,94	2,64	402,02	1.448,60	253,08	75,14	0,00	328,22	-1.120,37	-114,21	506,90	181,95	-31,69	-3,23	-214,10
	RT com incineração, com biodigestão	192,17	85,29	1.216,17	2,06	433,49	1.651,72	253,08	71,55	0,00	324,62	-1.327,10	-135,28	600,43	215,52	-156,03	-15,91	-311,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.2.2. Micro arranjo CONISUD 2

O Micro arranjo CONISUD 2 integra os municípios Embu-Guaçu, Itapecerica da Serra, Jquitiba e São Lourenço da Serra.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONISUD 2, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 82,14 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 118,17 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 11,43 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 163 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 5,13 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 6,09 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 6,85 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONISUD 2 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 281,17 milhões em VPL, compensados em 4,26% pelo total de R\$ 11,98 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 27,44 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 334,06 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 97,41 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 0,98 mil t/ano, efetivamente desviando 0,54 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 4 caminhões baú e com o trabalho de 31 triadores formais

que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O micro arranjo CONISUD 2 não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,19% do total, requerendo para tal a contratação de 152 triadores de resíduos e de 89 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 40,13% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 30,82 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 8,51% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 33 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 8,02 mil t/ano em adição à recuperação de 2,62 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 0,54 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,29% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,26 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 86,59, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 25,25. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,37 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,37, que demonstra que os benefícios superam os custos em 237%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 37,73 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 18,98 milhões em VPL para o micro arranjo CONISUD 2. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 101,35 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 157,36 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,31 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 117,81 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 39,55 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os negativos R\$ 41,33 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 14,96 por ano, ou ainda R\$ 1,25 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 51,29/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada

sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, os 4 municípios do arranjo geram R\$ 0,39 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 39,43 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONISUD 2 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,18 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 109 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 82,05 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 1,23% e de 49,45%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 334,06 para R\$ 424,94, ou seja, incremento de 27,21%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 26,5 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 129,79 milhões em VPL e aumentam em R\$ 117,81 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 84,06 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 73,9% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,1 vezes (70% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,8%, ou seja, 70,47 mil toneladas anuais (supera em 1,34 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da

gaseificação é R\$ 290,72 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 75,77 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 9,49 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 36,86 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,48 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 16,43 mil t/ano desta fração e produz 12,67 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 49,21 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,31 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 275,68 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 111,15 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 98 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,37 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 37,73 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 16,71 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,32% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 98: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONISUD 2.

CONISUD 2	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,54</b>	<b>0,66</b>	-	<b>118,17</b>	<b>163,00</b>	<b>281,17</b>	<b>5,13</b>	<b>6,85</b>	-	<b>11,98</b>	<b>-269,19</b>	<b>-27,44</b>	<b>334,06</b>	<b>97,41</b>	-	-	<b>80,23</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	2,62	3,19	24,07	1,78	40,43	66,28	24,97	-0,02	0,00	24,95	-41,33	-4,21	51,29	14,96	80,37	8,19	-5,87	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	10,65	12,96	85,74	1,71	83,42	170,87	101,35	-0,26	0,00	101,09	-69,78	-7,11	86,59	25,25	370,11	37,73	-25,96	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	29,39	35,78	172,70	1,53	113,32	287,56	101,35	-1,51	0,00	99,84	-187,72	-19,14	232,95	67,93	283,97	28,95	-60,52	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	35,67	43,43	186,58	13,34	105,14	305,05	101,35	-1,93	0,00	99,42	-205,63	-20,96	255,19	74,41	275,68	28,10	-71,69	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	38,77	47,20	109,00	1,45	80,60	191,05	101,35	-2,52	18,98	117,81	-73,24	-7,47	90,89	26,50	386,82	39,43	-84,06	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	57,51	70,02	195,96	1,28	110,50	307,74	101,35	-3,77	18,98	116,56	-191,18	-19,49	237,25	69,18	311,05	31,71	-138,58	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	70,47	85,79	296,85	1,16	224,48	522,48	101,35	56,01	0,00	157,36	-365,12	-37,22	453,11	132,12	96,11	9,80	-128,71	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.4.2.3. Micro arranjo CONDEMAT 1

O Micro arranjo CONDEMAT 1 integra os municípios Arujá, Mairiporã, Nazaré Paulista e Santa Isabel.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONDEMAT 1, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 86,21 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 381,73 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 33,32 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 188,07 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 15,98 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 6,38 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 7,18 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONDEMAT 1 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 569,8 milhões em VPL, compensados em 4,06% pelo total de R\$ 23,16 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 55,72 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 646,35 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 210,87 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 3,05 mil t/ano, efetivamente desviando 1,68 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 14 caminhões baú e com o trabalho de 97 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O micro arranjo CONDEMAT 1 não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,33% do total, requerendo para tal a contratação de 117 triadores de resíduos e de 68 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 70,29% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 32,35 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 6,21% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 38 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 8,21 mil t/ano em adição à recuperação de 2,01 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 1,68 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,77% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 78,69, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 25,67. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,35 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,36, que demonstra que os benefícios superam os custos em 236%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 36,08 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 19,9 milhões em VPL para o micro arranjo CONDEMAT 1. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 97,24 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 155,86 milhões), superando a rota de menor complexidade em 8,16 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 114,51 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 41,34 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os negativos R\$ 40,22 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 15,51 por ano, ou ainda R\$ 1,29 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 47,55/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada

sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, os 4 municípios do arranjo geram R\$ 0,37 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 37,97 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONDEMAT 1 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,18 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 113,56 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 69,71 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,13% e de 36,8%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 646,35 para R\$ 727,66, ou seja, incremento de 12,58%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 26,53 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 137,67 milhões em VPL e aumentam em R\$ 114,51 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 85,95 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 72,1% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (68,9% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,5%, ou seja, 72,88 mil toneladas anuais (supera em 1,32 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da

gaseificação é R\$ 294,48 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 76,43 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 9,96 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 38,68 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,48 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 17,24 mil t/ano desta fração e produz 13,3 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 51,65 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,31 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 249,62 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 122,83 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 99 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,35 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 36,08 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 18,47 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,96% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 99: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONDEMAT 1.

CONDEMAT 1	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)			ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE			
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)		Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>1,68</b>	<b>1,95</b>	-	<b>381,73</b>	<b>188,07</b>	<b>569,80</b>	<b>15,98</b>	<b>7,18</b>	-	<b>23,16</b>	<b>-546,64</b>	<b>-55,72</b>	<b>646,35</b>	<b>210,87</b>	-	-	<b>82,06</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	2,01	2,33	27,09	1,52	30,72	59,32	19,12	-0,02	0,00	19,10	-40,22	-4,10	47,55	15,51	53,55	5,46	-4,49	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	10,22	11,85	89,48	1,30	72,75	163,53	97,24	-0,26	0,00	96,98	-66,55	-6,78	78,69	25,67	353,98	36,08	-25,04	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	29,89	34,67	179,16	0,77	102,65	282,58	97,24	-1,58	0,00	95,67	-186,91	-19,05	221,01	72,10	266,71	27,19	-61,33	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	36,48	42,31	193,12	23,32	93,96	310,40	97,24	-2,02	0,00	95,23	-215,17	-21,93	254,42	83,00	249,62	25,45	-73,05	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	39,72	46,07	113,56	0,51	69,21	183,27	97,24	-2,63	19,90	114,51	-68,76	-7,01	81,31	26,53	372,45	37,97	-85,95	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	59,39	68,88	203,24	-0,02	99,11	302,32	97,24	-3,95	19,90	113,20	-189,13	-19,28	223,63	72,96	296,02	30,18	-143,19	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	72,88	84,54	306,62	-0,38	213,36	519,59	97,24	58,61	0,00	155,86	-363,74	-37,08	430,09	140,31	77,97	7,95	-132,84	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.2.4. Micro arranjo CONDEMAT 2

O Micro arranjo CONDEMAT 2 integra os municípios de Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Mogi das Cruzes, Paraibuna, Poá e Salesópolis.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONDEMAT 2, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 465,2 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 671,76 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 11,28 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 952,94 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 57,66 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 35,16 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 39,57 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONDEMAT 2 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1624,7 milhões em VPL, compensados em 5,98% pelo total de R\$ 97,23 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 155,71 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 334,71 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 179,26 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 10,69 mil t/ano, efetivamente desviando 5,88 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 47 caminhões baú e com o trabalho de 341 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O micro arranjo CONDEMAT 2 apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,63% do total, requerendo para tal a contratação de 710 triadores de resíduos e de 415 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 53,5% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 159,39 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,67% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 176 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 40,47 mil t/ano em adição à recuperação de 12,23 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 5,88 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,75% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de negativos R\$ 25, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 13,39 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 2,3 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,27, que demonstra que os benefícios superam os custos em 627%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 234,94 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 104,8 milhões em VPL para o micro arranjo CONDEMAT 2. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 516,76 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 833,15 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,96 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 671,72 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 161,43 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 134,22 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 15,75 por

ano por habitante (R\$ 29,41/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 7 municípios do arranjo geram R\$ 2,43 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 247,55 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONDEMAT 2 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 6,44 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 394,92 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 78,34 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,89% e de 7,6%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 704,71 milhões em VPL e aumentam em R\$ 607,48 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 440,28 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 70% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,07 vezes (68,6% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,2%, ou seja, 396,13 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$

685,61 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 159,99 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 56,24 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 218,47 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 93,04 mil t/ano desta fração e produz 74,26 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 288,44 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 2.004,6 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 423,82 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 110 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 2,3 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 234,94 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 123,73 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,09% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 100: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo CONDEMAT 2.

CONDEMAT 2	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA			
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL	Redução das Emissões Líquidas de GEE	
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>5,88</b>	<b>1,26</b>	-	<b>671,76</b>	<b>952,94</b>	<b>1.624,70</b>	<b>57,66</b>	<b>39,57</b>	-	<b>97,23</b>	<b>-1.527,47</b>	<b>-155,71</b>	<b>334,71</b>	<b>179,26</b>	-	-	<b>440,82</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	12,23	2,63	95,25	7,73	185,75	288,73	119,90	-0,11	0,00	119,79	-168,94	-17,22	37,02	19,83	408,84	41,68	-27,50
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	52,70	11,33	266,79	7,37	127,18	401,34	516,76	-1,31	0,00	515,45	114,11	11,63	-25,00	-13,39	2.304,70	234,94	-129,32
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	163,79	35,21	599,13	6,36	177,87	783,36	516,76	-8,74	0,00	508,02	-275,34	-28,07	60,33	32,31	2.085,01	212,54	-330,99
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	199,37	42,86	661,08	100,73	157,97	919,77	516,76	-11,12	0,00	505,64	-414,13	-42,22	90,75	48,60	2.004,60	204,35	-393,20
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	208,03	44,72	394,92	5,96	72,38	473,26	516,76	-14,08	104,80	607,48	134,22	13,68	-29,41	-15,75	2.428,42	247,55	-440,28
	RT com geração de CDR, com biodigestão	319,12	68,60	727,26	4,95	123,07	855,28	516,76	-21,51	104,80	600,05	-255,23	-26,02	55,93	29,95	2.268,44	231,24	-756,59
	RT com gaseificação, sem biodigestão	396,13	85,15	1.047,52	4,25	288,76	1.340,53	516,76	316,39	0,00	833,15	-507,38	-51,72	111,18	59,55	1.742,81	177,66	-720,20
	RT com incineração, sem biodigestão	285,03	61,27	1.801,02	5,26	593,76	2.400,04	516,76	154,96	0,00	671,72	-1.728,31	-176,18	378,72	202,83	466,92	47,60	-440,69
	RT com incineração, com biodigestão	396,13	85,15	2.133,36	4,25	644,45	2.782,06	516,76	147,54	0,00	664,30	-2.117,76	-215,88	464,06	248,54	245,70	25,05	-642,36

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.2.5. Micro arranjo ABC

O Micro arranjo ABC integra os municípios de Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e São Caetano do Sul.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo ABC, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 221,42 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 176,59 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 6,39 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 434,43 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 12,22 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 16,36 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 18,41 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo ABC tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 611,03 milhões em VPL, compensados em 5,01% pelo total de R\$ 30,64 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 59,16 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 267,2 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 75,99 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 2,42 mil t/ano, efetivamente desviando 1,33 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 11 caminhões baú e com o trabalho de 77 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O micro arranjo ABC apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,25% do total, requerendo para tal a contratação de 418 triadores de resíduos e de 244 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 42,91% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 81,48 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 8,83% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 85 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 21,11 mil t/ano em adição à recuperação de 7,19 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 1,33 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 11,9, o que representa um incremento por ano por habitante da

ordem de R\$ 3,39. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 1,12 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (5,33, que demonstra que os benefícios superam os custos em 433%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 114,44 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 50,65 milhões em VPL para o micro arranjo ABC. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 260,05 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 413,22 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,26 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 335,4 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 77,81 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os negativos R\$ 25,85 milhões (VPL) da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada município tem de arcar com a diferença de R\$ 3,39 por ano, ou ainda R\$ 0,28 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 11,9/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, os 4 municípios do arranjo geram R\$ 1,17 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 119,43 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo ABC na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 4,77 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 225,09 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 109,15 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 2,43% e de 24,14%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 267,2 para R\$ 281,25, ou seja, incremento de 5,26%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 4 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 334,36 milhões em VPL e aumentam em R\$ 303,72 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 226,81 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 73,1% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (68,9% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,7%, ou seja, 189,76 mil toneladas anuais (supera em 1,34 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 429,05 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 96,94 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 24,9 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 96,73 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 44,28 mil t/ano desta fração e produz 33,48 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 130,03 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 1.009,38 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 162,16 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 101 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 1,12 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 114,44 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas

melhores opções é de R\$ 48,9 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,17% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 101: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Micro arranjo ABC.

Grande ABC	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>1,33</b>	<b>0,60</b>	-	<b>176,59</b>	<b>434,43</b>	<b>611,03</b>	<b>12,22</b>	<b>18,41</b>	-	<b>30,64</b>	<b>-580,39</b>	<b>-59,16</b>	<b>267,20</b>	<b>75,99</b>	-	-	<b>222,79</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	7,19	3,25	49,41	4,78	109,33	163,52	66,09	-0,12	0,00	65,96	-97,56	-9,95	44,92	12,77	232,50	23,70	-16,66
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	28,31	12,78	155,11	4,68	125,27	285,05	260,05	-0,85	0,00	259,20	-25,85	-2,64	11,90	3,39	1.122,63	114,44	-71,18
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	77,50	35,00	319,06	4,42	160,24	483,72	260,05	-4,14	0,00	255,91	-227,81	-23,22	104,88	29,83	998,51	101,79	-162,75
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	94,43	42,65	337,19	34,73	122,77	494,69	260,05	-5,27	0,00	254,78	-239,91	-24,46	110,45	31,41	1.009,38	102,89	-193,15
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	103,37	46,69	225,09	4,29	104,85	334,24	260,05	-6,97	50,65	303,72	-30,52	-3,11	14,05	4,00	1.171,54	119,43	-226,81
	RT com geração de CDR, com biodigestão	152,56	68,90	389,04	4,04	139,83	532,91	260,05	-10,26	50,65	300,43	-232,47	-23,70	107,03	30,44	1.074,59	109,54	-370,51
	RT com gaseificação, sem biodigestão	189,76	85,70	573,76	3,85	275,42	853,02	260,05	153,17	0,00	413,22	-439,80	-44,83	202,47	57,58	742,49	75,69	-353,70
	RT com incineração, sem biodigestão	140,58	63,49	1.040,94	4,10	415,66	1.460,70	260,05	75,36	0,00	335,40	-1.125,29	-114,71	518,06	147,33	33,34	3,40	-227,15
	RT com incineração, com biodigestão	189,76	85,70	1.204,88	3,85	450,64	1.659,37	260,05	72,07	0,00	332,12	-1.327,25	-135,30	611,04	173,77	-91,04	-9,28	-318,72

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.4.3. Resultados para os arranjos sob a Lógica de Regiões Geográficas

Os resultados resumidos de cada um dos arranjos intermunicipais propostos sob a lógica orientadora de regiões geográficas são apresentados no subcapítulo 7.4.3.1 ao 7.4.3.4, enquanto análises pormenorizadas são apresentadas nos Apêndices.

#### 7.4.3.1. Região Sudeste

O arranjo da Região Sudeste integra os municípios de Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Sudeste, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 768,74 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 1475,92 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 14,82 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1622,62 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 119,16 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 56,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 63,79 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Sudeste tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 3.098,53 milhões em VPL, compensados em 5,9% pelo total de R\$ 182,95 milhões em VPL de receitas acessórias.

O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 297,21 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 386,62 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 123,14 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 23,59 mil t/ano, efetivamente desviando 12,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 105 caminhões baú e com o trabalho de 753 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo regional Sudeste apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,16% do total, requerendo para tal a contratação de 965 triadores de resíduos e de 565 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 32,21% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 282,89 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 5,88% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 328 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a

recuperação de 73,31 mil t/ano em adição à recuperação de 16,62 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 12,97 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 24,37, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 7,76 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ VSP de R\$ 3,78 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,44, que demonstra que os benefícios superam os custos em 644%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 385,79 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 175,83 milhões em VPL para o arranjo regional Sudeste. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 826,11 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1358,03 milhões), superando a rota de menor complexidade em 8,91 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1.087,88 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 270,15 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 279,55 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 11,81 por ano por habitante (R\$ 37,07/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 6 municípios do arranjo geram R\$ 4,06 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 413,83 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Sudeste na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,12 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 611,19 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 87,14 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,47% e de 4,95%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 1.160,83 milhões em VPL e aumentam em R\$ 977,88 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 768,11 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 71,4% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-

se a superação da meta de desvio em 1,06 vezes (67,8% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,6%, ou seja, 650,47 mil toneladas anuais (supera em 1,32 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 1.100,98 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 204,54 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 86,46 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 335,83 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 153,75 mil t/ano desta fração e produz 116,22 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 451,45 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 3.451,03 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 608,52 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 102 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à

contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com geração de CDR, com biodigestão), opção que gera R\$ 3,86 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 392,98 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 204,54 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,04% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 102: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Sudeste.

REGIÃO SUDESTE	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>12,97</b>	<b>1,69</b>	-	<b>1.475,92</b>	<b>1.622,62</b>	<b>3.098,53</b>	<b>119,16</b>	<b>63,79</b>	-	<b>182,95</b>	<b>-2.915,59</b>	<b>-297,21</b>	<b>386,62</b>	<b>123,14</b>	-	-	<b>756,82</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	16,62	2,16	148,77	10,87	250,18	409,82	152,72	-0,29	0,00	152,43	-257,39	-26,24	34,13	10,87	506,90	51,67	-38,50
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	89,93	11,70	433,51	10,00	196,01	639,52	826,11	-2,80	0,00	823,30	183,78	18,73	-24,37	-7,76	3.784,49	385,79	-227,79
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	260,70	33,91	911,62	7,96	270,28	1.189,86	826,11	-14,22	0,00	811,88	-377,97	-38,53	50,12	15,96	3.485,63	355,32	-545,71
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	319,50	41,56	969,66	200,86	138,39	1.308,91	826,11	-18,15	0,00	807,95	-500,96	-51,07	66,43	21,16	3.451,03	351,79	-651,24
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	350,54	45,60	611,19	6,89	80,25	698,33	826,11	-24,06	175,83	977,88	279,55	28,50	-37,07	-11,81	4.059,55	413,83	-768,11
	RT com geração de CDR, com biodigestão	521,31	67,81	1.089,30	4,86	154,51	1.248,67	826,11	-35,48	175,83	966,46	-282,21	-28,77	37,42	11,92	3.855,01	392,98	-1.266,99
	RT com gaseificação, sem biodigestão	650,47	84,61	1.689,38	3,32	386,96	2.079,66	826,11	531,93	0,00	1.358,03	-721,63	-73,56	95,69	30,48	2.958,57	301,59	-1.208,64
	RT com incineração, sem biodigestão	479,70	62,40	2.413,96	5,36	789,51	3.208,83	826,11	261,78	0,00	1.087,88	-2.120,95	-216,21	281,25	89,58	1.464,78	149,32	-769,29
	RT com incineração, com biodigestão	650,47	84,61	2.892,07	3,32	863,77	3.759,17	826,11	250,36	0,00	1.076,46	-2.682,70	-273,47	355,74	113,31	1.163,75	118,63	-1.087,21

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.4.3.2. Região Leste

O arranjo da Região Leste integra os municípios de Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Mogi das Cruzes, Paraibuna, Poá, Salesópolis, e Santa Isabel.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Leste, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta dos 844,29 mil toneladas médios de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 3.665,98 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 33,45 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1699,44 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 80,79 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 62,33 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 70,15 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Leste tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 5.365,42 milhões em VPL, compensados em 2,81% pelo total de R\$ 150,94 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 531,56 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 629,59 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 224,43 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 15,99 mil t/ano, efetivamente desviando 8,79 mil toneladas de recicláveis. Para tanto,

conta-se com o emprego de 71 caminhões baú e com o trabalho de 510 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo regional Leste apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 3 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,87% do total, requerendo para tal a contratação de 1.408 triadores de resíduos e de 824 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 28,05% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 310,7 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,81% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 338 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 80,19 mil t/ano em adição à recuperação de 24,27 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 8,79 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,45% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 22,91, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 8,17 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 4,39 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,27, que demonstra que os benefícios superam os custos em 627%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 447,7 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 193,09 milhões em VPL para o arranjo regional Leste. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 959,51 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1.543,35 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,94 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1.246,41 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 296,93 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 309,85 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada

sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 13,34 por ano por habitante (R\$ 37,41/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 10 municípios do arranjo geram R\$ 4,7 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 479,37 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Leste na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,07 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 658,08 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 158,15 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,06% e de 9,18%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 1.277,02 milhões em VPL e aumentam em R\$ 1.126,08 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 856,55 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 72,4% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,07 vezes (68,5% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,3%, ou seja, 719,9 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado

socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 1.189,09 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 206,82 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 94,96 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 368,83 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 168,86 mil t/ano desta fração e produz 127,65 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 495,82 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 4.069,25 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 633,27 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 103 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com geração de CDR, com biodigestão), opção que gera R\$ 4,5 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 458,29 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 206,82 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,4% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 103: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Leste.

REGIÃO LESTE	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>8,79</b>	<b>1,04</b>	-	<b>3.665,98</b>	<b>1.699,44</b>	<b>5.365,42</b>	<b>80,79</b>	<b>70,15</b>	-	<b>150,94</b>	<b>-5.214,48</b>	<b>-531,56</b>	<b>629,59</b>	<b>224,43</b>	-	-	<b>842,08</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	24,27	2,87	164,73	12,02	365,17	541,92	222,90	-0,42	0,00	222,48	-319,44	-32,56	38,57	13,75	791,87	80,72	-56,19
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	104,45	12,37	469,62	9,86	287,12	766,61	959,51	-3,17	0,00	956,34	189,73	19,34	-22,91	-8,17	4.391,82	447,70	-263,26
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	292,01	34,59	983,85	4,82	359,41	1.348,08	959,51	-15,71	0,00	943,80	-404,28	-41,21	48,81	17,40	4.080,90	416,00	-612,43
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	356,58	42,23	1.044,76	145,25	257,94	1.447,94	959,51	-20,03	0,00	939,48	-508,46	-51,83	61,39	21,88	4.069,25	414,82	-728,33
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	390,64	46,27	658,08	2,17	155,98	816,22	959,51	-26,53	193,09	1.126,08	309,85	31,59	-37,41	-13,34	4.702,52	479,37	-856,55
	RT com geração de CDR, com biodigestão	578,20	68,48	1.172,31	-2,87	228,26	1.397,70	959,51	-39,07	193,09	1.113,54	-284,16	-28,97	34,31	12,23	4.495,70	458,29	-1.404,47
	RT com gaseificação, sem biodigestão	719,90	85,27	1.841,88	-6,68	469,36	2.304,56	959,51	583,84	0,00	1.543,35	-761,21	-77,60	91,91	32,76	3.513,43	358,16	-1.340,40
	RT com incineração, sem biodigestão	532,34	63,05	2.964,77	-1,64	1.009,42	3.972,55	959,51	286,91	0,00	1.246,41	-2.726,14	-277,90	329,15	117,33	1.463,75	149,21	-857,90
	RT com incineração, com biodigestão	719,90	85,27	3.479,00	-6,68	1.081,71	4.554,02	959,51	274,37	0,00	1.233,87	-3.320,15	-338,45	400,87	142,90	1.151,69	117,40	-1.207,08

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 7.4.3.3. Região Norte

O arranjo da Região Norte integra os municípios de Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha, Mairiporã, Nazaré Paulista, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Norte, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 259,12 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 733,98 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 21,85 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 532,48 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 32,22 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 19,58 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 22,04 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Norte tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1.266,46 milhões em VPL, compensados em 4,28% pelo total de R\$ 54,26 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 123,57 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 476,88 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 150,67 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 5,97 mil t/ano, efetivamente desviando 3,29 mil toneladas de recicláveis. Para tanto,

conta-se com o emprego de 27 caminhões baú e com o trabalho de 191 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo regional Norte apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,58% do total, requerendo para tal a contratação de 388 triadores de resíduos e de 227 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 31,92% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 88,78 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 7,54% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 98 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 22,61 mil t/ano em adição à recuperação de 6,69 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 3,29 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 0,47, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 0,15 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 1,22 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (5,7, que demonstra que os benefícios superam os custos em 470%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 124,81 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 58,38 milhões em VPL para o arranjo regional Norte. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 287,29 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 463,58 milhões), superando a rota de menor complexidade em 7,07 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 373,71 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 89,87 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 3,63 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada

sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 0,45 por ano por habitante (R\$ 1,43/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 8 municípios do arranjo geram R\$ 1,28 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 130,93 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Norte na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,09 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 249,16 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 85,04 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,35% e de 15,49%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 392,09 milhões em VPL e aumentam em R\$ 337,83 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 245,16 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 70% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,07 vezes (68,6% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,1%, ou seja, 220,63 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado

socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 434,56 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 97,99 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 31,33 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 121,69 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 51,82 mil t/ano desta fração e produz 41,36 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 160,66 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 1.046,72 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 237,67 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 104 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 1,22 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 124,81 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 59,98 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,67% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 104: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Norte.

REGIÃO NORTE	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>3,29</b>	<b>1,27</b>	-	<b>733,98</b>	<b>532,48</b>	<b>1.266,46</b>	<b>32,22</b>	<b>22,04</b>	-	<b>54,26</b>	<b>-1.212,20</b>	<b>-123,57</b>	<b>476,88</b>	<b>150,67</b>	-	-	<b>245,52</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,69	2,58	56,48	4,46	102,82	163,76	65,61	-0,06	0,00	65,55	-98,21	-10,01	38,64	12,21	218,50	22,27	-15,05
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,30	11,31	172,38	4,06	108,92	285,36	287,29	-0,73	0,00	286,56	1,20	0,12	-0,47	-0,15	1.224,41	124,81	-71,92
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	91,18	35,19	364,43	2,97	139,12	506,52	287,29	-4,87	0,00	282,42	-224,10	-22,84	88,16	27,85	1.093,18	111,44	-184,25
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	111,00	42,83	397,25	56,39	130,72	584,36	287,29	-6,19	0,00	281,10	-303,26	-30,91	119,30	37,69	1.046,72	106,70	-218,91
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	115,82	44,70	249,16	2,54	82,49	334,20	287,29	-7,84	58,38	337,83	3,63	0,37	-1,43	-0,45	1.284,39	130,93	-245,16
	RT com geração de CDR, com biodigestão	177,71	68,58	441,22	1,45	112,70	555,37	287,29	-11,98	58,38	333,69	-221,68	-22,60	87,21	27,55	1.186,40	120,94	-421,34
	RT com gaseificação, sem biodigestão	220,63	85,14	611,68	0,70	261,80	874,19	287,29	176,29	0,00	463,58	-410,61	-41,86	161,53	51,03	849,83	86,63	-401,06
	RT com incineração, sem biodigestão	158,75	61,26	1.123,00	1,79	415,71	1.540,50	287,29	86,42	0,00	373,71	-1.166,78	-118,94	459,01	145,02	61,99	6,32	-245,37
	RT com incineração, com biodigestão	220,63	85,14	1.315,05	0,70	445,92	1.761,67	287,29	82,29	0,00	369,58	-1.392,09	-141,91	547,65	173,02	-69,68	-7,10	-357,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.3.4. Região Oeste

O arranjo da Região Oeste integra os municípios de Carapicuíba, Cotia, Embu Guaçu, Jandira, Juquitiba, São Lourenço da Serra, São Roque, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

- **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Oeste, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 429,83 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 1.220,38 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 22,17 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 842,81 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 29,26 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 32,51 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 36,58 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Oeste tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 2.063,19 milhões em VPL, compensados em 3,19% pelo total de R\$ 65,84 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 203,61 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 473,69 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 149,94 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 5,42 mil t/ano, efetivamente desviando 2,98 mil toneladas de recicláveis. Para tanto,

conta-se com o emprego de 24 caminhões baú e com o trabalho de 173 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

O arranjo regional Oeste apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,16% do total, requerendo para tal a contratação de 787 triadores de resíduos e de 461 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 70,74% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo). Pelas análises gravimétricas, são 147,27 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite calcular em 9,21% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 154 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 37,5 mil t/ano em adição à recuperação de 13,56 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 2,98 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 19,59, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 6,2 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 2,21 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (6,84, que demonstra que os benefícios superam os custos em 584%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 225,73 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 96,84 milhões em VPL para o arranjo regional Oeste. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 500,74 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 793,14 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,97 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 644,07 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 149,07 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo mostram que os positivos R\$ 96,35 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada

sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 7,23 por ano por habitante (R\$ 22,85/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

A RT com geração de CDR, sem biodigestão, é, além da melhor opção financeira, também a que agrega maior valor líquido para a sociedade, ou seja, gera mais benefícios líquidos. Ao se optar por esta rota, os 9 municípios do arranjo geram R\$ 2,32 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 236,75 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Oeste na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 6,06 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 372,03 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 116,17 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,41% e de 13,19%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 650,38 milhões em VPL e aumentam em R\$ 584,54 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 412,21 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 70,8% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (69,2% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,7%, ou seja, 368,44 mil toneladas anuais (supera em 1,34 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado

socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 638,88 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 150,25 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 51,97 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 201,86 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 85,97 mil t/ano desta fração e produz 68,61 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 266,5 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 1.947,38 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 375,09 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 105 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 2,21 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 225,73 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 108,06 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,65% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

Tabela 105: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o arranjo Região Oeste.

REGIÃO OESTE	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)			ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)		Valor Anual Equivalente do ΔVSPL	
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>2,98</b>	<b>0,69</b>	-	<b>1.220,38</b>	<b>842,81</b>	<b>2.063,19</b>	<b>29,26</b>	<b>36,58</b>	-	<b>65,84</b>	<b>-1.997,35</b>	<b>-203,61</b>	<b>473,69</b>	<b>149,94</b>	-	-	<b>412,03</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	13,56	3,16	87,90	8,23	207,01	303,14	133,02	-0,12	0,00	132,90	-170,24	-17,35	40,37	12,78	469,64	47,87	-30,51
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	51,06	11,88	249,98	7,56	159,37	416,90	500,74	-1,24	0,00	499,50	82,60	8,42	-19,59	-6,20	2.214,41	225,73	-124,86
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	153,71	35,76	556,49	5,73	208,80	771,03	500,74	-8,10	0,00	492,64	-278,39	-28,38	66,02	20,90	2.008,78	204,77	-311,18
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	186,58	43,41	620,85	66,14	194,36	881,35	500,74	-10,30	0,00	490,44	-390,91	-39,85	92,71	29,35	1.947,38	198,51	-368,66
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	194,59	45,27	372,03	5,00	111,17	488,20	500,74	-13,03	96,84	584,54	96,35	9,82	-22,85	-7,23	2.322,47	236,75	-412,21
	RT com geração de CDR, com biodigestão	297,24	69,15	678,54	3,17	160,61	842,32	500,74	-19,90	96,84	577,68	-264,64	-26,98	62,76	19,87	2.172,22	221,43	-704,46
	RT com gaseificação, sem biodigestão	368,44	85,72	969,74	1,90	321,70	1.293,34	500,74	292,40	0,00	793,14	-500,20	-50,99	118,63	37,55	1.683,59	171,62	-670,83
	RT com incineração, sem biodigestão	265,79	61,84	1.708,23	3,73	606,39	2.318,35	500,74	143,34	0,00	644,07	-1.674,27	-170,67	397,07	125,69	459,55	46,85	-412,56
	RT com incineração, com biodigestão	368,44	85,72	2.014,75	1,90	655,83	2.672,47	500,74	136,47	0,00	637,21	-2.035,26	-207,47	482,69	152,79	253,15	25,81	-598,88

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4. Resultados para os municípios com Soluções Individuais

Conforme descreveu-se no Capítulo 5, nove dos municípios componentes da área de estudo contam com soluções individuais para a gestão de seus resíduos sólidos. Cada uma destas soluções, individualmente implementadas pelos respectivos titulares, deve conter as estratégias de cumprimento das metas setoriais, e não necessariamente sofrerão qualquer ajuste efetivo a partir dos resultados das simulações aqui realizadas.

Inobstante, para fins de manutenção da coerência metodológica e paridade junto aos demais municípios componentes da área de estudo, apresentam-se a seguir os resultados das simulações das nove rotas tecnológicas para cada município com solução individual. Adicionalmente, os resultados quantitativos da adoção de maiores taxas de coleta seletiva são utilizados como base para o desenvolvimento do programa de reciclagem. Os resultados resumidos de cada um dos municípios que contam com soluções individuais são apresentados abaixo, enquanto análises pormenorizadas são apresentadas nos Apêndices.

##### 7.4.4.1. Município de Barueri

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Barueri aponta para a coleta de 117,63 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 280,05 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 18 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 279,92 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 26,65 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 8,88 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 9,99 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 559,97 milhões em VPL, compensados em 6,54% pelo total de R\$ 36,64 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 53,35 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 453,52 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 160,52 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 4,94 mil t/ano, efetivamente desviando 2,72 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 22 caminhões baú e com o trabalho de 158 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Barueri não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 1,54% do total, requerendo para tal a contratação de 105 triadores de resíduos e de 62 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 82,84% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 40,3 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 4,49% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 49 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 10,26 mil t/ano em adição à recuperação de 1,81 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 2,72 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 42,91, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 15,19. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,45 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,94, que demonstra que os benefícios superam os custos em 294%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 46,38 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 26,5 milhões em VPL para a solução individual de Barueri. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 118,4 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 198,43 milhões), superando a rota de menor complexidade em 11,18 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 141,35 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais

geram receitas é de R\$ 57,09 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 42,71 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada município tem de arcar com a diferença de R\$ 13,1 por ano, ou ainda R\$ 1,09 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 37,01/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Barueri gera R\$ 0,49 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 49,66 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,8 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 135,7 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 49,37 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,17% e de 17,47%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 453,52 para R\$ 491,41, ou seja, incremento de 8,36%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 13,41 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 177,99 milhões em VPL e aumentam em R\$ 141,35 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota

contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 108,53 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 68,3% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,06 vezes (67,5% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,1%, ou seja, 98,93 mil toneladas anuais (supera em 1,32 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 318,4 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 80,62 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 14,22 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 55,24 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 23,53 mil t/ano desta fração e produz 18,78 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 72,93 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 338,89 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 148,23 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 106 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,45 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 46,38 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 32,12 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 6,59% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Barueri.

Tabela 106: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Barueri.

BARUERI	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)			ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE			
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)		Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>2,72</b>	<b>2,31</b>	-	<b>280,05</b>	<b>279,92</b>	<b>559,97</b>	<b>26,65</b>	<b>9,99</b>	-	<b>36,64</b>	<b>-523,33</b>	<b>-53,35</b>	<b>453,52</b>	<b>160,52</b>	-	-	<b>109,09</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1,81	1,54	31,85	1,19	27,42	60,46	17,76	-0,02	0,00	17,75	-42,71	-4,35	37,01	13,10	44,07	4,49	-4,07	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	12,07	10,26	105,82	1,04	60,73	167,59	118,40	-0,32	0,00	118,08	-49,51	-5,05	42,91	15,19	455,00	46,38	-29,89	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	40,16	34,14	218,23	0,63	87,80	306,67	118,40	-2,20	0,00	116,20	-190,47	-19,42	165,06	58,42	359,39	36,64	-80,89	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	49,16	41,79	230,27	37,90	73,80	341,97	118,40	-2,80	0,00	115,60	-226,37	-23,08	196,17	69,43	338,89	34,55	-96,62	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	51,35	43,66	135,70	0,47	48,90	185,07	118,40	-3,55	26,50	141,35	-43,72	-4,46	37,89	13,41	487,11	49,66	-108,53	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	79,44	67,54	248,12	0,07	75,97	324,15	118,40	-5,43	26,50	139,47	-184,68	-18,83	160,05	56,65	406,49	41,44	-188,51	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	98,93	84,10	371,90	-0,22	187,45	559,13	118,40	80,04	0,00	198,43	-360,69	-36,77	312,58	110,63	168,71	17,20	-179,31	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.2. Município de Diadema

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Diadema aponta para a coleta das 106,87 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 478,72 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 34 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 226,62 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 5,4 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 7,9 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 8,89 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 705,34 milhões em VPL, compensados em 2,03% pelo total de R\$ 14,29 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 70,45 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 659,17 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 171,12 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 1,07 mil t/ano, efetivamente desviando 0,59 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 5 caminhões baú e com o trabalho de 34 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Diadema não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,3% do total, requerendo para tal a contratação de 205 triadores de resíduos e de 120 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 32,63% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 39,33 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 8,97% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 41 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 10,19 mil t/ano em adição à recuperação de 3,53 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 0,59 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 63,53, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 16,49. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 0,49 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,81, que demonstra que os benefícios superam os custos em 281%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 50,32 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 24,44 milhões em VPL para a solução individual de Diadema. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 126,01 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 199,94 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,18 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 147,09 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 52,85 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 51,98 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 12,87 por ano, ou ainda R\$ 1,07 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 49,58/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Diadema gera R\$ 0,52 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 53,31 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,68 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 129,23 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 80,07 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,11% e de 35,1%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 659,17 para R\$ 718,51, ou seja, incremento de 9%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 15,4 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 161,38 milhões em VPL e aumentam em R\$ 147,09 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 109,6 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 73,1% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (69% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,8%, ou seja, 91,64 mil toneladas anuais (supera em 1,34 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 309,35 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 78,82 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 12,02 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 46,69 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 21,37 mil t/ano desta fração e produz 16,16 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 62,76 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 411,16 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 111,81 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 107 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,49 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 50,32 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 29,31 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,6% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Diadema.

Tabela 107: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Diadema.

DIADEMA	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,59</b>	<b>0,55</b>	-	<b>478,72</b>	<b>226,62</b>	<b>705,34</b>	<b>5,40</b>	<b>8,89</b>	-	<b>14,29</b>	<b>-691,05</b>	<b>-70,45</b>	<b>659,17</b>	<b>171,12</b>	-	-	<b>107,64</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	3,53	3,30	29,51	1,80	53,00	84,32	32,40	-0,06	0,00	32,34	-51,98	-5,30	49,58	12,87	109,97	11,21	-8,17	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	13,72	12,84	101,15	1,53	89,52	192,20	126,01	-0,41	0,00	125,60	-66,60	-6,79	63,53	16,49	493,66	50,32	-34,48	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	37,46	35,05	203,26	0,88	117,36	321,50	126,01	-2,00	0,00	124,01	-197,49	-20,13	188,38	48,90	401,73	40,95	-78,68	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	45,63	42,70	212,69	13,20	96,31	322,21	126,01	-2,54	0,00	123,47	-198,74	-20,26	189,57	49,21	411,16	41,91	-93,35	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	49,95	46,74	129,23	0,54	79,54	209,30	126,01	-3,37	24,44	147,09	-62,21	-6,34	59,34	15,40	522,97	53,31	-109,60	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	73,69	68,95	231,33	-0,11	107,38	338,60	126,01	-4,95	24,44	145,50	-193,10	-19,68	184,19	47,82	444,15	45,28	-178,95	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	91,64	85,75	349,78	-0,60	218,48	567,66	126,01	73,93	0,00	199,94	-367,72	-37,49	350,75	91,06	213,61	21,78	-170,84	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.3. Município de Embu das Artes

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Embu das Artes aponta para a coleta das 114,68 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU de R\$ 230,14 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 1,24 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 8,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 9,77 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 230,14 milhões em VPL, compensados em 4,78% pelo total de R\$ 11 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 22,34 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 194,78 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 85,08 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 0,23 mil t/ano, efetivamente desviando 0,13 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 1 caminhão baú e com o trabalho de 7 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Embu das Artes não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,74% do total, requerendo para tal a contratação de 249 triadores de resíduos e de 146 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 43,47% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 39,29 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 10,92% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 38 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 10,01 mil t/ano em adição à recuperação de 4,29 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 0,13 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 63,7, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 27,82. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ VSP de R\$ 0,53 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,78, que demonstra que os benefícios superam os custos em 278%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 54,52 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 25,84 milhões em VPL para a solução individual de Embu das Artes. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 140,17 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 218,18 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,19 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 162,53 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 55,66 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 61,67 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 23,94 por ano, ou ainda R\$ 2 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 54,82/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Embu das Artes gera R\$ 0,57 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 57,61 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,66 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSP (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 133,84 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 95,73 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 40,35% sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 194,78 para R\$ 254,37, ou seja, incremento de 30,59%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 26,03 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 173,53 milhões em VPL e aumentam em R\$ 162,53 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 111,49 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 71,8% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,09 vezes (69,7% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,3%, ou seja, 98,97 mil toneladas anuais (supera em 1,35 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 316,63 milhões ( $\Delta$ VSP) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSP de R\$ 80,54 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 13,87 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 53,86 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 22,94 mil t/ano desta fração e produz 18,31 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 71,11 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 442,29 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 122,89 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 108 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,53 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 54,52 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 30,36 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,37% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Embu das Artes.

Tabela 108: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Embu das Artes.

EMBU DAS ARTES	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	-	-	<b>230,14</b>	<b>230,14</b>	<b>1,24</b>	<b>9,77</b>	-	<b>11,00</b>	<b>-219,14</b>	<b>-22,34</b>	<b>194,78</b>	<b>85,08</b>	-	-	<b>111,23</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	4,29	3,74	31,21	2,88	69,61	103,69	42,06	-0,04	0,00	42,02	-61,67	-6,29	54,82	23,94	141,92	14,47	-9,65	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	14,29	12,46	104,54	2,88	104,09	211,50	140,17	-0,34	0,00	139,84	-71,67	-7,31	63,70	27,82	534,83	54,52	-34,82	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	41,68	36,34	214,89	2,88	131,30	349,06	140,17	-2,17	0,00	138,01	-211,06	-21,51	187,60	81,94	439,49	44,80	-84,53	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	50,45	43,99	227,19	12,67	117,75	357,60	140,17	-2,75	0,00	137,42	-220,18	-22,45	195,71	85,49	442,29	45,09	-99,87	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	52,59	45,86	133,84	2,88	92,85	229,57	140,17	-3,48	25,84	162,53	-67,04	-6,83	59,59	26,03	565,18	57,61	-111,49	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	79,98	69,74	244,19	2,88	120,06	367,13	140,17	-5,31	25,84	160,70	-206,43	-21,04	183,49	80,15	484,65	49,40	-189,47	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	98,97	86,30	366,38	2,88	231,49	600,75	140,17	78,01	0,00	218,18	-382,56	-39,00	340,05	148,53	248,56	25,34	-180,49	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.4. Município de Itapecerica da Serra

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Itapecerica da Serra aponta para a coleta de 51,69 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 373,57 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 54 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 114,89 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 5,3 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 3,91 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 4,4 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 488,46 milhões em VPL, compensados em 1,98% pelo total de R\$ 9,69 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 48,8 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 944,24 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 293,95 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 0,98 mil t/ano, efetivamente desviando 0,54 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 4 caminhões baú e com o trabalho de 31 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Itapecerica da Serra não apresenta escala para a tecnologia de incineração, e tampouco para as rotas tecnológicas que incluem a biodigestão (RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão e RT com geração

de CDR, com biodigestão). Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 1 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,81% do total, requerendo para tal a contratação de 84 triadores de resíduos e de 49 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 35,98% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 17,71 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 8,19% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de "aumentar a recuperação da fração seca dos RSU" é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 19 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 4,51 mil t/ano em adição à recuperação de 1,45 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 0,54 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 177,88, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 55,38. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,17 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (2,21, que demonstra que os benefícios superam os custos em 121%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a "jogar fora"

(entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 16,86 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 11,64 milhões em VPL para a solução individual de Itapeverica da Serra. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 58,43 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 93,6 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,59 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 68,51 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 25,08 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 29,09 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 17,86 por ano, ou ainda R\$ 1,49 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 57,37/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Itapeverica da Serra gera R\$ 0,18 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 18,08 milhões de ganhos a cada ano durante 22

anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 2,2 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 87,93 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 70,04 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de -0,06% e de 61,16%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 944,24 para R\$ 1.120,68, ou seja, incremento de 18,69%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 54,93 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 78,21 milhões em VPL e aumentam em R\$ 68,51 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 49,16 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 70,3% desta, resultado aquém do necessário. Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,4%, ou seja, 44,12 mil toneladas anuais (supera em 1,34 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 164,82 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. A rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 10,34 mil t/ano desta fração e produz 8,25 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 32,05 mil t/ano de orgânicos -

suficiente para superar em 3,43 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 84,31 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 93,04 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 109 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,17 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 16,86 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 11,97 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 6,75% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Itapeverica da Serra.

Tabela 109: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Itapecerica da Serra.

ITAPECERICA DA SERRA	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,54</b>	<b>1,05</b>	-	<b>373,57</b>	<b>114,89</b>	<b>488,46</b>	<b>5,30</b>	<b>4,40</b>	-	<b>9,69</b>	<b>-478,76</b>	<b>-48,80</b>	<b>944,24</b>	<b>293,95</b>	-	-	<b>49,20</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1,45	2,81	20,73	0,72	21,84	43,29	14,22	-0,01	0,00	14,20	-29,09	-2,97	57,37	17,86	40,04	4,08	-3,26
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	5,96	11,53	75,82	0,52	72,14	148,48	58,43	-0,15	0,00	58,29	-90,19	-9,19	177,88	55,38	165,38	16,86	-14,61
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	22,26	43,06	151,85	8,59	95,52	255,96	58,43	-1,24	0,00	57,20	-198,76	-20,26	392,01	122,04	84,31	8,59	-43,92
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	23,22	44,92	87,93	-0,23	70,27	157,97	58,43	-1,57	11,64	68,51	-89,46	-9,12	176,44	54,93	177,35	18,08	-49,16
	RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com gaseificação, sem biodigestão	44,12	85,37	180,29	-1,13	169,96	349,12	58,43	35,16	0,00	93,60	-255,52	-26,05	503,95	156,88	12,53	1,28	-80,26
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.5. Município de Itapevi

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Itapevi aponta para a coleta de 57,59 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 115,75 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de nenhuma receita acessória da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 4,36 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 4,91 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 115,75 milhões em VPL, compensados em 4,24% pelo total de R\$ 4,91 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 11,3 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 196,18 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 46,4 por habitante. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Itapevi não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 1 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,85% do total, requerendo para tal a contratação de 129 triadores de resíduos e de 75 catadores

formais (formalizando, assim, a atuação de 85,71% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 19,73 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 11,24% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 19 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 5,02 mil t/ano em adição à recuperação de 2,22 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal. Nota-se que o município, atualmente (contrafactual), não recupera materiais recicláveis. O resultado final permite atingir 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,28 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 165,76, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 39,2. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,22 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (2,44, que demonstra que os benefícios superam os custos em 144%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 22,2 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 12,98 milhões em VPL para a solução individual de Itapevi. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se

mantém constante em R\$ 71,02 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 110,19 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,07 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 82,24 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 27,95 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 38,41 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 16,08 por ano, ou ainda R\$ 1,34 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 67,99/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Itapevi gera R\$ 0,23 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 23,66 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 2,44 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 92,1 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 82,62 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0% e de 70,1%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do

custo da gestão por tonelada de R\$ 196,18 para R\$ 359,87, ou seja, incremento de 83,44%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 38,71 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 87,15 milhões em VPL e aumentam em R\$ 82,24 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 56,13 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 71,9% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,09 vezes (69,8% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,4%, ou seja, 49,77 mil toneladas anuais (supera em 1,35 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 255,47 milhões ( $\Delta$ VSP) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSP de R\$ 68,47 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 6,96 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 27,05 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,59 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 11,52 mil t/ano desta fração e produz 9,19 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 35,71 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,43 vezes a

meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 137,63 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 94,47 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 110 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,22 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 22,2 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 14,31 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 6,17% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Itapevi.

Tabela 110: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Itapevi.

ITAPEVI	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	-	<b>0,00</b>	<b>115,75</b>	<b>115,75</b>	<b>0,00</b>	<b>4,91</b>	-	<b>4,91</b>	<b>-110,84</b>	<b>-11,30</b>	<b>196,18</b>	<b>46,40</b>	-	-	<b>55,98</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	2,22	3,85	22,46	1,49	36,19	60,14	21,74	-0,02	0,00	21,72	-38,41	-3,92	67,99	16,08	67,32	6,86	-4,99	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	7,24	12,57	78,82	1,49	84,20	164,50	71,02	-0,17	0,00	70,85	-93,65	-9,55	165,76	39,20	217,78	22,20	-17,63	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	21,00	36,45	149,05	1,49	112,79	263,33	71,02	-1,09	0,00	69,93	-193,40	-19,72	342,31	80,96	141,90	14,47	-42,60	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	25,40	44,10	161,05	5,74	106,88	273,67	71,02	-1,38	0,00	69,63	-204,03	-20,80	361,13	85,41	137,63	14,03	-50,30	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	26,47	45,97	92,10	1,49	81,13	174,72	71,02	-1,75	12,98	82,24	-92,48	-9,43	163,68	38,71	232,10	23,66	-56,13	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	40,23	69,85	162,33	1,49	109,73	273,55	71,02	-2,67	12,98	81,32	-192,23	-19,60	340,23	80,47	163,62	16,68	-95,29	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	49,77	86,41	244,81	1,49	218,11	464,40	71,02	39,18	0,00	110,19	-354,21	-36,11	626,93	148,27	-23,38	-2,38	-90,79	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.6. Município de Itaquaquetuba

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Itaquaquetuba aponta para a coleta de 90,84 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 510,58 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 46 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 182,56 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de zero receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 6,72 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 7,56 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 693,14 milhões em VPL, compensados em 1,09% pelo total de R\$ 7,56 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 69,89 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 769,34 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 180,46 por habitante. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Itaquaquetuba não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,85% do

total, requerendo para tal a contratação de 203 triadores de resíduos e de 119 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 73,72% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 33,43 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 10,46% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 33 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 8,66 mil t/ano em adição à recuperação de 3,5 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal. Nota-se que o município, atualmente (contrafactual), não recupera materiais recicláveis. O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 93,71, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 21,98. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,42 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,34, que demonstra que os benefícios superam os custos em 234%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 42,44 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar

R\$ 20,78 milhões em VPL para a solução individual de Itaquaquetuba. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 111,7 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 174,53 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,44 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 129,61 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 44,92 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 51,91 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada município tem de arcar com a diferença de R\$ 13,66 por ano, ou ainda R\$ 1,14 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 58,25/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Itaquaquetuba gera R\$ 0,44 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 44,7 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,22 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 119,02 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 92,85 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,15% e de

50,44%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 769,34 para R\$ 861,64, ou seja, incremento de 12%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 21,65 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 137,17 milhões em VPL e aumentam em R\$ 129,61 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 94,31 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 74% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,09 vezes (69,5% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,3%, ou seja, 78,4 mil toneladas anuais (supera em 1,35 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 294,79 milhões ( $\Delta$ VSP) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSP de R\$ 76,31 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 10,22 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 39,68 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois

coleta seletivamente 18,17 mil t/ano desta fração e produz 13,73 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 53,35 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 339,75 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 98,79 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 111 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,42 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 42,44 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 22,23 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,07% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Itaquaquecetuba.

Tabela 111: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Itaquaquecetuba.

ITAQUAQUECETUBA	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	-	<b>510,58</b>	<b>182,56</b>	<b>693,14</b>	<b>0,00</b>	<b>7,56</b>	-	<b>7,56</b>	<b>-685,58</b>	<b>-69,89</b>	<b>769,34</b>	<b>180,46</b>	-	-	<b>92,49</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	3,50	3,85	26,00	2,22	55,76	83,98	32,13	-0,06	0,00	32,07	-51,91	-5,29	58,25	13,66	109,24	11,14	-8,10	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	12,16	13,39	94,17	1,90	98,79	194,85	111,70	-0,36	0,00	111,34	-83,51	-8,51	93,71	21,98	416,30	42,44	-30,47	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	32,34	35,60	186,12	1,15	127,06	314,33	111,70	-1,71	0,00	109,99	-204,34	-20,83	229,30	53,79	328,82	33,52	-68,03	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	39,29	43,25	195,82	7,59	108,15	311,57	111,70	-2,17	0,00	109,53	-202,04	-20,60	226,72	53,18	339,75	34,63	-80,51	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	42,96	47,29	119,02	0,76	92,09	211,86	111,70	-2,87	20,78	129,61	-82,25	-8,38	92,30	21,65	438,54	44,70	-94,31	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	63,14	69,50	210,97	0,01	120,36	331,34	111,70	-4,22	20,78	128,26	-203,08	-20,70	227,89	53,46	362,23	36,93	-153,27	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	78,40	86,30	319,50	-0,55	231,05	550,00	111,70	62,83	0,00	174,53	-375,47	-38,28	421,34	98,83	143,75	14,65	-146,37	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.7. Município de Osasco

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Osasco aponta para a coleta de 299,33 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU de R\$ 620,34 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 9,07 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 22,13 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 24,91 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 620,34 milhões em VPL, compensados em 5,48% pelo total de R\$ 33,98 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 59,77 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 199,69 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 78,23 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 1,8 mil t/ano, efetivamente desviando 0,99 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 8 caminhões baú e com o trabalho de 57 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Osasco apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,52% do total, requerendo para tal a contratação de 611 triadores de resíduos e de 358 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 186,71% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 110,15 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 9,57% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 112 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 28,54 mil t/ano em adição à recuperação de 10,54 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 0,99 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 10,7, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 4,19 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 1,61 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (6,43, que demonstra que os benefícios superam os custos em 543%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas

pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 164,33 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 68,46 milhões em VPL para a solução individual de Osasco. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 358,98 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 566,03 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,86 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 460,84 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 105,19 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os positivos R\$ 31,42 milhões (VPL) da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 4,19 por ano por habitante (R\$ 10,7/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Osasco gera R\$ 1,68 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 171,1 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras

palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,58 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 290,26 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 102,46 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0% e de 15,38%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove a redução do custo da gestão por tonelada de R\$ 199,69 para R\$ 191,08, ou seja, redução (economia) de -4,31%. Na métrica de despesas por habitante, equivale a redução de R\$ -3,37 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 451,99 milhões em VPL e aumentam em R\$ 418,01 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 308,49 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 73,5% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (69,2% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86%, ou seja, 257,34 mil toneladas anuais (supera em 1,35 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 436,35 milhões ( $\Delta$ VSPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão.

Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSPL de R\$ 91,68 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 33,66 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 130,76 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 59,87 mil t/ano desta fração e produz 45,25 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 175,78 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 1.454,64 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 223,78 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 112 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 1,61 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 164,33 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 66,38 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 3,95% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem

biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Osasco.

Tabela 112: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Osasco.

OSASCO	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,99</b>	<b>0,33</b>	-	<b>0,00</b>	<b>620,34</b>	<b>620,34</b>	<b>9,07</b>	<b>24,91</b>	-	<b>33,98</b>	<b>-586,35</b>	<b>-59,77</b>	<b>199,69</b>	<b>78,23</b>	-	-	<b>302,79</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	10,54	3,52	63,96	7,06	158,10	229,12	96,79	-0,18	0,00	96,60	-132,52	-13,51	45,13	17,68	349,82	35,66	-24,40
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	39,08	13,06	190,73	7,06	128,61	326,40	358,98	-1,16	0,00	357,82	31,42	3,20	-10,70	-4,19	1.612,05	164,33	-98,10
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	105,57	35,27	393,18	7,06	152,68	552,93	358,98	-5,61	0,00	353,38	-199,55	-20,34	67,96	26,63	1.483,51	151,23	-221,89
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	128,47	42,92	436,49	39,58	138,98	615,06	358,98	-7,14	0,00	351,85	-263,21	-26,83	89,64	35,12	1.454,64	148,28	-262,98
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	140,55	46,96	290,26	7,06	95,40	392,73	358,98	-9,44	68,46	418,01	25,28	2,58	-8,61	-3,37	1.678,43	171,10	-308,49
	RT com geração de CDR, com biodigestão	207,05	69,17	492,71	7,06	119,47	619,25	358,98	-13,88	68,46	413,56	-205,69	-20,97	70,05	27,44	1.586,75	161,75	-502,74
	RT com gaseificação, sem biodigestão	257,34	85,97	682,28	7,06	252,09	941,43	358,98	207,05	0,00	566,03	-375,39	-38,27	127,85	50,09	1.242,07	126,62	-480,02
	RT com incineração, sem biodigestão	190,84	63,76	1.204,26	7,06	437,63	1.648,95	358,98	101,86	0,00	460,84	-1.188,10	-121,11	404,62	158,52	397,65	40,54	-308,95
	RT com incineração, com biodigestão	257,34	85,97	1.406,71	7,06	461,70	1.875,47	358,98	97,41	0,00	456,40	-1.419,07	-144,66	483,28	189,34	269,11	27,43	-432,74

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.8. Município de São Paulo

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de São Paulo aponta para a coleta de 3.850,75 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 9.261,06 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 18 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 8.169,18 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 250,09 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 300,71 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 338,42 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 17.430,23 milhões em VPL, compensados em 3,38% pelo total de R\$ 588,51 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 1.705,24 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 442,83 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 144,51 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 69,31 mil t/ano, efetivamente desviando 36,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 308 caminhões baú e com o trabalho de 2.145 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de São Paulo apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a

tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 5 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,77% do total, requerendo para tal a contratação de 4.261 triadores de resíduos e de 3.741 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 37,2% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 1.355,08 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 7,88% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de "aumentar a recuperação da fração seca dos RSU" é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 1.587 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 347,37 mil t/ano em adição à recuperação de 106,79 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal e também às 36,97 mil t/ano recuperadas atualmente (contrafactual). O resultado final permite atingir 36,24% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,26 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 82,12, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 26,8 por habitante por ano. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 21,79 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante

elevado (17,46, que demonstra que os benefícios superam os custos em 1.646%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 2.221,34 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 821,4 milhões em VPL para a solução individual de São Paulo. A partir da RT de adição da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 4.469,03 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 6.938,87 milhões), superando a rota de menor complexidade em 6,61 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 5.721,85 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 1.217,02 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os positivos R\$ 4.000,56 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representam a melhor opção. Uma vez positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 34,56 por ano por habitante (R\$ 105,9/t). Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, com biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de São Paulo gera R\$ 23,66 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que

se tem a geração de R\$ 2.412,24 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 9,33 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ V SPL (RT com geração de CDR, com biodigestão), requer um Capex de R\$ 4.114,47 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ - 1.262,46 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de 0,23% e de -15,71%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove a redução do custo da gestão por tonelada de R\$ 442,83 para R\$ 382,99, ou seja, redução (economia) de 13,51%. Na métrica de despesas por habitante, equivale a redução de R\$ 19,53 por ano. As despesas são compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 5.701,16 milhões em VPL e aumentam em R\$ 5.112,65 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 6.366,78 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 108,1% desta, resultado além do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,08 vezes (69,1% de desvio). Já os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,8%, ou seja, 3.267,28 mil toneladas anuais (supera em 1,33 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da rota com tratamento térmico de maior resultado positivo é R\$ 3.161,75 milhões ( $\Delta$ V SPL) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, com biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota

escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que além de apresentar um  $\Delta$ VSPL superior em R\$ 226,49 milhões com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 500,64 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 1.944,65 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,79 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 770,15 mil t/ano desta fração e produz 649,74 mil t/ano de digestato. Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 2.523,8 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,62 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 2.1418,23 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 2.245,31 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, com biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 113 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com geração de CDR, sem biodigestão), opção que gera R\$ 23,44 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 2.389,15 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 226,49 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa

0,96% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, com biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de São Paulo.

Tabela 113: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de São Paulo.

SÃO PAULO	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE	
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL		
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>		
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>36,97</b>	<b>0,96</b>	-	<b>9.261,06</b>	<b>8.169,18</b>	<b>17.430,23</b>	<b>250,09</b>	<b>338,42</b>	-	<b>588,51</b>	<b>-16.841,72</b>	<b>-1.705,24</b>	<b>442,83</b>	<b>144,51</b>	-	-	<b>3.826,30</b>	
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	106,79	2,77	536,75	57,80	1.031,20	1.625,76	1.050,87	-0,34	0,00	1.050,54	-575,22	-58,64	15,23	4,97	4.229,65	431,17	-238,03
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	454,16	11,79	1.613,32	52,78	-308,90	1.357,19	4.469,03	-9,84	0,00	4.459,20	3.102,01	316,22	-82,12	-26,80	21.790,86	2.221,34	-1.107,77
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.443,04	37,47	3.514,94	38,47	-522,41	3.030,99	4.469,03	-75,95	0,00	4.393,08	1.362,09	138,85	-36,06	-11,77	21.485,95	2.190,25	-2.973,03
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.737,54	45,12	3.840,33	665,44	-995,60	3.510,17	4.469,03	-95,64	0,00	4.373,39	863,22	88,00	-22,85	-7,46	21.418,23	2.183,35	-3.508,89
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.671,60	43,41	2.212,85	35,16	-1.069,80	1.178,21	4.469,03	-111,67	821,40	5.178,77	4.000,56	407,81	-105,90	-34,56	23.437,05	2.389,15	-3.486,18
	RT com geração de CDR, com biodigestão	2.660,47	69,09	4.114,47	20,85	-1.283,31	2.852,01	4.469,03	-177,78	821,40	5.112,65	2.260,64	230,45	-59,84	-19,53	23.663,54	2.412,24	-6.366,78
	RT com gaseificação, sem biodigestão	3.267,28	84,85	6.755,42	12,07	-1.193,40	5.574,09	4.469,03	2.469,84	0,00	6.938,87	1.364,78	139,12	-36,13	-11,79	20.501,79	2.089,93	-6.129,66
	RT com incineração, sem biodigestão	2.278,41	59,17	10.105,98	26,38	1.695,82	11.828,18	4.469,03	1.252,82	0,00	5.721,85	-6.106,33	-622,47	161,65	52,75	12.418,02	1.265,88	-3.598,19
	RT com incineração, com biodigestão	3.267,28	84,85	12.007,60	12,07	1.482,31	13.501,98	4.469,03	1.186,70	0,00	5.655,73	-7.846,25	-799,84	207,71	67,78	12.106,72	1.234,15	-5.463,46

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

#### 7.4.4.9. Município de Suzano

- **RT Contrafactual (linha de base)**

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Suzano aponta para a coleta de 103,87 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 1.115,73 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 83 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 208,74 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de zero receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 7,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 8,65 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1.324,47 milhões em VPL, compensados em 0,65% pelo total de R\$ 8,65 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 134,13 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 1.291,41 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 416,02 por habitante. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

- **Resultados das rotas**

A solução individual de Suzano não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

A RT de melhorias na coleta seletiva é a mais simples de todas, e simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva (as demais RT incorporam estas mesmas melhorias). A RT permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,85% do

total, requerendo para tal a contratação de 232 triadores de resíduos e de 136 catadores formais (formalizando, assim, a atuação de 22,8% dos catadores autônomos existentes atualmente no município). Pelas análises gravimétricas, são 38,22 mil toneladas de resíduos recicláveis na rota, o que permite estimar em 10,46% o incremento de recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados. Nota-se que a meta de “aumentar a recuperação da fração seca dos RSU” é de 28,7% até 2040.

A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é demonstrada na RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, e requer a contratação de 38 triadores para a seleção refinada dos resíduos. A tecnologia (que é adotada em todas as demais RT) torna possível a recuperação de 9,9 mil t/ano em adição à recuperação de 4 mil t/ano promovido pelo aumento na coleta seletiva formal. Nota-se que o município, atualmente (contrafactual), não recupera materiais recicláveis. O resultado final permite atingir 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados, superando a meta de 2040 em 1,27 vezes.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 73,27, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 23,6. Mesmo com a baixa complexidade, a RT é capaz de agregar valores significativos para o município, com um  $\Delta$ V SPL de R\$ 0,49 bilhões e um índice Benefício/Custo elevado (3,68, que demonstra que os benefícios superam os custos em 268%). Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 50,45 milhões por ano, pelos próximos 22 anos.

As RT apresentam um diferente balanço entre as receitas acessórias, com a geração de energia demonstrando ordens de grandeza superiores quando se adicionam tratamentos térmicos. A produção de CDR, por sua vez, permite adicionar R\$ 23,76 milhões em VPL para a solução individual de Suzano. A partir da RT de adição

da triagem mecanizada de mistos, a receita com a comercialização de recicláveis se mantém constante em R\$ 127,72 milhões (todas as receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem). A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 199,55 milhões), superando a rota de menor complexidade em 5,44 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 148,19 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é de R\$ 51,36 milhões, restando investigar se o diferencial compensa as respectivas despesas.

Os resultados consolidados da avaliação financeira para o município mostram que os negativos R\$ 57,22 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representam a melhor opção. Uma vez negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 18,09 por ano, ou ainda R\$ 1,51 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 56,16/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Cabe à análise socioeconômica confirmar se esta é a opção de melhor relação benefício-custo.

Sob a ótica socioeconômica, no entanto, é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, que agrega o maior benefício líquido. Ao se optar por esta rota, a solução individual de Suzano gera R\$ 0,52 bilhões positivos em  $\Delta$ VSPL. O VAE revela que se tem a geração de R\$ 53,3 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. Em outras palavras: a cada R\$ 1,00 investido pelo município na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,56 retornam em benefícios.

A opção pela rota de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), requer um Capex de R\$ 127,32 milhões (VPL), além de aumentar o Opex em R\$ 90,39 milhões (VPL). Estas despesas financeiras representam uma variação de -0,1% e de 43,84%, respectivamente, sobre o que já seria dispendido na rota contrafactual com

coleta, e com tratamento e disposição final. Em termos unitários, a rota promove o aumento do custo da gestão por tonelada de R\$ 1291,41 para R\$ 1.359,64, ou seja, incremento de 5,28%. Na métrica de despesas por habitante, equivale ao aumento de R\$ 21,98 por ano. As despesas são parcialmente compensadas pelos ganhos obtidos pelas receitas acessórias, que somam R\$ 156,84 milhões em VPL e aumentam em R\$ 148,19 milhões as que seriam geradas na rota contrafactual. Além disso, a rota contribui para a mitigação da mudança do clima, sequestrando 107,84 mil tCO<sub>2eq</sub> por ano.

Uma vez que o PLANARES traz como meta “reduzir em 63,9% a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”, observa-se que a RT de maior retorno socioeconômico permite atingir 74% desta, resultado aquém do necessário. Quando o CDR é combinado com a biodigestão, tem-se a superação da meta de desvio em 1,09 vezes (69,5% de desvio). Já o tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,3%, ou seja, 89,64 mil toneladas anuais (supera em 1,35 vezes a meta). Não obstante o desvio maior do aterro, o resultado socioeconômico da gaseificação é R\$ 306,41 milhões ( $\Delta$ VSP) inferior do que a rota de maior retorno socioeconômico (RT com geração de CDR, sem biodigestão).

Observa-se, ainda, que outra das metas do PLANARES é “aumentar para 18,1% a reciclagem da fração orgânica dos RSU em 2040”. Para cumprir com essa meta, a rota escolhida deve necessariamente contar com o emprego da tecnologia de biodigestão. Pode-se, por exemplo, adotar a RT com geração de CDR, com biodigestão, que embora tenha um  $\Delta$ VSP de R\$ 78 milhões inferior à RT com geração de CDR, sem biodigestão, promove a geração de 11,68 mil t/ano de digestato por meio do desvio de 45,37 mil t/ano de orgânicos, suficiente para superar a meta em 2,41 vezes.

Destaca-se, ainda, que a rota que promove a maior porcentagem de reciclagem de orgânicos é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, pois coleta seletivamente 20,77 mil t/ano desta fração e produz 15,7 mil t/ano de digestato.

Por não contar com a tecnologia do CDR, é menos complexa, e mesmo assim promove um desvio de 61 mil t/ano de orgânicos - suficiente para superar em 3,24 vezes a meta do PLANARES para 2040. Embora essa RT gere benefícios socioeconômicos líquidos positivos e significativos, de R\$ 418,44 milhões ( $\Delta$ VSPL), são R\$ 104,39 milhões inferiores que a RT com geração de CDR, sem biodigestão, além de não ser a RT que promove a maior redução de massa desviada de aterro sanitário.

Os resultados apresentados na Tabela 114 demonstram que não há uma única rota tecnológica que atenda a plenitude de todas as metas e que retorne, concomitantemente, a maior relação de benefícios e custos para a sociedade. Em outras palavras: há um conflito de escolha entre as opções. Duas observações, no entanto, se fazem relevantes. A primeira é que todas as RT são muito superiores à contrafactual, pois agregam mais benefícios do que custos e permitem caminhar rumo aos cumprimentos de todas as metas. Esse resultado corrobora o diagnóstico de que a gestão atual é subótima; situação na qual qualquer ação de melhoria é preferível à manutenção da rota tecnológica atual.

Um segundo ponto é sobre a rota que agrega o 2º maior retorno líquido (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), opção que gera R\$ 0,49 bilhões em  $\Delta$ VSPL (R\$ 50,45 milhões a cada ano por 22 anos). A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 27,93 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,34% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas balizas para serem adotadas pela solução individual de Suzano.

Tabela 114: Resultados Gerais da Modelagem das RT para o Município de Suzano.

SUZANO	Massa desviada do aterro	Fração do desvio	Despesas (ótica financeira)				Receitas Acessórias (ótica financeira)				ÓTICA FINANCEIRA (consolidado)				ÓTICA ECONÔMICA		Redução das Emissões Líquidas de GEE		
			Investimento (CAPEX)	Coleta de RSU (OPEX)	Tratamento e Disp. Final (OPEX)	Despesas Totais	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante	Valor Social Presente Líquido (Benefícios Sociais - Custos Sociais)	Valor Anual Equivalente do ΔVSPL			
Rota Tecnológica	(mil t/ano)	(%)	VPL (R\$, milhões)				VPL (R\$, milhões)				(VPL, R\$, milhões)	(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)	(R\$, milhões)	(R\$, milhões)	mil tCO <sub>2eq</sub>			
<b>Rota Contrafactual</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	-	<b>1.115,73</b>	<b>208,74</b>	<b>1.324,47</b>	<b>0,00</b>	<b>8,65</b>	-	<b>8,65</b>	<b>-1.315,82</b>	<b>-134,13</b>	<b>1.291,41</b>	<b>416,02</b>	-	-	<b>105,75</b>		
Valores Incrementais à RT Contrafactual	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	4,00	3,85	28,86	1,89	63,14	93,89	36,73	-0,07	0,00	36,66	-57,22	-5,83	56,16	18,09	126,72	12,92	-9,26	
	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	13,90	13,39	99,85	1,23	100,88	201,96	127,72	-0,41	0,00	127,31	-74,65	-7,61	73,27	23,60	494,90	50,45	-34,84	
	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	36,98	35,60	199,61	-0,31	128,82	328,12	127,72	-1,95	0,00	125,76	-202,36	-20,63	198,60	63,98	404,11	41,19	-77,79	
	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	44,92	43,25	209,16	5,32	108,18	322,65	127,72	-2,48	0,00	125,23	-197,42	-20,12	193,76	62,42	418,44	42,66	-92,05	
	RT com geração de CDR, sem biodigestão	49,11	47,29	127,32	-1,12	91,52	217,71	127,72	-3,28	23,76	148,19	-69,52	-7,09	68,23	21,98	522,83	53,30	-107,84	
	RT com geração de CDR, com biodigestão	72,19	69,50	227,08	-2,66	119,45	343,87	127,72	-4,82	23,76	146,65	-197,22	-20,10	193,56	62,35	444,83	45,35	-175,24	
	RT com gaseificação, sem biodigestão	89,64	86,30	343,76	-3,83	230,49	570,43	127,72	71,84	0,00	199,55	-370,87	-37,81	363,99	117,26	216,42	22,06	-167,36	
	RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 8. PROPOSIÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA RCC

Conforme descrito ao longo deste documento, a regionalização tem por objetivo viabilizar, em todos os municípios, a destinação adequada dos RCC coletados pelo poder público municipal, ou seja, aqueles gerados pelos pequenos geradores e aqueles recolhidos nos pontos de descarte irregular.

Para identificar a demanda por plantas de recuperação e reciclagem, foi estimada a quantidade mensal de RCC Classe A gerada por pequenos geradores (70% do total) em cada município da região de estudo, conforme apresentado na Tabela 115. Posteriormente, os resultados individuais foram agrupados nos arranjos intermunicipais propostos, conforme será apresentado a seguir.

A estimativa apresentada considera que todo RCC Classe A gerado por pequenos geradores seja coletado e destinado pelo poder público municipal. Os RCC gerados pelos grandes geradores não foram considerados, uma vez que a destinação é de responsabilidade dos próprios geradores.

Conforme visto anteriormente, 4 dos 5 consórcios intermunicipais existentes na região de estudo adquiriram usinas móveis para reciclagem de RCC, são eles: CIOESTE, CONISUD, CONDEMAT e Grande ABC. As usinas possuem capacidade de processamento de até 100 t/hora, chegando a 12.000 t/mês considerando operação em 20 dias por mês e 6 horas por dia. Sendo assim, é possível avaliar o atendimento à demanda de todos os municípios consorciados ou então a necessidade de novos equipamentos.

Conforme pode ser observado na Tabela 115, São Paulo, Guarulhos, São Bernardo do Campo, Santo André, Osasco e Mogi das Cruzes geram, já no curto prazo, mais de 10.000 t/mês de RCC Classe A advindos de pequenos geradores, ou seja, possuem demanda suficiente para uma ou mais usinas móveis, podendo ainda considerar a utilização de outras formas de destinação associadas.

Além disso, cabe destacar que na composição dos Arranjos Intermunicipais os municípios com concessão de serviços de manejo de resíduos sólidos que incluem o manejo de RCC também não foram considerados na destinação regionalizada, assim como para os resíduos sólidos urbanos, porém estão apresentados na Tabela 115.

Tabela 115: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores.

Estimativa da Geração de RCC Classe A de Pequenos Geradores (t/mês)									
Municípios	2025			2034			2044		
	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-
Arujá	1.927,60	1.931,49	1.909,76	2.002,86	2.047,06	1.928,52	2.039,16	2.146,30	1.896,87
Barueri	7.042,61	7.056,83	6.977,38	7.331,91	7.493,68	7.059,76	7.472,21	7.864,76	6.950,80
Biritiba Mirim	660,05	661,38	653,93	685,62	700,74	660,16	697,94	734,61	649,24
Caieiras	2.113,28	2.117,54	2.093,71	2.195,49	2.243,93	2.114,00	2.235,13	2.352,56	2.079,17
Cajamar	2.061,72	2.065,87	2.042,61	2.143,53	2.190,81	2.063,97	2.183,06	2.297,74	2.030,73
Carapicuíba	8.604,96	8.622,32	8.525,24	8.937,76	9.134,95	8.606,01	9.098,06	9.576,05	8.463,24
Cotia	6.106,60	6.118,93	6.050,03	6.357,38	6.497,64	6.121,40	6.478,97	6.819,37	6.026,88
Diadema	8.742,81	8.760,46	8.661,83	9.077,38	9.277,65	8.740,43	9.238,34	9.723,69	8.593,71
Embu das Artes	5.574,35	5.585,60	5.522,70	5.789,94	5.917,68	5.575,01	5.893,79	6.203,41	5.482,52
Embu-Guaçu	1.489,20	1.492,20	1.475,40	1.546,97	1.581,11	1.489,55	1.574,80	1.657,55	1.464,92
Ferraz de Vasconcelos	3.984,84	3.992,88	3.947,93	4.139,58	4.230,91	3.985,91	4.214,14	4.435,55	3.920,08
Francisco Morato	3.672,22	3.679,65	3.638,22	3.814,90	3.899,07	3.673,29	3.883,65	4.087,68	3.612,66
Franco da Rocha	3.221,18	3.227,69	3.191,35	3.346,78	3.420,62	3.222,56	3.407,32	3.586,35	3.169,57
Guararema	694,62	696,02	688,18	721,64	737,56	694,86	734,68	773,27	683,40
Guarulhos	28.726,17	28.784,14	28.460,08	29.844,60	30.503,08	28.736,83	30.383,76	31.980,05	28.263,65
Itapeceira da Serra	3.524,89	3.532,01	3.492,24	3.661,24	3.742,00	3.525,33	3.726,91	3.922,70	3.466,84
Itapevi	5.166,78	5.177,22	5.118,92	5.371,00	5.489,51	5.171,65	5.469,63	5.756,98	5.087,98
Itaquaquecetuba	8.214,42	8.230,99	8.138,33	8.542,00	8.730,45	8.224,92	8.700,34	9.157,42	8.093,25
Jandira	2.625,04	2.630,34	2.600,73	2.727,16	2.787,33	2.625,93	2.776,39	2.922,26	2.582,67
Juquitiba	609,36	610,58	603,70	632,90	646,86	609,40	644,26	678,09	599,29
Mairiporã	2.087,18	2.091,40	2.067,85	2.168,73	2.216,59	2.088,23	2.208,07	2.324,08	2.054,01
Mauá	9.298,31	9.317,10	9.212,20	9.651,53	9.864,47	9.293,29	9.821,34	10.337,33	9.136,02
Mogi das Cruzes	10.045,13	10.065,40	9.952,07	10.450,42	10.681,00	10.062,52	10.646,59	11.205,93	9.903,68
Nazaré Paulista	407,10	407,93	403,34	429,11	438,57	413,17	440,08	463,20	409,37
Osasco	16.207,03	16.239,74	16.056,92	16.850,98	17.222,76	16.225,48	17.162,09	18.063,73	15.964,56
Paraibuna	394,32	395,11	390,67	414,11	423,24	398,73	423,91	446,17	394,32
Pirapora do Bom Jesus	408,50	409,33	404,72	424,35	433,72	408,60	432,00	454,69	401,86
Poá	2.307,16	2.311,81	2.285,77	2.395,91	2.448,77	2.306,98	2.438,63	2.566,77	2.268,48
Ribeirão Pires	2.569,52	2.574,72	2.545,71	2.668,78	2.727,66	2.569,72	2.716,59	2.859,31	2.527,04
Rio Grande da Serra	982,17	984,15	973,06	1.020,15	1.042,66	982,30	1.038,45	1.093,00	965,98
Salesópolis	338,04	338,72	334,89	351,12	358,87	338,08	357,43	376,19	332,49

Estimativa da Geração de RCC Classe A de Pequenos Geradores (t/mês)									
Municípios	2025			2034			2044		
	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-	Tendencial	ONU+	ONU-
Santa Isabel	1.182,40	1.184,80	1.171,45	1.228,24	1.255,34	1.182,66	1.250,32	1.316,01	1.163,07
Santana de Parnaíba	3.428,40	3.435,32	3.396,64	3.566,28	3.644,94	3.433,90	3.632,97	3.823,83	3.379,48
Santo André	16.660,71	16.694,32	16.506,39	17.328,88	17.711,21	16.685,67	17.652,05	18.579,44	16.420,32
São Bernardo do Campo	18.028,79	18.065,17	17.861,80	18.730,60	19.143,85	18.035,34	19.068,90	20.070,72	17.738,30
São Caetano do Sul	3.683,97	3.691,40	3.649,86	3.827,90	3.912,37	3.685,83	3.897,33	4.102,08	3.625,37
São Lourenço da Serra	357,28	358,00	353,96	371,15	379,34	357,37	377,83	397,68	351,47
São Paulo	253.424,63	253.936,17	251.077,25	259.532,43	265.258,53	249.899,02	262.294,91	276.075,20	243.992,57
São Roque	1.781,75	1.785,33	1.765,24	1.895,14	1.936,97	1.824,82	1.952,63	2.055,21	1.816,37
Suzano	6.838,72	6.852,52	6.775,36	7.111,58	7.268,48	6.847,63	7.243,50	7.624,04	6.738,05
Taboão da Serra	6.083,79	6.096,09	6.027,45	6.323,20	6.462,70	6.088,49	6.438,74	6.777,02	5.989,45
Vargem Grande Paulista	1.121,13	1.123,38	1.110,74	1.164,79	1.190,50	1.121,55	1.185,85	1.248,13	1.103,09
<b>TOTAL</b>	<b>462.398,73</b>	<b>463.332,04</b>	<b>458.115,62</b>	<b>476.776,02</b>	<b>487.295,19</b>	<b>459.078,87</b>	<b>483.532,71</b>	<b>508.936,19</b>	<b>449.792,79</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 8.1.1. Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Consórcios Existentes

As tabelas a seguir (116 e 117) apresentam a quantidade de RCC Classe A gerada por pequenos geradores em cada Consórcio Existente na região de estudo. O CIMBAJU é o único consórcio que não conta com uma usina móvel para reciclagem de RCC e, como pode ser observado na Tabela 116, uma usina com capacidade de 100 t/hora como as existentes nos demais consórcios é suficiente para atender a todos os municípios consorciados, uma vez que a geração mensal total é inferior a 12.000 toneladas.

Para o consórcio CIOESTE, Tabela 117, que já possui uma usina móvel com capacidade de tratamento de 100 t/hora, será necessário complementar as formas de destinação de RCC, uma vez que a geração varia entre cerca de 17 a 18 mil toneladas por mês, valor excedente à capacidade de tratamento de 12.000 t/mês da usina. Esta complementação pode ser feita com a aquisição de uma outra usina de reciclagem, licenciamento de aterro de inertes ou mesmo com a contratação de prestador de serviço privado para reciclagem ou disposição final. O mesmo acontece com o consórcio CONISUD, conforme apresentado na Tabela 118.

Já no caso do consórcio Grande ABC, Tabela 119, os municípios de Santo André e São Bernardo do Campo apresentam, cada um, geração superior à capacidade da usina móvel pertencente ao consórcio, o que indica a possibilidade de os municípios adquirirem suas próprias usinas, uma vez que a demanda será contínua. Neste caso, admitindo que ambos os municípios terão solução própria, ainda assim a geração de RCC no restante no Grande ABC excede as 12 mil t/mês, necessitando de complementação para a destinação de todo RCC gerado.

Outra possibilidade refere-se à construção de uma usina fixa com maior capacidade operacional para atendimento do consórcio e manter a usina móvel como complemento para atendimento aos municípios mais distantes da usina fixa.

Quanto ao CONDEMAT, Tabela 120, o município de Guarulhos não foi considerado integrando o arranjo uma vez que sua geração é bastante elevada e o município já conta com uma usina fixa de reciclagem de RCC em operação. Para os demais municípios seria necessária a aquisição de mais uma usina móvel para atendimento de toda a demanda.

A avaliação quanto ao uso das usinas móveis se deu por representarem soluções viáveis e pelo fato de estas estarem disponíveis para uso em quatro dos cinco consórcios. Existe a possibilidade de manter as usinas móveis, com roteiro e período pré-estabelecidos em cada município a partir da demanda identificada ou ainda a possibilidade de fixar a usina em um município com os demais realizando o transporte do RCC gerado até o local.

A proposta de fixar a usina é uma alternativa para obter mais rapidez no licenciamento ambiental e também para definir local, equipe e infraestrutura única no território do consórcio para instalação e operação do equipamento. Neste caso, cada município, por sua vez, deve licenciar uma área temporária para armazenamento de RCC até envio ao local onde a usina de referência será fixada. Sendo a administração da usina realizada por meio do consórcio, os custos de transporte e operação, bem como os agregados produzidos, devem ser divididos de forma proporcional entre todos os municípios participantes do arranjo.

Tabela 116: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CIMBAJU.

Consórcio	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CIMBAJU	Caieiras	95.030	2.113,28	2.195,49	2.235,13	2.117,54	2.243,93	2.352,56	2.093,71	2.114,00	2.079,17
	Cajamar	92.689	2.061,72	2.143,53	2.183,06	2.065,87	2.190,81	2.297,74	2.042,61	2.063,97	2.030,73
	Francisco Morato	165.139	3.672,22	3.814,90	3.883,65	3.679,65	3.899,07	4.087,68	3.638,22	3.673,29	3.612,66
	Franco da Rocha	144.849	3.221,18	3.346,78	3.407,32	3.227,69	3.420,62	3.586,35	3.191,35	3.222,56	3.169,57
<b>TOTAL</b>		<b>497.707</b>	<b>11.068</b>	<b>11.501</b>	<b>11.709</b>	<b>11.091</b>	<b>11.754</b>	<b>12.324</b>	<b>10.966</b>	<b>11.074</b>	<b>10.892</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 117: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CIOESTE.

Consórcio	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CIOESTE	Carapicuíba	387.121	8.604,96	8.937,76	9.098,06	8.622,32	9.134,95	9.576,05	8.525,24	8.606,01	8.463,24
	Jandira	118.045	2.625,04	2.727,16	2.776,39	2.630,34	2.787,33	2.922,26	2.600,73	2.625,93	2.582,67
	Pirapora do Bom Jesus	18.370	408,50	424,35	432,00	409,33	433,72	454,69	404,72	408,60	401,86
	Santana de Parnaíba	154.105	3.428,40	3.566,28	3.632,97	3.435,32	3.644,94	3.823,83	3.396,64	3.433,90	3.379,48
	São Roque	79.484	1.781,75	1.895,14	1.952,63	1.785,33	1.936,97	2.055,21	1.765,24	1.824,82	1.816,37
<b>TOTAL</b>		<b>757.125</b>	<b>16.849</b>	<b>17.551</b>	<b>17.892</b>	<b>16.883</b>	<b>17.938</b>	<b>18.832</b>	<b>16.693</b>	<b>16.899</b>	<b>16.644</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 118: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CONISUD.

Consórcio	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONISUD	Cotia	273.640	6.106,60	6.357,38	6.478,97	6.118,93	6.497,64	6.819,37	6.050,03	6.121,40	6.026,88
	Embu-Guaçu	66.970	1.489,20	1.546,97	1.574,80	1.492,20	1.581,11	1.657,55	1.475,40	1.489,55	1.464,92
	Juquitiba	27.404	609,36	632,90	644,26	610,58	646,86	678,09	603,70	609,40	599,29
	São Lourenço da Serra	15.984	357,28	371,15	377,83	358,00	379,34	397,68	353,96	357,37	351,47
	Taboão da Serra	273.542	6.083,79	6.323,20	6.438,74	6.096,09	6.462,70	6.777,02	6.027,45	6.088,49	5.989,45
	Vargem Grande Paulista	50.333	1.121,13	1.164,79	1.185,85	1.123,38	1.190,50	1.248,13	1.110,74	1.121,55	1.103,09
<b>TOTAL</b>		<b>707.873</b>	<b>15.767</b>	<b>16.396</b>	<b>16.700</b>	<b>15.799</b>	<b>16.758</b>	<b>17.578</b>	<b>15.621</b>	<b>15.788</b>	<b>15.535</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 119: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio GRANDE ABC.

Consórcio	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
GRANDE ABC	Mauá	418.261	9.298	9.652	9.821	9.317	9.864	10.337	9.212	9.293	9.136
	Ribeirão Pires	115.559	2.570	2.669	2.717	2.575	2.728	2.859	2.546	2.570	2.527
	Rio Grande da Serra	44.170	982	1.020	1.038	984	1.043	1.093	973	982	966
	Santo André	748.919	16.661	17.329	17.652	16.694	17.711	18.579	16.506	16.686	16.420
	São Bernardo do Campo	810.729	18.029	18.731	19.069	18.065	19.144	20.071	17.862	18.035	17.738
	São Caetano do Sul	165.655	3.684	3.828	3.897	3.691	3.912	4.102	3.650	3.686	3.625
<b>TOTAL</b>		<b>2.303.293</b>	<b>51.223</b>	<b>53.228</b>	<b>54.195</b>	<b>51.327</b>	<b>54.402</b>	<b>57.042</b>	<b>50.749</b>	<b>51.252</b>	<b>50.413</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 120: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Consórcio CONDEMAT.

Consórcio	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONDEMAT	Arujá	86.678	1.927,60	2.002,86	2.039,16	1.931,49	2.047,06	2.146,30	1.909,76	1.928,52	1.896,87
	Biritiba Mirim	29.676	660,05	685,62	697,94	661,38	700,74	734,61	653,93	660,16	649,24
	Ferraz de Vasconcelos	179.205	3.984,84	4.139,58	4.214,14	3.992,88	4.230,91	4.435,55	3.947,93	3.985,91	3.920,08
	Guararema	31.236	694,62	721,64	734,68	696,02	737,56	773,27	688,18	694,86	683,40
	Mairiporã	93.617	2.087,18	2.168,73	2.208,07	2.091,40	2.216,59	2.324,08	2.067,85	2.088,23	2.054,01
	Mogi das Cruzes	449.955	10.045,13	10.450,42	10.646,59	10.065,40	10.681,00	11.205,93	9.952,07	10.062,52	9.903,68
	Nazaré Paulista	18.217	407,10	429,11	440,08	407,93	438,57	463,20	403,34	413,17	409,37
	Paraibuna	17.667	394,32	414,11	423,91	395,11	423,24	446,17	390,67	398,73	394,32
	Poá	103.765	2.307,16	2.395,91	2.438,63	2.311,81	2.448,77	2.566,77	2.285,77	2.306,98	2.268,48
	Salesópolis	15.202	338,04	351,12	357,43	338,72	358,87	376,19	334,89	338,08	332,49
	Santa Isabel	53.174	1.182,40	1.228,24	1.250,32	1.184,80	1.255,34	1.316,01	1.171,45	1.182,66	1.163,07
TOTAL		<b>1.078.392</b>	<b>24.028</b>	<b>24.987</b>	<b>25.451</b>	<b>24.077</b>	<b>25.539</b>	<b>26.788</b>	<b>23.806</b>	<b>24.060</b>	<b>23.675</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 8.1.2. Rotas Tecnológicas para os Micro Arranjos

No caso dos Micro Arranjos, conforme apresentado anteriormente, foi considerado que os municípios com mais de 500 mil habitantes estabelecerão soluções individuais para a destinação dos resíduos, incluindo os RCC. Neste caso, os consórcios CIMBAJU e CIOESTE não apresentam alterações na sua configuração, mantendo o cenário estabelecido no Arranjo por Consórcios Existentes. Já os consórcios CONISUD e CONDEMAT foram subdivididos e o consórcio GRANDE ABC sofreu alteração pela retirada dos municípios de Santo André e São Bernardo do Campo. As tabelas a seguir (Tabela 121Tabela 122Tabela 123Tabela 124Tabela 125)apresentam os resultados para os novos agrupamentos formados neste arranjo.

Tabela 121: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONISUD 1.

Micro Arranjo	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONISUD 1	Cotia	273.640	6.106,60	6.357,38	6.478,97	6.118,93	6.497,64	6.819,37	6.050,03	6.121,40	6.026,88
	Taboão da Serra	273.542	6.083,79	6.323,20	6.438,74	6.096,09	6.462,70	6.777,02	6.027,45	6.088,49	5.989,45
	Vargem Grande Paulista	50.333	1.121,13	1.164,79	1.185,85	1.123,38	1.190,50	1.248,13	1.110,74	1.121,55	1.103,09
<b>TOTAL</b>		<b>597.515</b>	<b>13.312</b>	<b>13.845</b>	<b>14.104</b>	<b>13.338</b>	<b>14.151</b>	<b>14.845</b>	<b>13.188</b>	<b>13.331</b>	<b>13.119</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 122: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONISUD 2.

Micro Arranjo	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONISUD 2	Embu-Guaçu	66.970	1.489,20	1.546,97	1.574,80	1.492,20	1.581,11	1.657,55	1.475,40	1.489,55	1.464,92
	Itapecerica da Serra	158.522	3.524,89	3.661,24	3.726,91	3.532,01	3.742,00	3.922,70	3.492,24	3.525,33	3.466,84
	Juquitiba	27.404	609,36	632,90	644,26	610,58	646,86	678,09	603,70	609,40	599,29
	São Lourenço da Serra	15.984	357,28	371,15	377,83	358,00	379,34	397,68	353,96	357,37	351,47
<b>TOTAL</b>		<b>268.880</b>	<b>5.981</b>	<b>6.212</b>	<b>6.324</b>	<b>5.993</b>	<b>6.349</b>	<b>6.656</b>	<b>5.925</b>	<b>5.982</b>	<b>5.883</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 123: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo PEQUENO ABC.

Micro Arranjo	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
PEQUENO ABC	Mauá	418.261	9.298	9.652	9.821	9.317	9.864	10.337	9.212	9.293	9.136
	Ribeirão Pires	115.559	2.570	2.669	2.717	2.575	2.728	2.859	2.546	2.570	2.527
	Rio Grande da Serra	44.170	982	1.020	1.038	984	1.043	1.093	973	982	966
	São Caetano do Sul	165.655	3.684	3.828	3.897	3.691	3.912	4.102	3.650	3.686	3.625
<b>TOTAL</b>		<b>743.645</b>	<b>16.534</b>	<b>17.168</b>	<b>17.474</b>	<b>16.567</b>	<b>17.547</b>	<b>18.392</b>	<b>16.381</b>	<b>16.531</b>	<b>16.254</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 124: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONDEMAT 1.

Micro Arranjo	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONDEMAT 1	Arujá	86.678	1.927,60	2.002,86	2.039,16	1.931,49	2.047,06	2.146,30	1.909,76	1.928,52	1.896,87
	Mairiporã	93.617	2.087,18	2.168,73	2.208,07	2.091,40	2.216,59	2.324,08	2.067,85	2.088,23	2.054,01
	Nazaré Paulista	18.217	407,10	429,11	440,08	407,93	438,57	463,20	403,34	413,17	409,37
	Santa Isabel	53.174	1.182,40	1.228,24	1.250,32	1.184,80	1.255,34	1.316,01	1.171,45	1.182,66	1.163,07
<b>TOTAL</b>		<b>251.686</b>	<b>5.604</b>	<b>5.829</b>	<b>5.938</b>	<b>5.616</b>	<b>5.958</b>	<b>6.250</b>	<b>5.552</b>	<b>5.613</b>	<b>5.523</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 125: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no micro arranjo CONDEMAT 2.

Micro Arranjo	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONDEMAT 2	Biritiba Mirim	29.676	660,05	685,62	697,94	661,38	700,74	734,61	653,93	660,16	649,24
	Ferraz de Vasconcelos	179.205	3.984,84	4.139,58	4.214,14	3.992,88	4.230,91	4.435,55	3.947,93	3.985,91	3.920,08
	Guararema	31.236	694,62	721,64	734,68	696,02	737,56	773,27	688,18	694,86	683,40
	Mogi das Cruzes	449.955	10.045,13	10.450,42	10.646,59	10.065,40	10.681,00	11.205,93	9.952,07	10.062,52	9.903,68
	Paraibuna	17.667	394,32	414,11	423,91	395,11	423,24	446,17	390,67	398,73	394,32
	Poá	103.765	2.307,16	2.395,91	2.438,63	2.311,81	2.448,77	2.566,77	2.285,77	2.306,98	2.268,48
	Salesópolis	15.202	338,04	351,12	357,43	338,72	358,87	376,19	334,89	338,08	332,49
<b>TOTAL</b>		<b>826.706</b>	<b>18.424</b>	<b>19.158</b>	<b>19.513</b>	<b>18.461</b>	<b>19.581</b>	<b>20.538</b>	<b>18.253</b>	<b>18.447</b>	<b>18.152</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 8.1.3. Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Regiões Geográficas

Conforme já descrito anteriormente, o arranjo por Regiões Geográficas agrupa um maior número de municípios e, conseqüentemente, maior contingente populacional e de geração de resíduos. Neste caso, para todos os agrupamentos seria necessário complementar as formas de destinação de RCC, uma vez que as usinas móveis já disponíveis não possuem capacidade para atendimento de todos os arranjos.

Como pode ser observado na Tabela 126, na região Norte já no ano de 2025 a geração ultrapassa as 17 mil t/mês; na região Oeste (Tabela 127) a geração gira em torno de 29 mil t/mês; na região Sudeste (Tabela 128) a geração é de mais de 51 mil t/mês e na região Leste (Tabela 129) são gerados mais de 21 mil t/mês de RCC por pequenos geradores.

Tabela 126: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região NORTE.

Região	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
NORTE	Caieiras	95.030	2.113,28	2.195,49	2.235,13	2.117,54	2.243,93	2.352,56	2.093,71	2.114,00	2.079,17
	Cajamar	92.689	2.061,72	2.143,53	2.183,06	2.065,87	2.190,81	2.297,74	2.042,61	2.063,97	2.030,73
	Francisco Morato	165.139	3.672,22	3.814,90	3.883,65	3.679,65	3.899,07	4.087,68	3.638,22	3.673,29	3.612,66
	Franco da Rocha	144.849	3.221,18	3.346,78	3.407,32	3.227,69	3.420,62	3.586,35	3.191,35	3.222,56	3.169,57
	Mairiporã	93.617	2.087,18	2.168,73	2.208,07	2.091,40	2.216,59	2.324,08	2.067,85	2.088,23	2.054,01
	Nazaré Paulista	18.217	407,10	429,11	440,08	407,93	438,57	463,20	403,34	413,17	409,37
	Pirapora do Bom Jesus	18.370	408,50	424,35	432,00	409,33	433,72	454,69	404,72	408,60	401,86
	Santana de Parnaíba	154.105	3.428,40	3.566,28	3.632,97	3.435,32	3.644,94	3.823,83	3.396,64	3.433,90	3.379,48
<b>TOTAL</b>		<b>782.016</b>	<b>17.400</b>	<b>18.089</b>	<b>18.422</b>	<b>17.435</b>	<b>18.488</b>	<b>19.390</b>	<b>17.238</b>	<b>17.418</b>	<b>17.137</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 127: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região OESTE.

Região	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
OESTE	Carapicuíba	387.121	8.604,96	8.937,76	9.098,06	8.622,32	9.134,95	9.576,05	8.525,24	8.606,01	8.463,24
	Cotia	273.640	6.106,60	6.357,38	6.478,97	6.118,93	6.497,64	6.819,37	6.050,03	6.121,40	6.026,88
	Embu Guaçu	66.970	1.489,20	1.546,97	1.574,80	1.492,20	1.581,11	1.657,55	1.475,40	1.489,55	1.464,92
	Jandira	118.045	2.625,04	2.727,16	2.776,39	2.630,34	2.787,33	2.922,26	2.600,73	2.625,93	2.582,67
	Juquitiba	27.404	609,36	632,90	644,26	610,58	646,86	678,09	603,70	609,40	599,29

Região	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
	São Lourenço da Serra	15.984	357,28	371,15	377,83	358,00	379,34	397,68	353,96	357,37	351,47
	São Roque	79.484	1.781,75	1.895,14	1.952,63	1.785,33	1.936,97	2.055,21	1.765,24	1.824,82	1.816,37
	Taboão da Serra	273.542	6.083,79	6.323,20	6.438,74	6.096,09	6.462,70	6.777,02	6.027,45	6.088,49	5.989,45
	Vargem Grande Paulista	50.333	1.121,13	1.164,79	1.185,85	1.123,38	1.190,50	1.248,13	1.110,74	1.121,55	1.103,09
<b>TOTAL</b>		<b>1.292.523</b>	<b>28.779</b>	<b>29.956</b>	<b>30.528</b>	<b>28.837</b>	<b>30.617</b>	<b>32.131</b>	<b>28.512</b>	<b>28.845</b>	<b>28.397</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 128: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região SUDESTE.

Região	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
SUDETE	Mauá	418.261	9.298	9.652	9.821	9.317	9.864	10.337	9.212	9.293	9.136
	Ribeirão Pires	115.559	2.570	2.669	2.717	2.575	2.728	2.859	2.546	2.570	2.527
	Rio Grande da Serra	44.170	982	1.020	1.038	984	1.043	1.093	973	982	966
	Santo André	748.919	16.661	17.329	17.652	16.694	17.711	18.579	16.506	16.686	16.420
	São Bernardo do Campo	810.729	18.029	18.731	19.069	18.065	19.144	20.071	17.862	18.035	17.738
	São Caetano do Sul	165.655	3.684	3.828	3.897	3.691	3.912	4.102	3.650	3.686	3.625
<b>TOTAL</b>		<b>2.303.293</b>	<b>51.223</b>	<b>53.228</b>	<b>54.195</b>	<b>51.327</b>	<b>54.402</b>	<b>57.042</b>	<b>50.749</b>	<b>51.252</b>	<b>50.413</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 129: Estimativa de geração de RCC Classe A de pequenos geradores no Região LESTE.

Região	Município	População	Tendencial			ONU+			ONU-		
			2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
LESTE	Arujá	86.678	1.927,60	2.002,86	2.039,16	1.931,49	2.047,06	2.146,30	1.909,76	1.928,52	1.896,87
	Biritiba Mirim	29.676	660,05	685,62	697,94	661,38	700,74	734,61	653,93	660,16	649,24
	Ferraz de Vasconcelos	179.205	3.984,84	4.139,58	4.214,14	3.992,88	4.230,91	4.435,55	3.947,93	3.985,91	3.920,08
	Guararema	31.236	694,62	721,64	734,68	696,02	737,56	773,27	688,18	694,86	683,40
	Mogi das Cruzes	449.955	10.045,13	10.450,42	10.646,59	10.065,40	10.681,00	11.205,93	9.952,07	10.062,52	9.903,68
	Paraibuna	17.667	394,32	414,11	423,91	395,11	423,24	446,17	390,67	398,73	394,32
	Poá	103.765	2.307,16	2.395,91	2.438,63	2.311,81	2.448,77	2.566,77	2.285,77	2.306,98	2.268,48
	Salesópolis	15.202	338,04	351,12	357,43	338,72	358,87	376,19	334,89	338,08	332,49
	Santa Isabel	53.174	1.182,40	1.228,24	1.250,32	1.184,80	1.255,34	1.316,01	1.171,45	1.182,66	1.163,07
<b>TOTAL</b>		<b>966.558</b>	<b>21.534</b>	<b>22.389</b>	<b>22.803</b>	<b>21.578</b>	<b>22.883</b>	<b>24.001</b>	<b>21.335</b>	<b>21.558</b>	<b>21.212</b>

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 9. PROPOSIÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS PARA RSS

A presente análise sobre a gestão compartilhada dos RSS tem como finalidade discutir diretrizes estratégicas capazes de proporcionar benefícios significativos aos municípios envolvidos. A abordagem transcende a mera redução de custos operacionais, englobando a promoção de melhorias significativas seja na saúde pública, como na proposição de práticas de destinação ambientalmente adequada dos resíduos.

O enfoque desta análise é de natureza macro, optando-se por não adentrar nas especificidades a nível municipal, como, por exemplo, o caminho a ser percorrido pelos veículos de coleta. Em vez disso, considerou-se uma distância média entre as localidades envolvidas, sem levar em conta a rota específica entre os pontos de geração dos resíduos e as instalações de tratamento. O propósito central desta análise é estimular a reflexão sobre as potencialidades de uma solução de gestão dos RSS que seja compartilhada entre os municípios. Embora a proposta inicial sugira o direcionamento dos resíduos para um único centro de tratamento, é preciso reconhecer que, ao se aprofundar nas avaliações de viabilidade, podem emergir estratégias diferenciadas. Isso inclui a possibilidade de se optar por múltiplas instalações de tratamento ou adoção de diversas tecnologias.

Os modelos de arranjos intermunicipais analisados para a gestão de RSS, tomam como base as premissas apontadas neste relatório para os RSU. A principal distinção neste contexto é a identificação do município que servirá de sede para a unidade de tratamento de RSS. Essa escolha foi realizada levando em consideração a menor distância entre as localidades e as infraestruturas de tratamento já existentes, sem especificar a entidade em si, mas considerando a capacidade operacional instalada, conforme verificado nas licenças ambientais de operações vigentes.

Independentemente do arranjo a ser analisado, poderá ser observado que as sedes dos tratamentos de RSS, consistiram nos seguintes municípios: Mauá, Santana

de Parnaíba e Suzano. Isso, porque, pesquisando os diversos contratos (vide diagnóstico) entre as prefeituras e empresas prestadoras de serviços de tratamento de RSS, a maior parte dos municípios utiliza empresas sediadas nestas localidades, localizadas na região de estudo (alguns municípios contratam empresas que estão fora da área de estudo, mas nesta primeira concepção, estes foram desconsiderados).

Com o estabelecimento dessa premissa, foi realizada uma pesquisa no site eletrônico da CETESB, buscando-se identificar as licenças ambientais de operação das respectivas empresas, e nesses documentos, a capacidade licenciada, conforme apresentado na Tabela 130.

*Tabela 130: Levantamento da capacidade de tratamento de RSS instalada.*

Município	Tipo de Tratamento	Capacidade Tratamento (LO)	Validade da Licença	Situação da Licença
Mauá	Autoclave	24.192 t/ano	16/03/2026	Válida
Mauá	Autoclave	600 kg/ciclo	21/12/2024	Válida
Mauá	Incinerador	4.380 t/ano	20/01/2025	Válida
Santana de Parnaíba	Autoclave	8.640 t/ano	26/12/2027	Válida
Suzano	Incinerador	2.160 t/ano	25/06/2021	Vencida

Fonte: Adaptado de CETESB (2024).

Para o cálculo da capacidade de tratamento, utilizou-se como unidade, t/ano, para facilitar a comparação com a demanda a ser tratada. E no município de Mauá, um dos empreendimentos, em sua licença, a capacidade está descrita em kg/ciclo, sem indicar quantos ciclos o sistema opera, portanto, este não foi computado na capacidade disponível deste município.

Para o município de Suzano, não foi localizada, no site eletrônico da CETESB, uma licença válida, para o empreendimento pesquisado, porém se manteve aqui, com o objetivo de ter um elemento de comparação, para esse primeiro estudo.

A demanda relativa à projeção da geração de RSS considerada nos estudos a seguir, leva em conta a geração total, ou seja, o montante proveniente de públicos e

privados, porém a destinação consorciada refere-se aos resíduos de responsabilidade do poder público. O que significa que a demanda real é menor do que a apresentada e os geradores privados têm liberdade para contratar os serviços independentemente da proposição dos arranjos.

### 9.1.1. Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Consórcios Existentes

As tabelas a seguir apresentam a projeção de geração de RSS para cada um dos consórcios existentes, a partir da projeção de geração de cada município integrante do consórcio, e também as opções de município sede, onde existem plantas de tratamento de RSS.

A Tabela 136 apresenta um comparativo da capacidade instalada nas plantas de tratamento com a demanda para o tratamento dos RSS considerando o cenário do arranjo que parte dos consórcios existentes na região.

A princípio, pode-se constatar que no CONDEMAT com destinação de RSS para tratamento em Suzano, a unidade operacional existente, não teria capacidade suficiente para atender a demanda já no Ano 1, entretanto, há que se destacar que neste estudo se obteve o levantamento de apenas uma empresa, sendo necessário analisar e identificar outros fornecedores, que porventura venham a atender a demanda desses municípios, como por exemplo, as unidades de tratamento existentes no município de Mauá que somam capacidade instalada bastante superior à demanda daquela região. Os demais municípios sede, possuem capacidade instalada suficiente para o atendimento aos geradores conforme proposto no arranjo.

O fluxo de RSS, considerando o arranjo baseado nos Consórcios Existentes na região de estudo está indicado na Figura 62.

Tabela 131: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CIMBAJU.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CIMBAJU	Caieiras	Santana de Parnaíba	38	146,57	152,27	155,02	146,86	155,63	163,16	145,21	146,62	144,20
	Cajamar		21	93,25	96,95	98,73	93,43	99,08	103,92	92,38	93,35	91,84
	Francisco Morato		37	126,63	131,55	133,92	126,88	134,45	140,95	125,45	126,66	124,57
	Franco da Rocha		42	276,44	287,22	292,41	277,00	293,55	307,78	273,88	276,56	272,01
<b>Total</b>				642,88	667,98	680,08	644,17	682,71	715,81	636,92	643,18	632,63

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 132: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CIOESTE.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CIOESTE	Carapicuíba	Santana de Parnaíba	18	232,77	241,77	246,10	233,24	247,10	259,03	230,61	232,79	228,93
	Jandira		17	12,39	12,88	13,11	12,42	13,16	13,80	12,28	12,40	12,19
	Pirapora do Bom Jesus		10	10,87	11,29	11,49	10,89	11,54	12,10	10,77	10,87	10,69
	Santana de Parnaíba		0	110,51	114,96	117,11	110,73	117,49	123,26	109,49	110,69	108,93
	São Roque		36	209,13	222,43	229,18	209,55	227,34	241,22	207,19	214,18	213,19
<b>Total</b>				575,66	603,32	616,99	576,82	616,64	649,41	570,33	580,93	573,94

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 133: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CONISUD.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONISUD	Cotia	Santana de Parnaíba	31	565,65	588,88	600,14	566,79	601,87	631,68	560,41	567,02	558,27
	Embu-Guaçu		62	8,08	8,40	8,55	8,10	8,58	9,00	8,01	8,08	7,95
	Juquitiba		82	84,05	87,30	88,87	84,22	89,23	93,54	83,27	84,06	82,67
	São Lourenço da Serra		64	32,33	33,58	34,19	32,40	34,33	35,99	32,03	32,34	31,80
	Taboão da Serra		40	446,23	463,79	472,27	447,13	474,02	497,08	442,10	446,58	439,31
	Vargem Grande Paulista		45	37,72	39,19	39,90	37,80	40,05	41,99	37,37	37,73	37,11
<b>Total</b>				1.174,07	1.221,15	1.243,91	1.176,44	1.248,09	1.309,26	1.163,19	1.175,82	1.157,11

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 134: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio CONDEMAT

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância Suzano (km)	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância Mauá (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
						Tendencial			ONU+			ONU-		
						2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONDEMAT	Arujá	Suzano	32	Mauá	56	117,47	122,06	124,27	117,71	124,76	130,80	116,39	117,53	115,60
	Biritiba Mirim		40		88	7,54	7,84	7,98	7,56	8,01	8,40	7,47	7,54	7,42
	Ferraz de Vasconcelos		9		23	159,50	165,69	168,67	159,82	169,34	177,54	158,02	159,54	156,90
	Guararema		56		80	16,70	17,35	17,67	16,74	17,74	18,60	16,55	16,71	16,43
	Guarulhos		37		36	1.354,14	1.406,86	1.432,28	1.356,87	1.437,90	1.507,53	1.341,60	1.354,64	1.332,34
	Mairiporã		65		55	47,42	49,27	50,17	47,52	50,36	52,80	46,98	47,45	46,67
	Mogi das Cruzes		14		50	805,96	838,48	854,22	807,59	856,98	899,10	798,49	807,36	794,61
	Nazaré Paulista		102		91	10,83	11,42	11,71	10,85	11,67	12,32	10,73	10,99	10,89
	Paraibuna		98		130	5,95	6,25	6,40	5,96	6,39	6,73	5,89	6,02	5,95
	Poá		6		38	21,55	22,38	22,78	21,59	22,87	23,98	21,35	21,55	21,19
	Salesópolis		62		113	5,93	6,16	6,27	5,94	6,29	6,60	5,87	5,93	5,83
	Santa Isabel		41		74	58,19	60,45	61,54	58,31	61,78	64,77	57,65	58,21	57,24
<b>Total</b>						2.611,19	2.714,20	2.763,94	2.616,46	2.774,09	2.909,15	2.587,00	2.613,46	2.571,08

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 135: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Consórcio ABC

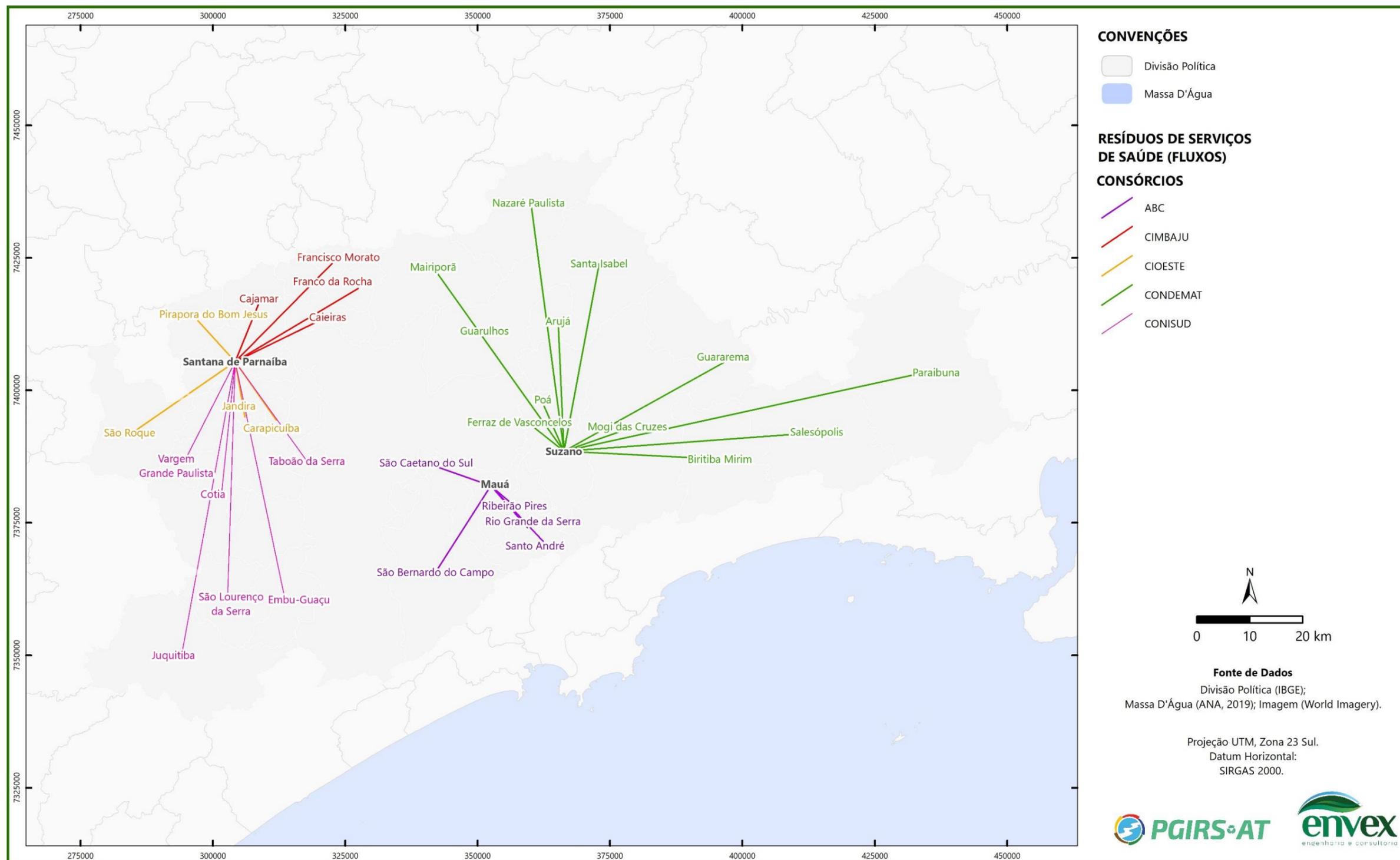
Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
GRANDE ABC	Mauá	Mauá	0	431,49	447,88	455,76	432,36	457,76	479,70	427,49	431,25	423,96
	Ribeirão Pires		11	107,76	111,92	113,93	107,98	114,39	119,91	106,76	107,77	105,98
	Rio Grande da Serra		15	33,10	34,38	35,00	33,17	35,14	36,83	32,79	33,10	32,55
	Santo André		10	796,38	828,31	843,76	797,98	846,59	888,09	789,00	797,57	784,89
	São Bernardo do Campo		27	1.577,22	1.638,62	1.668,21	1.580,41	1.674,77	1.755,86	1.562,61	1.577,80	1.551,81
	São Caetano do Sul		17	848,19	881,33	897,32	849,90	900,78	944,46	840,34	848,62	834,70
Total				3.794,14	3.942,45	4.013,98	3.801,80	4.029,43	4.224,86	3.759,00	3.796,11	3.733,89

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 136: Comparação Demanda x Capacidade Instalada

Município Sede da Unidade de Tratamento	Capacidade Instalada (t/ano)	Demanda de RSS (Grupo A, B e E) para serem tratados (t/ano)								
		Tendencial			ONU+			ONU-		
		2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
Mauá	28.572	3.794,14	3.942,45	4.013,98	3.801,80	4.029,43	4.224,86	3.759,00	3.796,11	3.733,89
Santana de Parnaíba	8.640	2.392,61	2.492,45	2.540,99	2.397,44	2.547,44	2.674,48	2.370,45	2.399,93	2.363,68
Suzano	2.160	2.611,19	2.714,20	2.763,94	2.616,46	2.774,09	2.909,15	2.587,00	2.613,46	2.571,08

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).



**Figura 62: Fluxo de RSS – Arranjo por Consórcios.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 9.1.2. Rotas Tecnológicas para os Micro Arranjos

Esse arranjo, vide fluxo ilustrado na Figura 63 ilustrada na sequência, considera que os municípios com população acima de 500 mil habitantes terão solução própria para destinação de RSS, não utilizando a destinação proposta pelos agrupamentos municipais. Neste caso, a demanda por tratamento nas plantas para atendimento coletivo seria menor em alguns casos.

As tabelas a seguir (Tabela 137, Tabela 138, Tabela 139, Tabela 140, Tabela 141, Tabela 142, Tabela 143, Tabela 144) apresentam a projeção da demanda de tratamento para RSS considerando os Micro Arranjos propostos. A Tabela 144 apresenta a comparação entre a capacidade instalada em cada planta e a demanda proveniente dos Micro Arranjos.

Tabela 137: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CIMBAJU.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CIMBAJU	Caieiras	Santana de Parnaíba	38	146,57	152,27	155,02	146,86	155,63	163,16	145,21	146,62	144,20
	Cajamar		21	93,25	96,95	98,73	93,43	99,08	103,92	92,38	93,35	91,84
	Francisco Morato		37	126,63	131,55	133,92	126,88	134,45	140,95	125,45	126,66	124,57
	Franco da Rocha		42	276,44	287,22	292,41	277,00	293,55	307,78	273,88	276,56	272,01
<b>Total</b>				642,88	667,98	680,08	644,17	682,71	715,81	636,92	643,18	632,63

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 138: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CIOESTE.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CIOESTE	Carapicuíba	Santana de Parnaíba	18	232,77	241,77	246,10	233,24	247,10	259,03	230,61	232,79	228,93
	Jandira		17	12,39	12,88	13,11	12,42	13,16	13,80	12,28	12,40	12,19
	Pirapora do Bom Jesus		10	10,87	11,29	11,49	10,89	11,54	12,10	10,77	10,87	10,69
	Santana de Parnaíba		0	110,51	114,96	117,11	110,73	117,49	123,26	109,49	110,69	108,93
	São Roque		36	209,13	222,43	229,18	209,55	227,34	241,22	207,19	214,18	213,19

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
<b>Total</b>				575,66	603,32	616,99	576,82	616,64	649,41	570,33	580,93	573,94

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 139: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONISUD 1.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONISUD 1	Cotia	Santana de Parnaíba	31	565,65	588,88	600,14	566,79	601,87	631,68	560,41	567,02	558,27
	Taboão da Serra		40	446,23	463,79	472,27	447,13	474,02	497,08	442,10	446,58	439,31
	Vargem Grande Paulista		45	37,72	39,19	39,90	37,80	40,05	41,99	37,37	37,73	37,11
<b>Total</b>				1.049,60	1.091,86	1.112,31	1.051,72	1.115,95	1.170,75	1.039,88	1.051,33	1.034,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 140: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONISUD 2.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONISUD 2	Embu-Guaçu	Santana de Parnaíba	62	8,08	8,40	8,55	8,10	8,58	9,00	8,01	8,08	7,95
	Itapecerica da Serra		45	382,55	397,35	404,48	383,33	406,12	425,73	379,01	382,60	376,25
	Juquitiba		82	84,05	87,30	88,87	84,22	89,23	93,54	83,27	84,06	82,67
	São Lourenço da Serra		64	32,33	33,58	34,19	32,40	34,33	35,99	32,03	32,34	31,80
<b>Total</b>				507,02	526,64	536,09	508,04	538,25	564,25	502,32	507,09	498,68

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 141: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONDEMAT 1.

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONDEMAT	Arujá	Suzano	32	117,47	122,06	124,27	117,71	124,76	130,80	116,39	117,53	115,60
	Mairiporã		65	47,42	49,27	50,17	47,52	50,36	52,80	46,98	47,45	46,67
	Nazaré Paulista		102	10,83	11,42	11,71	10,85	11,67	12,32	10,73	10,99	10,89
	Santa Isabel		41	58,19	60,45	61,54	58,31	61,78	64,77	57,65	58,21	57,24
<b>Total</b>				233,92	243,20	247,68	234,39	248,57	260,70	231,75	234,17	230,40

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 142: Estruturas dos arranjos intermunicipais – CONDEMAT 2

Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
CONDEMAT 2	Biritiba Mirim	Suzano	40	7,54	7,84	7,98	7,56	8,01	8,40	7,47	7,54	7,42
	Ferraz de Vasconcelos		9	159,50	165,69	168,67	159,82	169,34	177,54	158,02	159,54	156,90
	Guararema		56	16,70	17,35	17,67	16,74	17,74	18,60	16,55	16,71	16,43
	Mogi das Cruzes		14	805,96	838,48	854,22	807,59	856,98	899,10	798,49	807,36	794,61
	Paraibuna		98	5,95	6,25	6,40	5,96	6,39	6,73	5,89	6,02	5,95
	Poá		6	21,55	22,38	22,78	21,59	22,87	23,98	21,35	21,55	21,19
	Salesópolis		62	5,93	6,16	6,27	5,94	6,29	6,60	5,87	5,93	5,83
<b>Total</b>				1.023,13	1.064,14	1.083,98	1.025,19	1.087,62	1.140,93	1.013,65	1.024,64	1.008,34

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 143: Estruturas dos arranjos intermunicipais – Pequeno ABC.

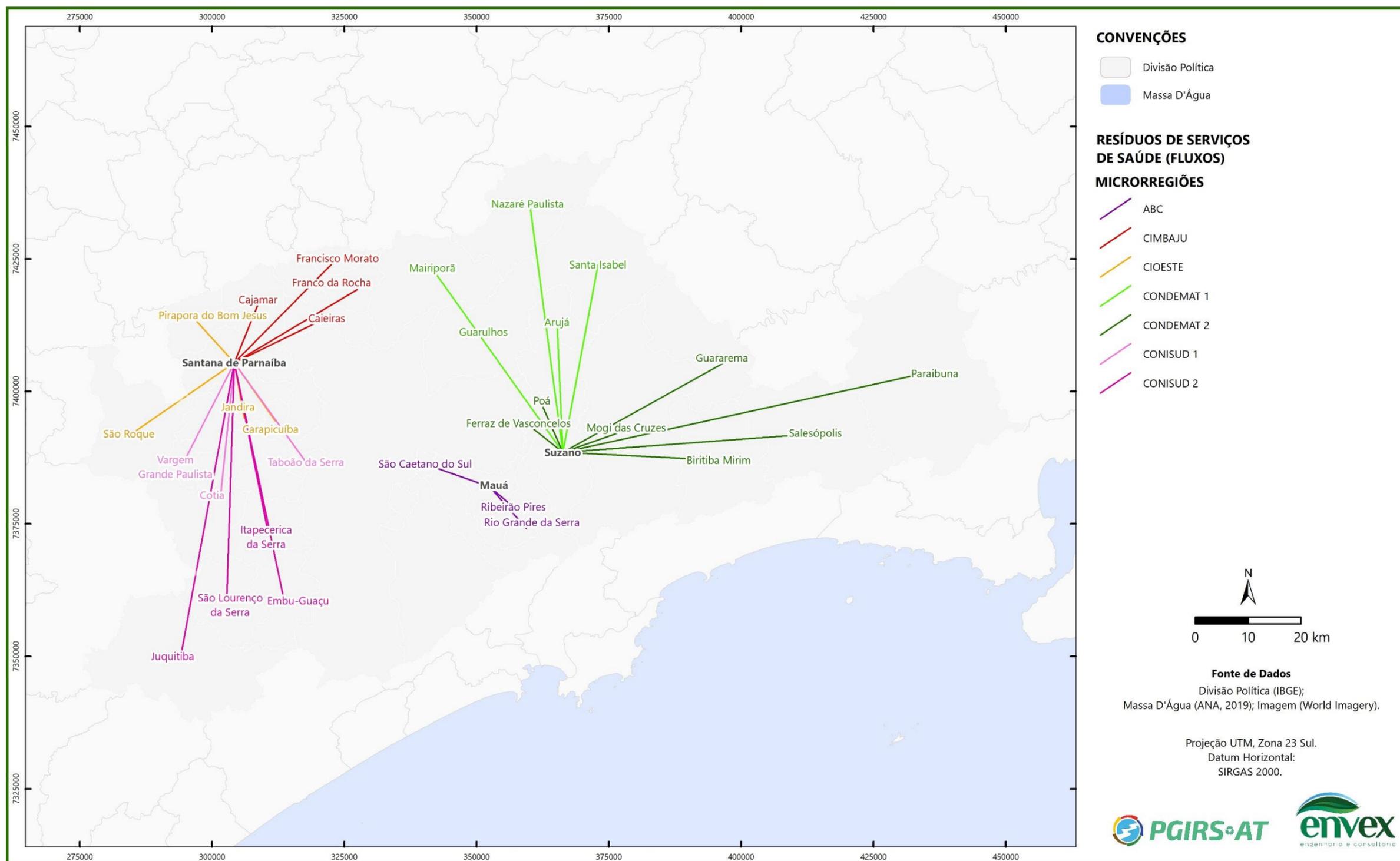
Consórcio	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
ABC	Mauá	Mauá	0	431,49	447,88	455,76	432,36	457,76	479,70	427,49	431,25	423,96
	Ribeirão Pires		11	107,76	111,92	113,93	107,98	114,39	119,91	106,76	107,77	105,98
	Rio Grande da Serra		15	33,10	34,38	35,00	33,17	35,14	36,83	32,79	33,10	32,55
	São Caetano do Sul		17	848,19	881,33	897,32	849,90	900,78	944,46	840,34	848,62	834,70
<b>Total</b>				1.420,54	1.475,51	1.502,00	1.423,41	1.508,07	1.580,91	1.407,39	1.420,75	1.397,19

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 144: Comparação Demanda x Capacidade Instalada – Micro Arranjos.

Município Sede da Unidade de Tratamento	Capacidade Instalada (t/ano)	Demanda de RSS (Grupo A, B e E) para serem tratados (t/ano)								
		Tendencial			ONU+			ONU-		
		Ano 1	Ano 10	Ano 20	Ano 1	Ano 10	Ano 20	Ano 1	Ano 10	Ano 20
Mauá	28.572	1.420,54	1.475,51	1.502,00	1.423,41	1.508,07	1.580,91	1.407,39	1.420,75	1.397,19
Santana de Parnaíba	8.640	2.775,17	2.889,80	2.945,46	2.780,77	2.953,55	3.100,21	2.749,46	2.782,53	2.739,93
Suzano	2.160	1.257,05	1.307,34	1.331,66	1.259,59	1.336,19	1.401,62	1.245,41	1.258,81	1.238,74

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).



**Figura 63: Fluxo de RSS – Arranjo por Microrregiões.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 9.1.3. Rotas Tecnológicas para o Arranjo por Regiões Geográficas

O fluxo de resíduos que ilustra o arranjo intermunicipal desenhado com base nas Regiões Geográficas está representado na Figura 64. As tabelas a seguir (Tabela 145, Tabela 146, Tabela 147, Tabela 148) apresentam a projeção da demanda por tratamento de RSS para os arranjos por regiões geográficas.

Os dados da Tabela 149, indicam novamente, que para esse arranjo, os municípios que optarem por encaminhar os RSS para tratamento na planta de Suzano (Região Leste), deverão considerar a opção de outros fornecedores, sendo que para esse arranjo, a demanda por tratamento nesta localidade está maior que o arranjo por Consórcios. A capacidade instalada em Mauá e em Santana de Parnaíba atende ao previsto, ao longo do horizonte de planejamento e nos três cenários de projeção populacional.

Tabela 145: Estruturas dos arranjos intermunicipais – SUDESTE.

Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
SUDESTE	Mauá	Mauá	0	431,49	447,88	455,76	432,36	457,76	479,70	427,49	431,25	423,96
	Ribeirão Pires		11	107,76	111,92	113,93	107,98	114,39	119,91	106,76	107,77	105,98
	Rio Grande da Serra		15	33,10	34,38	35,00	33,17	35,14	36,83	32,79	33,10	32,55
	Santo André		10	796,38	828,31	843,76	797,98	846,59	888,09	789,00	797,57	784,89
	São Bernardo do Campo		27	1.577,22	1.638,62	1.668,21	1.580,41	1.674,77	1.755,86	1.562,61	1.577,80	1.551,81
	São Caetano do Sul		17	848,19	881,33	897,32	849,90	900,78	944,46	840,34	848,62	834,70
<b>Total</b>				3.794,14	3.942,45	4.013,98	3.801,80	4.029,43	4.224,86	3.759,00	3.796,11	3.733,89

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 146: Estruturas dos arranjos intermunicipais – LESTE.

Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
LESTE	Arujá	Suzano	32	117,47	122,06	124,27	117,71	124,76	130,80	116,39	117,53	115,60
	Biritiba Mirim		40	7,54	7,84	7,98	7,56	8,01	8,40	7,47	7,54	7,42
	Ferraz de Vasconcelos		9	159,50	165,69	168,67	159,82	169,34	177,54	158,02	159,54	156,90

Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
	Guararema		56	16,70	17,35	17,67	16,74	17,74	18,60	16,55	16,71	16,43
	Guarulhos		37	1.354,14	1.406,86	1.432,28	1.356,87	1.437,90	1.507,53	1.341,60	1.354,64	1.332,34
	Mogi das Cruzes		14	805,96	838,48	854,22	807,59	856,98	899,10	798,49	807,36	794,61
	Paraibuna		98	5,95	6,25	6,40	5,96	6,39	6,73	5,89	6,02	5,95
	Poá		6	21,55	22,38	22,78	21,59	22,87	23,98	21,35	21,55	21,19
	Salesópolis		62	5,93	6,16	6,27	5,94	6,29	6,60	5,87	5,93	5,83
	Santa Isabel		41	58,19	60,45	61,54	58,31	61,78	64,77	57,65	58,21	57,24
<b>Total</b>				2.552,94	2.653,51	2.702,06	2.558,09	2.712,06	2.844,03	2.529,29	2.555,02	2.513,52

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 147: Estruturas dos arranjos intermunicipais – NORTE.

Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
NORTE	Caieiras	Santana de Parnaíba	38	146,57	152,27	155,02	146,86	155,63	163,16	145,21	146,62	144,20
	Cajamar		21	93,25	96,95	98,73	93,43	99,08	103,92	92,38	93,35	91,84
	Francisco Morato		37	126,63	131,55	133,92	126,88	134,45	140,95	125,45	126,66	124,57
	Franco da Rocha		42	276,44	287,22	292,41	277,00	293,55	307,78	273,88	276,56	272,01
	Mairiporã		55	47,42	49,27	50,17	47,52	50,36	52,80	46,98	47,45	46,67

Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
	Nazaré Paulista		97	10,83	11,42	11,71	10,85	11,67	12,32	10,73	10,99	10,89
	Pirapora do Bom Jesus		10	10,87	11,29	11,49	10,89	11,54	12,10	10,77	10,87	10,69
	Santana de Parnaíba		0	110,51	114,96	117,11	110,73	117,49	123,26	109,49	110,69	108,93
<b>Total</b>				822,51	854,91	870,55	824,17	873,77	916,29	814,89	823,18	809,81

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 148: Estruturas dos arranjos intermunicipais – OESTE.

Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
OESTE	Carapicuíba	Santana de Parnaíba	18	232,77	241,77	246,10	233,24	247,10	259,03	230,61	232,79	228,93
	Cotia		31	565,65	588,88	600,14	566,79	601,87	631,68	560,41	567,02	558,27
	Embu Guaçu		62	8,08	8,40	8,55	8,10	8,58	9,00	8,01	8,08	7,95
	Jandira		17	12,39	12,88	13,11	12,42	13,16	13,80	12,28	12,40	12,19
	Juquitiba		82	84,05	87,30	88,87	84,22	89,23	93,54	83,27	84,06	82,67
	São Lourenço da Serra		64	32,33	33,58	34,19	32,40	34,33	35,99	32,03	32,34	31,80
	São Roque		36	209,13	222,43	229,18	209,55	227,34	241,22	207,19	214,18	213,19

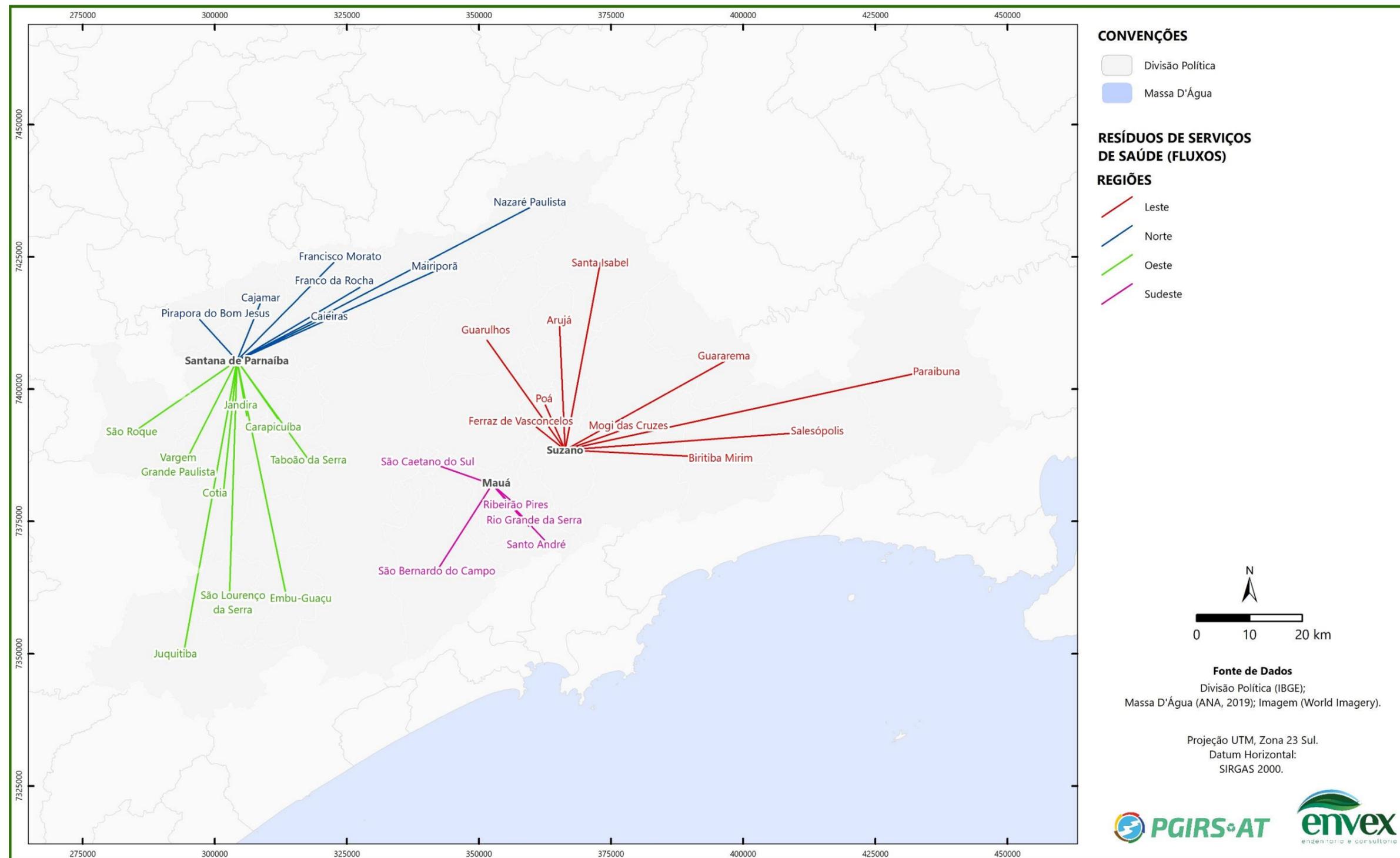
Região	Município	Sede Unidade de Tratamento de RSS	Distância (km)	Estimativa de RSS (Grupo A+B+E) – (t/ano)								
				Tendencial			ONU+			ONU-		
				2025	2034	2044	2025	2034	2044	2025	2034	2044
	Taboão da Serra		40	446,23	463,79	472,27	447,13	474,02	497,08	442,10	446,58	439,31
	Vargem Grande Paulista		45	37,72	39,19	39,90	37,80	40,05	41,99	37,37	37,73	37,11
<b>Total</b>				1.628,36	1.698,22	1.732,31	1.631,64	1.735,69	1.823,32	1.613,27	1.635,19	1.611,43

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 149: Comparação Demanda x Capacidade Instalada – Arranjo por Regiões Geográficas.

Município Sede da Unidade de Tratamento	Capacidade Instalada (t/ano)	Demanda de RSS (Grupo A, B e E) para serem tratados (t/ano)								
		Tendencial			ONU+			ONU-		
		Ano 1	Ano 10	Ano 20	Ano 1	Ano 10	Ano 20	Ano 1	Ano 10	Ano 20
Mauá	28.572	3.794,14	3.942,45	4.013,98	3.801,80	4.029,43	4.224,86	3.759,00	3.796,11	3.733,89
Santana de Parnaíba	8.640	2.450,86	2.553,14	2.602,86	2.455,81	2.609,46	2.739,61	2.428,16	2.458,37	2.421,24
Suzano	2.160	2.552,94	2.653,51	2.702,06	2.558,09	2.712,06	2.844,03	2.529,29	2.555,02	2.513,52

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).



**Figura 64: Fluxo de RSS – Arranjo por Regiões Geográficas.**  
 Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 10. AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE OS ARRANJOS

Este capítulo tem por objetivo analisar comparativamente o incremento de investimento de cada rota tecnológica de RSU entre os arranjos intermunicipais propostos, assim como avaliar a destinação regionalizada de RCC e RSS.

A Tabela 150 Figura 65: Gráfico da relação entre população e custo incremental de cada Rota Tecnológica de destinação de RDO. Figura 65 apresentam o valor incremental por habitante (R\$/hab/ano) para cada rota tecnológica estudada sob a ótica da população atendida em cada arranjo estudado, de forma a identificar o impacto do tamanho da população atendida no custo da RT proposta.

Importante destacar que os valores apresentados se referem a todos os serviços de manejo de resíduos sólidos domiciliares, desde a coleta até a disposição final, passando pelas Rotas Tecnológicas (RT) propostas em cada cenário; incluindo investimentos (CAPEX), custos de operação e manutenção (OPEX) e as receitas acessórias provenientes da comercialização dos subprodutos (recicláveis, energia, CDR, composto orgânico). Desta forma, uma região mais populosa pode ter valor incremental superior a outra com menor número de habitantes, uma vez que os gastos com investimentos iniciais ou com transporte podem ser maiores no caso de existirem longas distâncias a serem percorridas, como é o caso da região Leste da região de estudo que corresponde ao consórcio CONDEMAT, em que apesar de possuir população elevada, as áreas urbanas dos municípios são bastante distantes entre si.

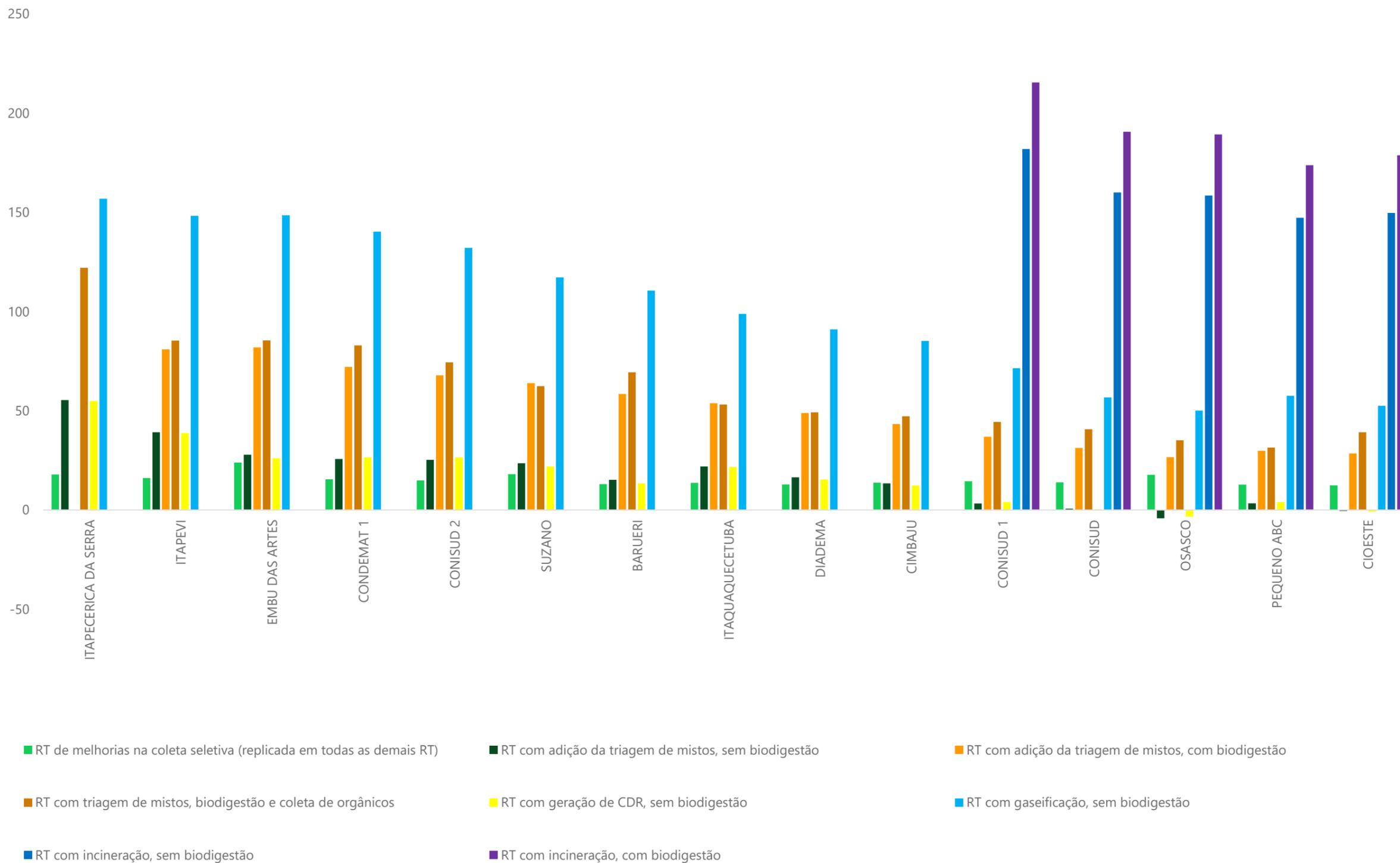
De maneira geral, quanto maior a população atendida, menor fica o custo de implementação de novas rotas tecnológicas. Considerando apenas o acréscimo da triagem mecanizada de resíduos mistos no menor arranjo (CONDEMAT 1) o custo incremental seria de R\$ 25,67 por habitante por ano, porém quando se olha para os maiores arranjos como o CONDEMAT com o município de Guarulhos tem-se uma redução de R\$ 8,61 por hab/ano no custo atual dos serviços.

As Rotas Tecnológicas mais complexas como a gaseificação e a incineração apresentam incrementos bastante superiores às demais RT, com melhor viabilidade somente para agrupamentos com mais de 1 milhão de habitantes. As RT que envolvem a geração de CDR apresentam resultados bastante interessantes, sendo que a RT sem biodigestão apresenta, para a maioria dos arranjos, redução dos custos atuais devido a comercialização de recicláveis e do CDR, já a RT com geração de CDR e Biodigestão ocasiona um pequeno aumento no custo, porém, atende a meta do PLANARES quanto ao desvio de resíduos do aterro sanitário, com mais de 64% de desvio.

Tabela 150: Resultado Incremental (R\$/hab/ano) de cada rota tecnológica no manejo de RDO para cada Arranjo Intermunicipal.

ARRANJO	Incremento R\$/hab/ano										
	CONSÓRCIOS	População Média (20 anos)	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	RT com geração de CDR, sem biodigestão	RT com geração de CDR, com biodigestão	RT com gaseificação, sem biodigestão	RT com incineração, sem biodigestão	RT com incineração, com biodigestão
MICRO	CONDEMAT 1	264.263	15,51	25,67	72,10	83,00	26,53	72,96	140,31	Sem Viabilidade	Sem Viabilidade
MICRO	CONISUD 2	281.710	14,96	25,25	67,93	74,41	26,50	69,18	132,12	Sem Viabilidade	Sem Viabilidade
CONSÓRCIOS	CIMBAJU	521.496	13,74	13,39	43,26	47,28	12,32	42,19	85,23	Sem Viabilidade	Sem Viabilidade
MICRO	CONISUD 1	627.696	14,50	3,32	36,89	44,37	4,00	37,57	71,49	181,95	215,52
CONSÓRCIOS	CONISUD	743.377	13,94	0,66	31,29	40,68	0,37	31,00	56,74	160,04	190,66
MICRO	PEQUENO ABC	778.590	12,77	3,39	29,83	31,41	4,00	30,44	57,58	147,33	173,77
CONSÓRCIOS	CIOESTE	795.459	12,47	-0,52	28,52	39,16	-0,84	28,20	52,54	149,73	178,77
REGIÕES	NORTE	820.163	12,21	-0,15	27,85	37,69	-0,45	27,55	51,03	145,02	173,02
MICRO	CONDEMAT 2	868.609	19,83	-13,39	32,31	48,60	-15,75	29,95	59,55	202,83	248,54
CONSÓRCIOS	CONDEMAT S_G	1.132.871	17,60	-8,24	33,85	38,37	-12,21	29,88	56,60	172,79	214,88
REGIÕES	OESTE	1.357.915	12,78	-6,20	20,90	29,35	-7,23	19,87	37,55	125,69	152,79
REGIÕES	LESTE	2.368.449	13,75	-8,17	17,40	21,88	-13,34	12,23	32,76	117,33	142,90
CONSÓRCIOS	GRANDE ABC	2.413.568	10,87	-7,76	15,96	21,16	-11,81	11,92	30,48	89,58	113,31
REGIÕES	SUDESTE	2.413.568	10,87	-7,76	15,96	21,16	-11,81	11,92	30,48	89,58	113,31
CONSÓRCIOS	CONDEMAT C_G	2.486.195	13,71	-8,61	16,44	20,97	-13,97	11,07	31,46	113,65	138,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).



**Figura 65: Gráfico da relação entre população e custo incremental de cada Roto Tecnológica de destinação de RDO.**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Outra análise importante refere-se aos arranjos propostos, ou seja, quais arranjos são mais viáveis de implementação. Para esta análise foram comparados os agrupamentos com similaridade geográfica de cada Arranjo (Consórcios Existentes, Micro Arranjos e Regiões Geográficas), conforme apresentado nas tabelas abaixo (151, 152, 153, 154).

A região Sudeste tem o mesmo recorte do Consórcio Grande ABC, sendo que o agrupamento MICRO ABC não inclui os municípios de Santo André e São Bernardo do Campo, possuindo população bastante inferior. Sendo assim, na Tabela 151 é possível observar que o incremento dos custos para todas as RT é menor para os recortes maiores (Região ou Consórcio).

Para a região Leste (Tabela 152) foram propostos 5 possíveis agrupamentos: Região Leste, CONDEMAT com Guarulhos, CONDEMAT sem Guarulhos, CONDEMAT 1 e CONDEMAT 2. Neste caso fica evidente que a subdivisão do consórcio traz prejuízos ao agrupamento, uma vez que aumenta os custos de todas as RT. Tendo maior viabilidade financeira o consórcio CONDEMAT incluindo o município de Guarulhos ou ainda a Região Geográfica Leste como um todo.

A Região Geográfica OESTE (Tabela 153) possui recorte semelhante ao Consórcio CONISUD acrescido de alguns municípios integrantes do CIOESTE. O CONISUD foi estudado integralmente (excluindo apenas os municípios com concessão de serviços em RSU: Itapecerica da Serra e Embu das Artes) e também subdividido em CONISUD 1 (com Itapecerica da Serra) e CONISUD 2. Neste caso, a região geográfica como um todo, que contempla mais de 1,3 milhões de habitantes teria bastante vantagem financeira em relação ao Consórcio CONISUD, sendo que a subdivisão do CONISUD em 2 é o pior dos cenários, com maiores custos à população.

A Região NORTE (Tabela 154) contempla o consórcio CIMBAJU e parte do CIOESTE. O recorte regional (NORTE) contempla mais de 820 mil habitantes, enquanto o CIMBAJU contempla mais de 520 mil habitantes e o CIOESTE cerca de 795 mil. Neste

caso, os valores incrementais previstos para o CIOESTE e para a Região Norte são bastante próximos, mas para o CIMBAJU existe vantagem quando se integra o Consórcio à Região.

Conforme apresentado, as Regiões Geográficas são financeiramente mais vantajosas em todos os casos, mas com bastante similaridade no caso dos maiores consórcios, como Grande ABC, CONDEMAT e CIOESTE.

Porém, cabe destacar que existe um benefício relacionado à governança quando se trata de implantar a regionalização a partir dos Consórcios Existentes, que é exatamente a existência de um órgão de governança intermunicipal, com infraestruturas equipe e ações já em desenvolvimento, como por exemplo a aquisição das usinas móveis para reciclagem de RCC.

Sendo assim, além de serem uma ótima opção para a implementação da destinação regionalizada de RSU, também já possuem estrutura suficiente para atuar no desenvolvimento da destinação regionalizada de RCC e RSS.

Tabela 151: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região SUDESTE.

Arranjo	Agrupamento	População Média (20 anos)	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	RT com geração de CDR, sem biodigestão	RT com geração de CDR, com biodigestão	RT com gaseificação, sem biodigestão	RT com incineração, sem biodigestão	RT com incineração, com biodigestão
REGIÃO	SUDESTE	2.413.568	10,87	-7,76	15,96	21,16	-11,81	11,92	30,48	89,58	113,31
CONSORCIO	GRANDE ABC	2.413.568	10,87	-7,76	15,96	21,16	-11,81	11,92	30,48	89,58	113,31
MICRO	MICRO ABC	778.590	12,77	3,39	29,83	31,41	4,00	30,44	57,58	147,33	173,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 152: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região LESTE.

Arranjo	Agrupamento	População Média (20 anos)	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	RT com geração de CDR, sem biodigestão	RT com geração de CDR, com biodigestão	RT com gaseificação, sem biodigestão	RT com incineração, sem biodigestão	RT com incineração, com biodigestão
CONSÓRCIO	CONDEMAT CG	2.486.195	13,71	-8,61	16,44	20,97	-13,97	11,07	31,46	113,65	138,69
REGIÃO	LESTE	2.368.449	13,75	-8,17	17,40	21,88	-13,34	12,23	32,76	117,33	142,90
CONSÓRCIO	CONDEMAT SG	1.132.871	17,60	-8,24	33,85	38,37	-12,21	29,88	56,60	172,79	214,88
MICRO	CONDEMAT 2	868.609	19,83	-13,39	32,31	48,60	-15,75	29,95	59,55	202,83	248,54
MICRO	CONDEMAT 1	627.696	15,51	25,67	72,10	83,00	26,53	72,96	140,31	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 153: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região OESTE.

Arranjo	Agrupamento	População Média (20 anos)	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	RT com geração de CDR, sem biodigestão	RT com geração de CDR, com biodigestão	RT com gaseificação, sem biodigestão	RT com incineração, sem biodigestão	RT com incineração, com biodigestão
REGIÃO	OESTE	1.357.915	12,78	-6,20	20,90	29,35	-7,23	19,87	37,55	125,69	152,79
CONSORCIO	CONISUD	743.377	13,94	0,66	31,29	40,68	0,37	31,00	56,74	160,04	190,66
MICRO	CONISUD 1	627.696	14,50	3,32	36,89	44,37	4,00	37,57	71,49	181,95	215,52
MICRO	CONISUD 2	281.710	14,96	25,25	67,93	74,41	26,50	69,18	132,12	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Tabela 154: Comparativo do custo incremental de cada RT entre arranjos da região NORTE.

Arranjo	Agrupamento	População Média (20 anos)	RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	RT com geração de CDR, sem biodigestão	RT com geração de CDR, com biodigestão	RT com gaseificação, sem biodigestão	RT com incineração, sem biodigestão	RT com incineração, com biodigestão
REGIÃO	NORTE	820.163	12,21	-0,15	27,85	37,69	-0,45	27,55	51,03	145,02	173,02
CONSÓRCIOS	CIMBAJU	521.496	13,74	13,39	43,26	47,28	12,32	42,19	85,23		
CONSÓRCIOS	CIOESTE	795.459	12,47	-0,52	28,52	39,16	-0,84	28,2	52,54	149,73	178,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Além da comparação entre os arranjos, faz-se necessária a comparação entre arranjos e soluções individuais, para que os municípios com soluções individuais já estabelecidas possam avaliar a melhor proposta para encaminhamentos futuros. A Tabela 155 apresenta a comparação dos municípios com soluções individuais com o Consórcio a que pertencem, importante destacar que os resultados apresentados para os consórcios não integram os municípios com soluções individuais.

A partir dos dados apresentados na tabela é possível observar que quanto menor a população do município, maior é o ganho, ou seja, menor o custo por habitante em todas as rotas tecnológicas estudadas. Considerando ainda que os dados apresentados para os consórcios não integram os municípios com soluções individuais, caso estes fossem integrados nas modelagens, o custo incremental de cada rota tecnológica poderia ser ainda menor, evidenciando a vantagem de implementação de soluções regionalizadas.

Cabe destaque para o município de Osaco que possui população superior a 700 mil habitantes, viabilizando individualmente todas as tecnologias com custo incremental semelhante ao do próprio CIOESTE. Já o município de São Paulo, é maior em número de habitantes que todos os Consórcios estudados, onde se viabiliza todas as rotas tecnológicas com custo incremental menor que todas as demais simulações realizadas.

Tabela 155: Comparativo entre o custo incremental das Soluções Individuais e dos Consórcios correspondentes.

CONSÓRCIOS	População Média (20 anos)	Incremento R\$/hab/ano								
		RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	RT com geração de CDR, sem biodigestão	RT com geração de CDR, com biodigestão	RT com gaseificação, sem biodigestão	RT com incineração, sem biodigestão	RT com incineração, com biodigestão
CONDEMAT C_G	2.486.195	13,71	-8,61	16,44	20,97	-13,97	11,07	31,46	113,65	138,69
CONDEMAT S_G	1.132.871	17,60	-8,24	33,85	38,37	-12,21	29,88	56,60	172,79	214,88
ITAQUAQUECETUBA	387.277	13,66	21,98	53,79	53,18	21,65	53,46	98,83	-	-
SUZANO	322.424	18,09	23,6	63,98	62,42	21,98	62,35	117,26	-	-
CIOESTE	795.459	12,47	-0,52	28,52	39,16	-0,84	28,20	52,54	149,73	178,77
BARUERI	332.344	13,1	15,19	58,42	69,43	13,41	56,65	110,63	-	-
ITAPEVI	243.526	16,08	39,2	80,96	85,41	38,71	80,47	148,27	-	-
OSASCO	764.011	17,68	-4,19	26,63	35,12	-3,37	27,44	50,09	158,52	189,34
CONISUD	743.377	13,94	0,66	31,29	40,68	0,37	31,00	56,74	160,04	190,66
ITAPECERICA DA SERRA	166.029	17,86	55,38	-	122,04	54,93	-	156,88	-	-
EMBU DAS ARTES	262.560	23,94	27,82	81,94	85,49	26,03	80,15	148,53	-	-
GRANDE ABC	2.413.568	10,87	-7,76	15,96	21,16	-11,81	11,92	30,48	89,58	113,31
DIADEMA	411.669	12,87	16,49	48,9	49,21	15,4	47,82	91,06	-	-
SÃO PAULO	11.800.026	4,97	-26,8	-11,77	-7,46	-34,56	-19,53	-11,79	52,75	67,78

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 11. PROGRAMA DE RECICLAGEM

A reciclagem de resíduos sólidos é um dos caminhos fundamentais para garantir redução da instabilidade entre o consumo humano e os recursos naturais. Além da evidente redução da demanda por matéria prima virgem, a reciclagem proporciona a redução do consumo de água, energia e químicos nos processos industriais, bem como a redução de gases do efeito estufa. Em conjunto, diversos benefícios sociais e financeiros são criados a partir do mercado da reciclagem, como novas empresas e empregos em toda a cadeia da reciclagem, renda para pessoas em situação de vulnerabilidade social, entre outros.

Assim, por si só, a reciclagem é item indispensável a ser considerado no planejamento público. Os governos federal e estadual desempenham um papel fundamental na regulamentação desse tema, com o objetivo de expandir a reciclagem por meio da criação de incentivos para todos os envolvidos, desde os catadores até as indústrias de recuperação, incluindo a logística reversa. A seguir, são apresentados alguns exemplos:

- **Governo Federal:**

- Aumento para 18% das alíquotas de imposto de importação para resíduos de papel, plástico e vidro;
- Consulta pública para o Decreto que institui o sistema de logística reversa de embalagens de papel e papelão;
- Lei Federal nº 14.260/2021 – Estabelece incentivos à indústria da reciclagem; e cria o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecycle) e Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecycle);
- Lei Federal nº 11.300/2022 – Institui o Sistema de Logística Reversa de Embalagens de Vidro;
- Lei Federal nº 11.413/2023 – Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de



Massa Futura, no âmbito dos sistemas de logística reversa de que trata o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010;

- Celebração de Acordo setorial e Termo de Compromisso com o setor de embalagens em geral pós consumo para implantar a logística reversa;
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) com meta de 25,8% de recuperação de recicláveis em relação à massa total de RSU até 2040 para a Região Sudeste.

- **Governo do Estado de São Paulo:**

- Celebração de Termos de Compromisso com o setor de embalagens em geral pós consumo para implantar a logística reversa;
- Decisão de Diretoria CETESB nº 127/2021/P obriga a estruturação e implementação de sistemas de logística reversa como condicionante para a emissão ou renovação de licenças ambientais de operação;
- Decisão de Diretoria CETESB nº 127/2021/P estabelece meta para a logística reversa do setor de embalagens em geral: Em 2024 devem ser recuperados 23,5% de recicláveis frente ao total (peso) colocado no mercado pelo setor;
- Programa Integra Tietê, Programa Água é Vida e Programa Integra Resíduos possuem ações voltadas à melhoria da reciclagem nos municípios.

Na sequência, é válido retomar à situação atual da reciclagem nos 42 municípios, conforme já relatado no Diagnóstico, em que:

- 29 dos 42 municípios possuem coleta seletiva;
- 77 unidades de triagem vinculadas ao sistema formal público de coleta seletiva estão presentes em 29 municípios;
- 1818 catadores de materiais recicláveis atuam formalmente;
- 60% da população dos 42 municípios, aproximadamente 12,6 milhões de pessoas, são atendidas com coleta de recicláveis porta-a-porta;
- De toda a massa coletada (7.155.621 toneladas de RSU), apenas 1,8% (130.807 toneladas) é material reciclável coletado pelo sistema formal e enviado para as unidades de triagem (Tabela 156);

- 0,96% (69.321 t/ano) de materiais recicláveis são recuperados em relação ao total gerado de RSU anualmente nos 42 municípios;
- 35,76% de todo o resíduo que chega nos aterros são resíduos recicláveis;
- 31.256 catadores informais estão registrados no CadÚnico nos 42 municípios.

De modo complementar, a Tabela 156 contém dados município a município sobre o grau de eficácia da coleta seletiva.

Tabela 156: Resultados da coleta seletiva ofertado pelas prefeituras nos municípios.

Município	% da população total atendida com coleta seletiva porta a porta	Quantidade de recicláveis coletados (t/ano)	% de recicláveis coletados em relação ao total de RSU coletado
Arujá	96%	720	2,5%
Barueri	100%	4.200	4,2%
Biritiba-Mirim	42%	160	2,9%
Caieiras	0%	20	0,1%
Cajamar	0%	-	-
Carapicuíba	0%	-	-
Cotia	100%	2.820	2,4%
Diadema	0%	1.113	1,0%
Embu das Artes	100%	286	0,2%
Embu-Guaçu	0%	-	-
Ferraz de Vasconcelos	0%	-	-
Francisco Morato	0%	-	-
Franco da Rocha	0%	-	-
Guararema	52%	535	4,0%
Guarulhos	100%	2.948	0,8%
Itapecerica da Serra	17%	1.000	1,9%
Itapevi	0%	-	-
Itaquaquecetuba	0%	-	-
Jandira	0%	-	-
Juquitiba	0%	-	-
Mairiporã	0%	278	1,0%

Município	% da população total atendida com coleta seletiva porta a porta	Quantidade de recicláveis coletados (t/ano)	% de recicláveis coletados em relação ao total de RSU coletado
Mauá	10%	434	0,3%
Mogi das Cruzes	92%	7.877	2,4%
Nazaré Paulista	0%	-	-
Osasco	30%	1.520	0,6%
Paraibuna	0%	-	-
Pirapora do Bom Jesus	0%	-	-
Poá	8%	1.155	3,8%
Ribeirão Pires	13%	435	1,2%
Rio Grande da Serra	0%	-	-
Salesópolis	64%	610	20,1%
Santa Isabel	78%	2.112	10,5%
Santana de Parnaíba	100%	5.175	6,9%
Santo André	100%	8.387	3,5%
São Bernardo do Campo	98%	12.051	4,2%
São Caetano do Sul	100%	1.580	2,6%
São Lourenço da Serra	0%	-	-
São Paulo	74%	72.976	1,8%
São Roque	32%	898	4,0%
Suzano	0%	-	-
Taboão da Serra	13%	1.520	1,8%
Vargem Grande Paulista	0%	-	-

Fonte: SNIS (2022). Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Comparando os resultados presentes na Tabela 156 observa-se uma baixa eficácia na coleta seletiva porta a porta. Essa situação se torna ainda mais grave considerando que 36% dos resíduos que chegam até os aterros presentes na área de estudo são recicláveis

Essa ineficácia afeta diretamente a elevação dos custos, uma vez que se gasta muito para coletar pouco. Retomando o dado disponibilizado na Ferramenta de Rotas Tecnológicas e Custos para Manejo de RSU pelo Programa ProteGEEr, tem-se que o custo da coleta seletiva é R\$ 450/t, frente a R\$ 150,71/t da coleta de resíduos mistos, o que indica a baixa quantidade de resíduos recicláveis dispostos pela população para a coleta seletiva, bem como a interferência dos catadores informais ao retirarem os materiais antes da coleta seletiva formal.

Observa-se, assim, que embora a reciclagem seja fundamental e já existam diversas ações relacionadas, ainda existem várias lacunas na área de estudo, como alguns municípios que não possuem coleta seletiva ou mesmo o baixo nível de recuperação de materiais recicláveis, o que reforça a necessidade de criar estratégias para um Programa Regional de Reciclagem que envolva os 42 municípios.

Nesse contexto é importante reforçar as responsabilidades de cada ente, assim como pode ser visto na Tabela 157.

*Tabela 157: Responsabilidades pelo resíduo reciclável.*

Gerador	Responsabilidade pelo resíduo
Pequeno gerador (geração doméstica ou equiparada)	Titular do serviço público (prefeitura), setor privado (logística reversa) e pessoas físicas
Grande gerador (geração empresarial)	Gerador

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Frente ao exposto, na sequência são abordados tópicos estruturantes desse Programa Regional de Reciclagem, o qual será complementado no Produto 6 – Diretrizes e Estratégias.

### **11.1. Levantamento de demanda por materiais recicláveis: potenciais indústrias e respectivas quantidades de materiais recicláveis de serem utilizados no processo produtivo**

A demanda por materiais recicláveis é crescente ao longo dos anos, embora haja oscilações de mercado conforme o tipo de material. Um exemplo é a atual situação da reciclagem de papel e papelão, em que por ocasião do período de pandemia as indústrias de reciclagem aumentaram seus estoques, o que gerou redução no valor em cerca de 40% e automaticamente na compra de papel para reciclagem nos anos seguintes. Em conjunto, o aumento da produção de celulose virgem no Brasil tornou mais vantajoso usar o material virgem ao invés dos materiais recicláveis. Visto isso, o que se espera é que a medida em que os estoques forem reduzindo, o mercado volte a consumir mais matéria prima reciclável (O ECO, 2024).

Já o mercado da reciclagem do vidro tende a ter um crescimento mais constante, uma vez que a Lei Federal nº 11.300/2022 obriga a existência de sistema de logística reversa do setor. Dessa forma, o setor deve se organizar de modo a comprovar o atingimento de metas de reciclagem em relação ao total de embalagens de vidro colocadas no mercado.

Para o plástico, conforme a pesquisa encomendada pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), foi observado em 2022 um crescimento de 9,1% da produção de resina pós-consumo (PCR), obtida a partir do plástico que vai para a reciclagem, tendo a maior produção na região sudeste, com 589.076 mil toneladas de resina produzida (ABIPLAST, 2023). Assim, esse crescimento pressupõe a continuidade da demanda por plástico reciclado nos próximos anos.

De forma complementar, como abordado anteriormente, em 2023 o governo federal aumentou a alíquota de importação de resíduos de papel, plástico e vidro para 18%, o que apoia o fortalecimento interno dessas cadeias de reciclagem.

Assim, a demanda por materiais recicláveis e as respectivas indústrias de transformação devem se manter em crescimento ao longo dos anos, apoiadas ainda por outras políticas públicas, como a de redução da emissão de gases do efeito estufa, por exemplo.

No âmbito dos municípios, o aumento dessa demanda pode ser sentido nas cooperativas e associações de triagem de materiais recicláveis, nas empresas de processamento de materiais recicláveis, bem como na coleta feita por catadores informais nas ruas.

Em relação aos catadores informais, conforme apresentado no Capítulo 3, estima-se que os municípios do PGIRS-AT contem com a atuação de 31,26 mil a 56,12 mil catadores autônomos (descritos em três cenários, denominados de CadÚnico, CadÚnico+RSA e RSA+Prem). Assim, em virtude da relevância da atuação desses atores, na sequência serão discutidos os impactos financeiros e econômicos dos catadores informais.

### *11.1.1. Estimativas de faturamento do catador autônomo típico*

A partir das estimativas de esforço de trabalho dos catadores autônomos, conforme discorreu-se no Capítulo 3, aborda-se aqui as decorrências econômicas dessa atuação. Para tanto, o primeiro passo é estimar o perfil dos materiais recicláveis que são recolhidos pelos catadores, na média. Posteriormente, estima-se o valor de comercialização unitário de cada tipo de material. Com esses dados, é possível compreender o quanto se gera de atividade econômica pela catação.

Há, no entanto, uma notável dificuldade em se desvendar com precisão a gravimetria de recicláveis que um catador médio obtém. Uma vez que se objetivam obter ordens de grandeza do papel econômico dos catadores, a consultoria utilizou de sua experiência e balizou-a mediante consulta informal com atores do mercado da reciclagem. Derivou-se, assim, uma gravimetria certamente imprecisa, mas ao mesmo

tempo coerente para os propósitos desta avaliação, a qual está disposta abaixo na Tabela 158. Ademais, diversas buscas na literatura acadêmica não retornaram estimativas para esta importante faceta da catação informal.

*Tabela 158: Estimativa de faturamento mensal do catador autônomo médio na área de estudo.*

	Composição dos Materiais	Quantidade (kg/dia)	Valor unitário (R\$/t)	Faturamento (R\$/mês)*
Papel/Papelão	60,0%	34,05	0,55	257,60
Plástico Filme	15,0%	8,51	2,30	269,31
Plástico Rígido	10,0%	5,68	1,50	117,09
Vidros	0,5%	0,28	0,15	0,84
Metais Ferrosos	5,0%	2,84	1,00	55,76
Metais Não Ferrosos	9,5%	5,39	3,50	370,78
<b>TOTAL / MÉDIA PONDERADA</b>	<b>100,0%</b>	<b>56,75</b>	<b>0,63*</b>	<b>1.071,37</b>

\* Aplica-se um desconto de 30% sob o valor unitário de venda de papel/papelão e plásticos devido à não prensagem (compactação) destes materiais, conforme ocorre para a grande maioria dos catadores autônomos. Isso afeta o valor médio ponderado do kg do material reciclado vendido e, conseqüentemente, o faturamento mensal. Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Outra estimativa é o valor unitário de venda dos materiais reciclados por parte dos catadores para intermediários. Os preços de venda dos materiais oscilam grandemente entre locais geográficos, conforme à presença ou não de indústrias e à logística, devido as características de segregação e da qualidade intrínseca do material sendo comercializado, dos volumes de comercialização e - principalmente - da situação de mercado (oferta e demanda) para os materiais virgens, como já abordado anteriormente. Posto isso, os preços unitários que constam da Tabela 158, são valores representativos das médias de comercialização de sucatas no Estado de São Paulo que superam um ou outro ciclo de altas e baixas. Sabe-se, claramente, que as variações para mais e para menos certamente ocorrerão.

Mesmo com os pressupostos adotados, observa-se que o faturamento médio mensal de um catador típico é de R\$ 1,07 mil. Esse valor está em linha com o que fora levantado pela Pesquisa Ciclossoft de 2023, que traz a seguinte distribuição:

- 17,70% dos catadores ganham até R\$ 275,00 por mês;

- 25,00% têm um faturamento mensal entre R\$ 275,00 e R\$ 549,00;
- 27,30%, ganha entre R\$ 550,00 e R\$ 1.099,00 por mês;
- 11,30% dos catadores têm um faturamento mensal entre R\$ 1.100,00 e R\$ 2.199,00;
- 4,30% ganham entre R\$ 2.200,00 e R\$ 3.299,00;
- Apenas 1,40% dos catadores têm um faturamento superior a R\$ 3.300,00 por mês; e
- 13,00% dos catadores não souberam ou não declararam seu faturamento.

Desconsiderando os 13% que não declararam seu faturamento, a média ponderada, considerando as porcentagens e os valores máximos de cada faixa, resultam em um valor mensal também de R\$ 1,07 mil. Estes resultados destacam a precariedade financeira enfrentada por esses trabalhadores, apesar de sua contribuição essencial para a gestão de resíduos e a sustentabilidade ambiental.

### *11.1.2. Valor financeiro da cadeia da reciclagem na área de estudo*

Uma vez que se tem a estimativa da quantidade coletada por dia por catador, pode-se estimar o impacto do que é coletado informalmente no cálculo de recuperação de materiais recicláveis em relação ao total gerado de RSU. A Tabela 159 dispõe de tais dados.

Tabela 159: Estimativas de recuperação de materiais recicláveis considerando os catadores informais nos 42 municípios.

	Coleta Formal	Coleta Formal + Informal (CadÚnico)	Coleta Formal + Informal (CadÚnico+RSA)	Coleta Formal + Informal (RSA+Prem)
Quantidade de materiais recicláveis recuperados (t/ano)	69.321	487.578	603.972	820.286
% de recuperação de materiais recicláveis em relação ao total de RSU gerado	0,96%	6,41%	7,82%	10,33%

Fonte: Adaptado de PIMP MY CARROÇA (2022). CEMPRE (2023).

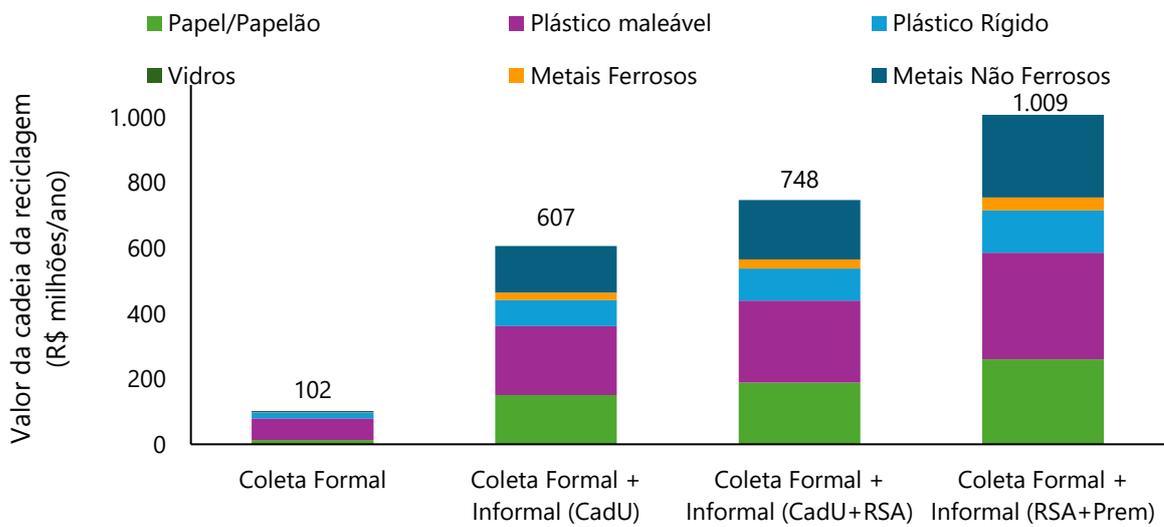
Pode-se concluir a partir da Tabela 156 que se considerar o volume de materiais recicláveis recuperados pelos catadores informais, a taxa de recuperação sai de 0,96% (coleta formal) e pode atingir até 10,33% do total de RSU gerado nos 42 municípios. Assim, com base na Tabela 159, no cenário com menor número de catadores atuantes (CadÚnico) a coleta formal representa apenas 14% do total de recicláveis coletados (formal + informal), ou seja, a coleta exercida por catadores é responsável por, pelo menos) 86% de todo reciclável coletado. Dessa forma, se consolida a importância dos catadores informais para a recuperação de materiais recicláveis.

É necessário indicar que, mesmo com um impacto muito maior que a coleta formal, os catadores informais estão em situação de vulnerabilidade social, o que implica na necessidade de regularizar e aprimorar a situação vivenciada por tais pessoas. Essa demanda será desenvolvida no Produto 6 – Diretrizes e Estratégias.

Em complemento, sabendo do faturamento mensal do catador autônomo típico da área de estudo, pode-se aplicar tal resultado pela quantidade total de catadores de forma a se obter um rendimento total (considerando-se ainda a quantidade de dias trabalhados no ano, conforme descrito no Capítulo 3). Mais ainda, pode-se aplicar os

mesmos valores unitários para se desvendar o resultado do valor financeiro gerado pela coleta seletiva formal (com base na gravimetria do resíduo coletado, conforme apresentado no capítulo de Cenários) totalizando assim o valor da comercialização dos recicláveis do sistema formal e informal nos 42 municípios.

A Figura 66 traz as estimativas de valor financeiro da cadeia da reciclagem nos 42 municípios do PGIRS-AT.



**Figura 66: Valor financeiro da cadeia da reciclagem a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes da área de estudo (milhões de reais por ano).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Figura 66 permite observar que o valor da comercialização de recicláveis da coleta formal é muito inferior ao volume financeiro da coleta informal. Enquanto a coleta formal movimenta cerca de R\$ 100 milhões anuais na comercialização de materiais recicláveis, a inclusão dos resíduos catados pelos coletores informais eleva esse valor para algo entre R\$ 607 milhões e R\$ 1 bilhão anual. Ou seja, a coleta formal representa entre 16,8% e 10%, respectivamente, do total de comercialização de materiais recicláveis entre o sistema formal e informal nos 42 municípios.

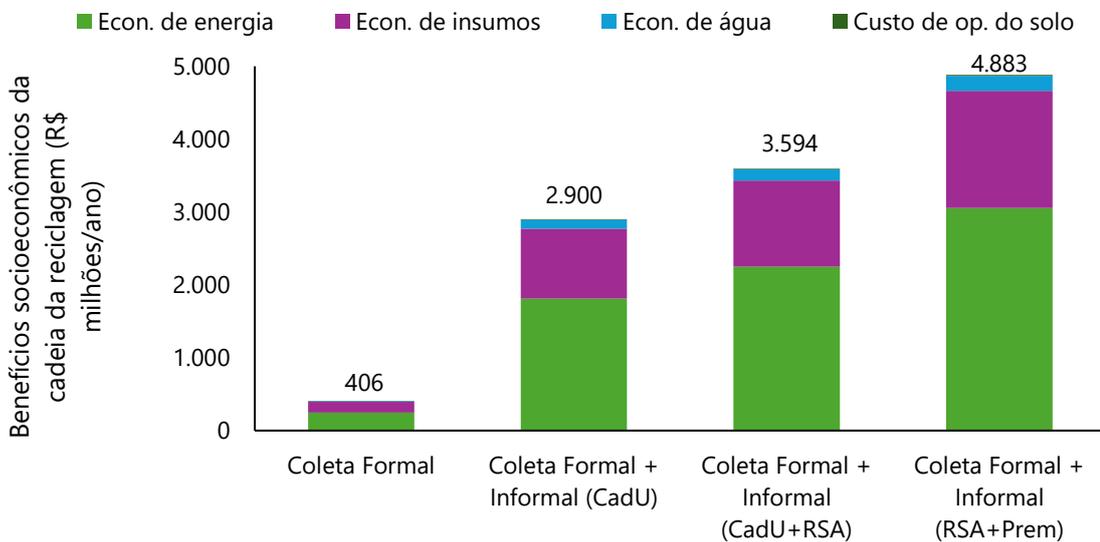
Nota-se que os valores apresentados ainda não representam todo o valor da cadeia da reciclagem, uma vez que também existe a parcela de grandes geradores

privados de resíduos recicláveis, como indústrias, por exemplo, bem como os próprios processos de transformação do material reciclável.

### 11.1.3. Valor socioeconômico da cadeia da reciclagem na área de estudo

O valor socioeconômico da cadeia da reciclagem está presente de algumas formas, como a economia de energia, economia de insumos, economia de água e economia de solo (desmatamento evitado), além da redução da emissão de gases de efeito estufa por consequência, sendo que cada uma dessas variáveis já foram detalhadas no subcapítulo 7.3.3.3.

Assim, aplica-se aqui o mesmo racional de valoração econômica dos benefícios da reciclagem, por tipologia de material reciclado, para estimar o valor econômico gerado - no formato de externalidades positivas - pelos catadores autônomos da área de estudo para a sociedade brasileira.



**Figura 67: Valor econômico da cadeia da reciclagem a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo (milhões de reais por ano).**

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Figura 67 destaca os benefícios socioeconômicos da reciclagem em milhões de reais por ano, considerando os três diferentes cenários de coleta informal de recicláveis

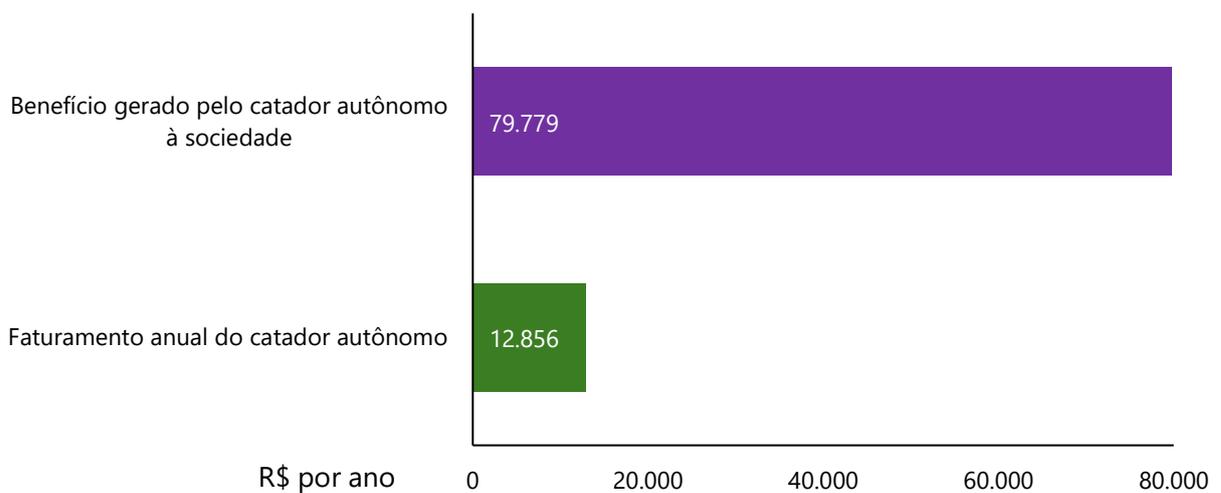
que se somam ao que é gerado pela coleta formal. Na coleta formal, o benefício gerado pela economia de energia é de R\$ 247 milhões, enquanto a economia de insumos é de R\$ 149 milhões, a economia de água é de R\$ 10 milhões, e o custo de oportunidade do solo é de R\$ 1 milhão. No cômputo geral, tem-se 406 milhões por ano de benefícios à sociedade.

Quando se inclui a coleta informal em sua estimativa mínima (dados do CadÚnico), os benefícios aumentam significativamente: a economia de energia sobe para R\$ 1.811 milhões, a economia de insumos para R\$ 961 milhões, a economia de água para R\$ 119 milhões, e o custo de oportunidade do solo para R\$ 8 milhões. No cômputo geral, tem-se expressivos 2,9 bilhões por ano de benefícios à sociedade, sendo que o acréscimo líquido de benefícios promovido exclusivamente pela coleta informal remonta em R\$ 2,5 bilhões.

No cenário intermediário, que considera uma maior quantidade de catadores autônomos (CadÚnico+RSA), a economia de energia atinge R\$ 2.247 milhões, a economia de insumos R\$ 1.187 milhões, a economia de água R\$ 150 milhões, e o custo de oportunidade do solo R\$ 10 milhões. No cômputo geral, tem-se ainda mais expressivos 3,6 bilhões por ano de benefícios à sociedade, sendo que o acréscimo líquido de benefícios promovido exclusivamente pela coleta informal remonta em R\$ 3,2 bilhões.

Finalmente, no cenário de maior intensidade de coleta informal (RSA+Prem), os benefícios são ainda mais expressivos: a economia de energia chega a R\$ 3.056 milhões, a economia de insumos a R\$ 1.607 milhões, a economia de água a R\$ 207 milhões, e o custo de oportunidade do solo a R\$ 14 milhões. No cômputo geral, tem-se um valor muito expressivo de 4,9 bilhões por ano de benefícios à sociedade, sendo que o acréscimo líquido de benefícios promovido exclusivamente pela coleta informal remonta em R\$ 4,5 bilhões.

Revela-se, mais uma vez, que os catadores informais de materiais recicláveis nesses 42 municípios do território da área de estudo, possuem fundamental importância não apenas para a cadeia da reciclagem, garantindo que mais resíduos recicláveis sejam efetivamente recuperados, mas também na geração de externalidades positivas para toda a sociedade brasileira. A Figura 68 indica as ordens de grandeza do faturamento do catador autônomo e o respectivo benefício gerado à sociedade.



**Figura 68: Paradoxo do papel do catador autônomo atuante na área de estudo.**

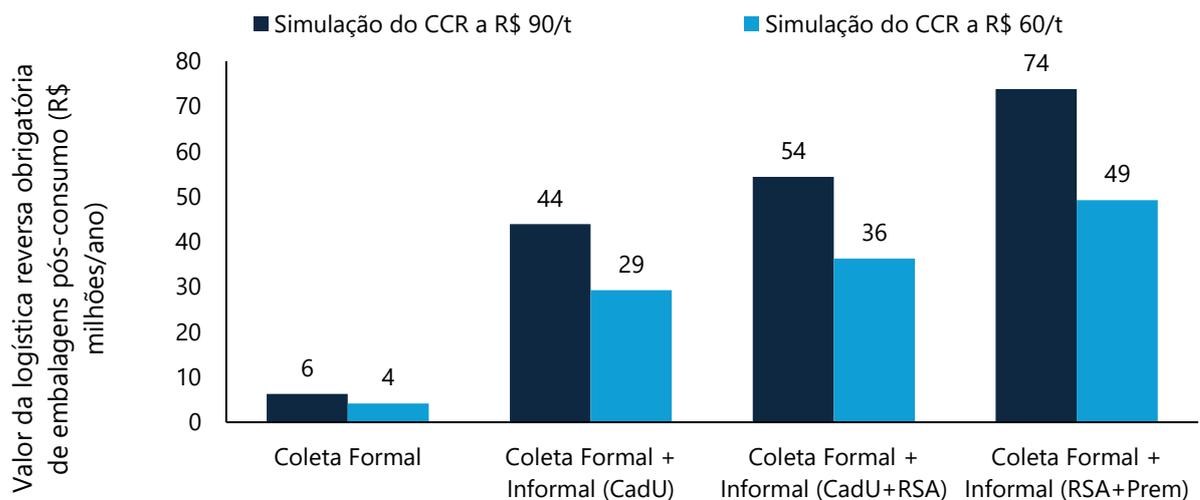
Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

O valor individual de benefícios socioeconômicos gerados por um catador autônomo típico remonta em R\$ 79,78 mil por ano (Figura 68). Este valor é 6,2 vezes maior do que os R\$ 12,86 mil por ano de faturamento que este mesmo catador obtém ao conduzir sua atividade. Estes dados evidenciam ainda mais o impacto econômico desempenhado pelos catadores informais na área de estudo.

#### 11.1.4. Valor da logística reversa obrigatória de embalagens pós-consumo na área de estudo

Outro fator relevante na cadeia da reciclagem é a logística reversa obrigatória de embalagens pós-consumo, a qual é regida por Acordos Setoriais, Termos de Compromissos, Decretos Federais e a Decisão de Diretoria CETESB nº 127/2021. Tais instrumentos fazem pressão para aumentar o volume de material reciclável recuperado ano após ano, disponibilizando mais materiais recicláveis no mercado, gerando demandas para processamento mais eficientes, bem como de novos negócios. A exemplo, tem-se que a Decisão de Diretoria CETESB nº 127/2021/P estabelece uma meta para a logística reversa do setor de embalagens em geral, determinando que, em 2024, devem ser recuperados 23,5% de recicláveis frente ao total (peso) colocado no mercado pelo setor.

Uma das formas de comprovação da logística reversa se dá a partir dos Certificados de Crédito de Reciclagem, os quais foram regulamentados pela Lei Federal nº 11.413/2023. Em geral, são comercializados os comprovantes fiscais da venda de materiais recicláveis, pagando um valor fixo por tonelada de material reciclável comercializada. Frente a isso, são apresentadas duas simulações do possível impacto do mercado de Certificados de Crédito de Reciclagem (CCR) no total de resíduos comercializados a partir da coleta pública e da coleta informal: a primeira delas simula o valor unitário do CCR de R\$ 60,0/t; já na segunda, o valor de R\$ 90,0/t, conforme ilustra a Figura 69.



**Figura 69: Valor da logística reversa obrigatória de embalagens pós-consumo a partir da quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo (milhões de reais por ano).**

Fonte: EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A partir do pressuposto de variação no valor dos CCR, aplicam-se as quantidades de resíduos recicláveis recuperados em cada um dos cenários de quantidade de catadores autônomos atuantes na área de estudo. A Figura 69 permite observar que a cadeia de valor da logística reversa obrigatória de embalagens pós-consumo no que concerne os Créditos de Logística Reversa, expressos em milhões de reais por ano, é de R\$ 4 a R\$ 6 milhões por ano a partir dos resíduos coletados via sistema formal de coleta. Ao se considerar os efeitos adicionais da coleta informal, mesmo em sua estimativa de tamanho mínimo (dados do CadÚnico), os valores aumentam para entre R\$ 29 e R\$ 44 milhões por ano.

No cenário intermediário de quantidade de catadores autônomos (CadÚnico+RSA), estima-se um valor entre R\$ 36 e R\$ 54 milhões para a logística reversa. Finalmente, no cenário de maior intensidade de coleta informal (RSA+Prem), os valores são ainda mais elevados, devendo ser de R\$ 49 a R\$ 74 milhões por ano.

Em uma hipótese de que toda a quantidade (toneladas) comercializada de materiais recicláveis nos 42 municípios, tanto advindo da coleta seletiva formal, quanto

dos catadores informais, fosse transformado em Crédito de Reciclagem e posteriormente comercializado, o valor financeiro da comercialização desses créditos representaria algo entre 4,8% e 7,3% do valor total da venda (valor financeiro) dos materiais recicláveis. Ainda, dividindo esse valor da comercialização dos Créditos de Reciclagem pelo total das estimativas de catadores informais, tem-se por catador autônomo típico valores entre R\$ 900 e R\$ 1,4 mil por ano, comparando-os assim a valores de um possível 13º salário para os trabalhadores informais da reciclagem.

### **11.2. Estudo e proposição de metas factíveis de reciclagem a serem atingidas, destacando interface com a coleta seletiva e as formas de inclusão dos catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis**

A recuperação de materiais recicláveis pode ser advinda das seguintes fontes:

- Coleta seletiva porta-a-porta de materiais recicláveis;
- Recebimento de materiais recicláveis em Pontos de Entrega Voluntária e demais estruturas correlatas;
- Triagem mecanizada dos resíduos sólidos urbanos mistos encaminhados para o aterro sanitário;
- Programas privados de logística reversa, e
- Coletores informais de materiais recicláveis.

Para que essas possíveis recuperações se efetivem, outros atores e estruturas devem apoiar o processo, como a própria participação da população em separar e disponibilizar os materiais recicláveis para coleta; a existência de estruturas de triagem adequadas e eficientes; como também a existência de lixeiras e pontos de entrega voluntária públicos, por exemplo.

Nesse mesmo sentido, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) traz metas que envolvem a reciclagem e as especificações para a região sudeste estão dispostas na Tabela 160.

Tabela 160: Metas do PLANARES para a região Sudeste.

Meta/ano	2020	2024	2028	2032	2036	2040
Percentual dos municípios com presença de catadores com contrato formalizado de prestação de serviços de manejo de materiais recicláveis por cooperativas e associações de catadores	11,7%	28,4%	45%	61,7%	78,3%	95%
Percentual de recuperação de materiais recicláveis	1,9%	6,6%	11,4%	16,2%	21%	25,8%
Percentual da população total com acesso à sistemas de coleta seletiva de resíduos secos	42,3%	51,8%	61,4%	70,9%	80,5%	90%
Percentual de embalagens em geral recuperadas pelo sistema de logística reversa, sobre a quantidade total de embalagens colocada no mercado	-	12%	14%	16%	18%	20%

Fonte: PLANARES (2022). Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Assim, o Planares estabelece que o setor da reciclagem deve evoluir desde a garantia de contratos adequados entre prefeituras e cooperativas, expansão da coleta até o aumento da logística reversa de embalagens pós-consumo pelo setor privado.

De modo geral, as metas convergem para que se alcance a marca de 25,8% de materiais recicláveis recuperados, em relação à massa total de resíduos sólidos urbanos gerados. Na área de estudo, esse indicador está em 0,96%, via coleta formal, e ainda existem 35,84% de materiais recicláveis nos resíduos mistos enviados ao aterro.

Visto isso, com base na cena atual descrita no Relatório de Diagnóstico e nas metas do Planares, são propostas as seguintes metas para o Programa Regional de Reciclagem para a área de estudo na Tabela 161.

Tabela 161: Metas para o Programa Regional de Reciclagem.

Indicador	Resultado atual do indicador	Atendimento às Metas Planares
% da população com atendimento com coleta seletiva	64%	2028 – 61,4% 2032 – 70,9% 2036 – 80,5% 2040 – 90%
% de recuperação de materiais recicláveis do <b>sistema formal</b> em relação ao total gerado de RSU	0,96%	2028 – 11,4% 2032 – 16,2% 2036 – 21% 2040 – 25,8%
% de prefeituras com contrato com cooperativas ou associações de triagem de materiais recicláveis	43%	2028 – 45% 2032 – 61,7% 2036 – 78,3% 2040 – 95%

Fonte: PLANARES (2022). Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Em relação à logística reversa, uma vez que esta possui regramentos próprios e metas já estabelecidas pela DD CETESB nº 051/2024/P, então não foram estabelecidas novas metas para o setor.

Ao observar apenas o volume recuperado de materiais recicláveis pelo sistema formal, tem-se uma distância muito grande em relação à meta estabelecida para a Região Sudeste. Ao adicionar o volume coletado, triado e comercializado pelos informais, torna-se então mais palpável o atingimento das metas. Posto isso, fica evidente que para atingir as metas de reciclagem, é fundamental que o volume comercializado pelos catadores informais seja levado em consideração.

Frente a esse contexto, reforça-se a necessidade de encontrar mecanismos de formalização e melhoria das condições de trabalho dos catadores informais, de modo a aumentar a atratividade para fixação das pessoas na atividade de triagem de recicláveis no sistema formal. Essas demandas serão desenvolvidas no Produto 6 – Diretrizes e Estratégias.

### **11.3. Proposição de estratégia para segregação dos resíduos na fonte**

A segregação dos resíduos na fonte é uma responsabilidade individual, porém de impacto amplo e público. Ela é o começo de todas as rotas tecnológicas e deve ser o ponto central das ações de educação ambiental, pois é a partir da existência ou não da segregação dos resíduos que podem ser reduzidos ou ampliados, respectivamente, os custos públicos na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, ou mesmo, que pode dar mais ou menos viabilidade para determinadas rotas tecnológicas.

Desse modo, é fundamental a utilização de estratégias que se complementam para garantir maior eficiência no processo de segregação na fonte. Assim, a seguir são indicadas as estratégias para apoiar o processo de segregação na fonte, sendo que demais complementos serão dispostos no Produto 6 – Diretrizes e Estratégias.

As estratégias a serem adotadas para apoiar o processo de segregação na fonte são:

1. **Informar de forma contínua sobre** a segregação na fonte os resíduos gerados, os problemas ambientais relacionados, as consequências negativas do modelo de vida atual e as consequências positivas das mudanças de comportamento;
2. **Liderar pelo exemplo**, garantindo compras públicas sustentáveis, eficiência na administração pública e o fornecimento contínuo e de qualidade de equipamentos e serviços públicos relacionados à triagem de resíduos em espaços públicos, como prédios públicos e vias públicas;
3. **Envolver diretamente a população** com ações comunitárias, diálogos diretos e a formação de redes de apoio;

4. **Capacitar a população** utilizando meios físicos e digitais, recursos audiovisuais e textuais, estruturas públicas, cursos e demais meios para remover lacunas de conhecimento e compartilhar experiências;
5. **Estimular a população a separar os resíduos por meio de incentivos financeiros**, envolvendo parcerias com entidades privadas, como setores de logística reversa;
6. **Monitorar o comportamento da população**, premiando o comportamento eficiente ou punindo o comportamento ineficiente.

As estratégias propostas são majoritariamente de responsabilidade das prefeituras municipais, podendo ser compartilhadas e financiadas pelo setor de logística reversa. Elas não possuem ordem de prioridade, mas devem ser utilizadas de forma interdependente e a eficácia desse processo depende diretamente do tempo de aplicação das estratégias, sendo que quanto maior o tempo, maiores são as chances de sucesso.

## REFERÊNCIAS

ABELSON, Peter. **Pricing Public Services**. Sydney: Department of Economics, Macquarie University. 2021. Disponível em: <<https://appliedeconomics.com.au/wp-content/uploads/2021/10/2001-pricing-public-services.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2024.

ABIPLAST. **Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plásticos pós-consumo no Brasil**. Disponível em: <[https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Indices-Reciclagem-2022\\_PICPlast\\_divulgacao.pdf](https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Indices-Reciclagem-2022_PICPlast_divulgacao.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2024.

ABNT. **NBR 15.112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem**: Diretrizes para projeto, implantação e operação, ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 15.113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros**: Diretrizes para projeto, implantação e operação, ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. **NBR 15.114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem**: Diretrizes para projeto, implantação e operação, Rio de Janeiro, 2004.

ADLER, M. D., POSNER, E. A. (1999). **Rethinking Cost-Benefit Analysis**. University of Chicago Law School, John M. Olin Law & Economics Working Paper No. 72.

ANA. **Resolução ANA nº 79 de 14 de junho de 2021**. Aprova a Norma de Referência nº 1 para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, que dispõe sobre o regime, a estrutura e parâmetros da cobrança pela prestação do serviço público de manejo de resíduos sólidos urbanos, bem como os procedimentos e prazos de fixação, reajuste e revisões tarifárias. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 14 jun. 2021.

ANA. **Resolução ANA nº 187, de 19 de março de 2024**. Aprova a Norma de Referência nº 7/2024 para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, que dispõe sobre as condições gerais para a prestação direta ou mediante concessão dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 21 mar. 2024.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Consulta à Série Histórica de Preços de Combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/serie-historica-de-precos-de-combustiveis>>. Acesso em: 12 mar. 2024.

AVIN, U. P. (2007). **Using scenarios to make urban plans**. In L. D. Hopkins & M. Zapata (Eds.), *Engaging our futures: Tools for effective planning practices*. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.

BAEK, K., Park, J.-T., & Kwak, K. (2022). **Systematic review and meta-analysis of cancer risks in relation to environmental waste incinerator emissions**: a meta-analysis of case-control and cohort studies. *Epidemiol Health*, 44, e2022070. Disponível em: <<https://doi.org/10.4178/epih.e2022070>>. Acesso em: 07 jun. 2024.

BAYER, N. M., Uranga, P. R. R., & Fochezatto, A. (2022). **A curva ambiental de Kuznets na produção de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros, 2011-2015.** *Economia e Sociedade*, 31(1), 129-142.

BOARDMAN, Anthony, E.; GREENBERG, David H.; VINING, Aidan R.; WEIMER, David L. **Cost-benefit analysis: Concepts and practice.** 5th Edition, Cambridge University Press, 2018.

BONT, J. de, Jaganathan, S., Dahlquist, M., Persson, Å., Stafoggia, M., & Ljungman, P. (2022). **Ambient air pollution and cardiovascular diseases: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses.** *Journal of Internal Medicine*, 291(6), 779-800. doi:10.1111/joim.13467.

BRASIL. **Lei Federal nº11.445 de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. *Diário Oficial da União: Brasília, DF, 5 jan. 2007.*

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União: Brasília, DF, 3 ago. 2010.*

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. *Diário Oficial da União: Brasília, DF, 16 jul. 2020.*

BRASIL. 2022. **Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura (Guia ACB).** Ministério da Economia, BRASIL. Versão 3. Brasília-DF.

BRASIL; IPEA. 2022. **Catálogo de Parâmetros - Anexo do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura.** Ministério da Economia, BRASIL & Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Versão 1. Brasília-DF.

BRASIL; GIZ. 2022. **Riscos Climáticos - Anexo do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura**. Ministério da Economia, BRASIL & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), com apoio técnico de Kralingen Consultoria. Versão 1. Brasília-DF.

BRASIL. 2022. **Estruturação de propostas de investimento em infraestrutura: Modelo de cinco dimensões**. Ministério da Economia, BRASIL. Brasília-DF.

BUARQUE, S. C. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. IPEA, texto para discussão nº 939, 2003, Brasília, DF.

BW. Biosphere World. **Recuperação energética dos resíduos hospitalares**. Publicado em 19 mai. 2020. Disponível em <https://movimentobw.org.br/noticias/exibir/recuperacao-energetica-dos-residuos-hospitalares#:~:text=Já%20a%20gaseificação%20é%20uma,com%20quantidades%20menores%20de%20oxigênio.>>. Acesso em: 30 abr. 2024.

CANTINI, A., LEONI, L., FERRARO, S., DE CARLO, F., MARTINI, C., MARTINI, F., & SALVIO, M. (2022). **Technological Energy Efficiency Improvements in Glass-Production Industries and Their Future Perspectives in Italy**. Processes, 10(12), 2653. Zier, M., Stenzel, P., Kotzur, L., & Stolten, D. (2021). A review of decarbonization options for the glass industry. Energy Conversion and Management: X, 10, 100083.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. Paz e Terra, São Paulo, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de Produção**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

CONSEMA. **Deliberação Normativa CONSEMA nº 01/2024, de 08 de fevereiro de 2024**. Fixa tipologia para o licenciamento ambiental municipal de empreendimentos e atividades que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, nos termos do Art. 9º, inciso XIV, alínea "a", da Lei Complementar Federal nº 140/2011. Diário Oficial do Estado de São Paulo: São Paulo, SP, 8 fev. 2024.

CARBOGÁS ENERGIA. **Solução em destinação final de resíduos urbanos e industriais**. 2024. Apresentação virtual.

CEMPRE. **Pesquisa Ciclosoft 2023 – Panorama da coleta seletiva no Brasil**. Disponível em : <<https://ciclosoft.cempre.org.br/resumo-executivo>>. Acesso em: 05 fev. 2024.

CETESB. **Decisão de Diretoria nº 051/2024/P, de 22 de julho de 2024**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/DD-051-2024-A-Procedimentos-para-demonstracao-Logistica-Reversa.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2024.

CHERMACK, T. J. (2005). **Studying scenario planning**: Theory, research suggestions and hypotheses. Technological Forecasting and Social Change, N. 72(1), pp. 59-73.

CONISUD. **CONISUD em reunião com a SEMIL e CETESB – usinas de RCC.** Disponível em: <<https://www.conisud.sp.gov.br/noticias/item/616-conisud-em-reuniao-com-a-semil-e-cetesb-usinas-de-rcc>>. Acesso em: set. 2023.

DEFRA (2023). **Air Quality damage cost update for 2023.** UK: Ricardo Energy and Environment for UK Department of Environment, Food and Rural Affairs.

DIAS, D. M., Martinez, C. B., Barros, R. T. V., & Libânio, M. (2012). **Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/esa/a/VnBTnH8XWYVzFbhd3CsBZYB/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 05 jun. 2024.

DUARTE, Pedro Alves. **Potencialidades e desafios dos consórcios intermunicipais de resíduos sólidos (2023).** Disponível em:

<[https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12176/1/BRUA\\_29\\_Artigo\\_6\\_potencialidades\\_e\\_desafios\\_dos\\_consorcios\\_intermunicipais.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12176/1/BRUA_29_Artigo_6_potencialidades_e_desafios_dos_consorcios_intermunicipais.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2024.

EMBRAPA FLORESTAS. **Perguntas e Respostas sobre o Cultivo de Eucalipto - 2019.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

EPA - Environmental Protection Agency of the United States of America. (2020). **Waste Reduction Model (WARM) Tool User's Guide.** Versão 15, novembro de 2020.

EPA - Environmental Protection Agency of the United States of America. (2021). **Estimating PM2.5- and Ozone-Attributable Health Benefits.** Technical Support Document (TSD) for the Final Revised Cross-State Air Pollution Rule Update for the 2008 Ozone Season NAAQS. Office of Air and Radiation, Research Triangle Park, North Carolina.

EPA - Environmental Protection Agency of the United States of America. (2023). **EPA Report on the Social Cost of Greenhouse Gases:** Estimates Incorporating Recent Scientific Advances. National Center for Environmental Economics, Office of Policy, Climate Change Division, Office of Air and Radiation.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Energia PDE 2031 e cadernos.** Rio de Janeiro, 2022.

FADE/UFPE. FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil Europa, Estados Unidos e Japão.** Pernambuco, 2014. Disponível em:

<http://protegeer.gov.br/biblioteca/publicacoes/gestao-integrada-de-rsu/50-analise-das-diversas-tecnologias-de-tratamento-e-disposicao-final-de-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-europa-estados-unidos-e-japao>. Acesso em: 20 mar. 2024.

FARINHA, M. J. U. S., Bernardo, L. V. M., Soares Filho, A., Berezuk, A. G., da Silva, L. F., & Ruviaro, C. F. (2019). **Opportunity cost of a private reserve of natural heritage; Cerrado biome–Brazil.** Land Use Policy, 81, 49-57.

FAUSTINI, A., Rapp, R., & Forastiere, F. (2014). **Nitrogen dioxide and mortality**: review and meta-analysis of long-term studies. *European Respiratory Journal*, 44(3), 744-756. DOI: 10.1183/09031936.00114713.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento. Gerência de Energia e Mudanças Climáticas. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: Guia de orientações. Para governos municipais de Minas Gerais (2012)**. Disponível em <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/Cibele\\_mally.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/Cibele_mally.pdf)>. Acesso em: 8 mar. 2024.

FEITOSA, Andréia Costa. **Regulação por exposição (sunshine regulation) no setor do saneamento básico**: a experiência da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae/MG). 2022. 108 f. Dissertação (Mestrado em Direito Econômico e Desenvolvimento). – Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa, Brasília, 2022.

FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. (2023). **Índice FIPE-Zap de Preços de Imóveis**. São Paulo, SP: FIPE. Acessado em 21 de abr. de 2024.

FIPE. **Situação Econômica e Investimentos das Maiores Empresas Brasileiras**. Centro de Estudos em Mercado de Capitais da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas - CEMEC 04/2020.

FLACH, R., Abrahão, G., Bryant, B., Scarabello, M., Soterroni, A. C., Ramos, F. M., & Cohn, A. S. (2021). **Conserving the Cerrado and Amazon biomes of Brazil protects the soy economy from damaging warming**. *World Development*, 146, 105582.

FLORIO, M., Morretta, V., Willak, W. 2018. **Cost-Benefit Analysis and European Union Cohesion Policy**: Economic Versus Financial Returns in Investment Project Appraisal. *J. Benefit Cost Anal.* 2018; 9(1):147–180.

FUNDAÇÃO SEADE. **A população regional paulista**: uma perspectiva histórica e projeções demográficas até 2050. *SP Demográfico*, São Paulo, ano 21, n. 1, dez. 2021.

FUNDAÇÃO SEADE. **SEADE População**. 2024. Disponível em: <<https://populacao.seade.gov.br/>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

GIEGRICH, J. (2021). **Manual da Calculadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU para o Brasil** – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Cooperação Técnica Brasil–Alemanha. Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento.

GIZ. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. (2021). **Manual da Ferramenta de Rotas e Custos**: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos. Autores: Alaim Silva de Paula, Geraldo Antônio Reichert. Junho de 2021.

GROSSMAN, G. M.; Krueger, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. Cambridge, MA: 1991.

- HE, R. *et al.* **Global knowledge base for municipal solid waste management: Framework development and application in waste generation prediction.** Journal of Cleaner Production, v. 351, p. 134501, 2022.
- HEIDJEN, K. V. Scenarios: **The art of strategic conversation.** West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- HITE, D., Chern, W., Hitzhusen, F., & Randall, A. (2001). **Property-Value Impacts of an Environmental Disamenity: The Case of Landfills.** Journal of Real Estate Finance and Economics, 22(2/3), 185-202.
- HODGKINSON, I., Maletz, R., Simon, F.-G., & Dornack, C. (2022). **Mini-review of waste-to-energy related air pollution and their limit value regulations in an international comparison.** Waste Management & Research, 40(7), 849-858. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X211060607>>. Acesso em: 07 jun. 2024.
- HUANGFU, P., & Atkinson, R. (2020). **Long-term exposure to NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis.** Environment International, 144, 105998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- IBGE. **Censo 1991.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/25089-censo-1991-6.html?edicao=25090/>>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- IBGE. **Censo 2000.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/administracao-publica-e-participacao-politica/9663-censo-demografico-2000.html>>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- IBGE. **Censo 2010.** Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- IBGE. **Censo 2010: Glossário.** Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/glossario.html>>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- IBGE. **Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade simples: 2010-2060, Revisão 2018, atualizado em 09/12/2020.** Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica.
- IBGE. **Censo 2022.** Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 27 set. 2023.
- IBGE. **Contas Econômicas Ambientais da Terra: Contabilidade Física.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- IBGE; ANA. **Contas Econômicas Ambientais da Água: Brasil 2018-2020.** Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- ICHINOSE, D.; Yamamoto, M.; Yoshida, Y. **The decoupling of affluence and waste discharge under spatial correlation: do richer communities discharge more waste?** GRIPS Policy Research Center, v. 20, n. 2, p. 1-28, 2011.

- INFRA S.A. 2022. **Manual de Priorização de Ações e Avaliação Socioeconômica para Apoio ao Planejamento de Sistemas e Infraestruturas de Transportes**. Infra S.A., Ministério da Economia, Ministério da Infraestrutura, BRASIL. Versão 1, Brasília-DF.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos** - Relatório de Pesquisa. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. Brasília, 2010.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ipea, 2010.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Preço do Carbono para Projetos de Investimentos de Infraestrutura no Brasil**. Nota Técnica nº 102. DISET - IPEA, Setembro de 2022.
- IZQUIERDO-HORNA, L., Kahhat, R., & Vázquez-Rowe, I. (2022). **Reviewing the influence of sociocultural, environmental and economic variables to forecast municipal solid waste (MSW) generation**. Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550922002135>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- KINNAMAN, Thomas C., 2006. **Examining the justification for residential recycling**. The Journal of Economic Perspectives 20 (4), 219–232.
- KLOSTERMAN, R. E. (2013). **Lessons Learned About Planning**. Journal of the American Planning Association. V. 79, pp 161-169.
- LI, Q., Faramarzi, A., Zhang, S., Wang, Y., Hu, X., & Gholizadeh, M. (2020). **Progress in catalytic pyrolysis of municipal solid waste**. Energy Conversion and Management, 226, 113525. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113525>>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- LITTLE, C. C., Barlow, J., Alsen, M., & van Gerwen, M. (2022). **Association between polychlorinated biphenyl exposure and thyroid hormones: a systematic review and meta-analysis**. Journal of Environmental Science and Health, Part C: Toxicology and Carcinogenesis, 40(3-4), 248-267. DOI: 10.1080/26896583.2022.2149213.
- MARTINEZ-SANCHEZ, V., Levis, J. W., Damgaard, A., DeCarolis, J. F., Barlaz, M. A., & Astrup, T. F. (2017). **Evaluation of Externality Costs in Life-Cycle Optimization of Municipal Solid Waste Management Systems**. Environmental Science & Technology. DOI: 10.1021/acs.est.6b06125.
- MAZZANTI, M.; Montini, A.; Zoboli, R. **Municipal waste generation and socioeconomic drivers: evidence from comparing Northern and Southern Italy**. The Journal of Environment & Development, v. 17, n. 1, p. 51-69, 2008.
- MCKAY, G. (2002). **Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration**: Review. Chemical Engineering Journal 86(3): 343–368.

MERCANTIL EQUIPAMENTOS. **Memorial descritivo Mercantil Equipamentos**. Modelo: BIM100900. Arquivo interno disponibilizado.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI). (2020). **Taxa social de desconto para avaliação de investimentos em infraestrutura: atualização pós consulta pública**. Nota Técnica SEI nº 19911/2020/ME, Ministério da Economia, Brasil.

MMA. **Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos**. 2011.

MOREL, B. L. G.; Triaca, L. M.; Souza, O. T. **Desenvolvimento econômico e a disposição de resíduos sólidos no Brasil**: um teste da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (CAK) para os municípios brasileiros. Revista Espacios, v. 37, n. 17, p. 22, 2016.

NICOLAU, Maiara. **Estudo de viabilidade econômica com concepção de projeto de usina de reciclagem de RCC classe A para municípios de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. (2024). **Emissions Map | SEEG - System Gas Emissions Estimation**. SEEG. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br>>. Acesso em: 25 abr. 2024.

O ECO. **Excesso de estoques e preferência por celulose virgem geram crise na reciclagem de papéis**. Disponível em: <<https://oeco.org.br/reportagens/excesso-de-estoques-e-preferencia-por-celulose-virgem-geram-crise-na-reciclagem-de-papeis/>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

OECD. (n.d.). **Purchasing power parities (PPP)**. OECD Data. Disponível em: <<https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm>>. Acesso em: 11 abr. 2024.

OLIVEIRA, F. N. S., Lima, H. J. M., & Cajazeira, J. P. (2004). **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 89. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical. ISSN 1677-1915.

ONU. Divisão de População: **World Population Prospects**. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/>>. Acesso em: dez. de 2023.

ORELLANO, P., Reynoso, J., Quaranta, N. (2021). **Short-term exposure to sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) and all-cause and respiratory mortality**: A systematic review and meta-analysis. Environment International, 150, 106434. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434>>. Acesso em: 06 jun. 2024.

PEZCO ECONOMICS, RPG & REINFRA. **Metodologia para Modelagem de Projetos de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos em Arranjos Regionais**. Relatório Final, São Paulo e Fortaleza, 10 de novembro de 2022.

PIMP MY CARROÇA. **Pesquisa Cataki 2022: Contexto de catadores autônomos e impacto do Cataki em São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte**. Disponível em:

<<https://pimpmycarroca.com/pesquisa-cataki-traz-dados-ineditos-sobre-catadores-e-catadoras-autonomos/>>. Acesso em: 5 fev. 2024.

PISANI JUNIOR, R., Alves de Castro, M. C. A., & Álvarez da Costa, A. (2018). **Desenvolvimento de correlação para estimativa da taxa de geração per capita de resíduos sólidos urbanos no Estado de São Paulo:** influências da população, renda per capita e consumo de energia elétrica. Artigo Técnico. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/hqd33tnHz4XR7dJnYqctWCB/abstract/?lang=pt>> Acesso em: 10 jun. 2024.

PLANARES. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, 2022. Disponível em: <<https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2024.

POPE, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). **Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution.** JAMA, 287(9), 1132-1141.

RABL, A; Spadaro, JV; Zoughaib, A. (2008). **Environmental impacts and costs of solid waste:** A comparison of landfill and incineration. Waste Management and Research 26: 147-162.

RAHMAN, M. M., Bhuiyan, M. S. H., Rouf, M. A., Sarker, R. R., & Rashid, M. H. (2020). **Quality Assessment of Municipal Solid Waste Compost.** Acta Chemica Malaysia, 4(1), 33-39. DOI: 10.2478/acmy-2020-0006.

RIBEIRO-BROOMHEAD, J., & Tangri, N. (2021). **Zero Waste and Economic Recovery:** The Job Creation Potential of Zero Waste Solutions. Global Alliance for Incinerator Alternatives. Disponível em: <[www.doi.org/10.46556/GFWE6885](http://www.doi.org/10.46556/GFWE6885)>. Acesso em: 11 jun. 2024.

SANTOS, M. **A natureza do espaço.** Hucitec, São Paulo, 2ª. edição, 1997.

SANTOS, M. L. (2021). **O setor dos resíduos em Portugal:** o impacto da Reforma da Fiscalidade Verde e da regulação sobre os consumidores finais. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Economia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10216/136556>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Metropolitano. **Cenários para a macrometrópole paulista 2040.** São Paulo: SDM, 2012. São Paulo (Estado). Secretaria de Desenvolvimento Metropolitano. Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013-2040: carteira de projetos. São Paulo: SDM, 2014.

SELDEN, T. M.; Song, D. **Environmental quality and development:** is there a Kuznets curve for air pollution emissions? Journal of Environmental Economics and Management, v. 27, n. 2, p. 147-162, 1994.

SEMASA. **Um olhar integrado sobre catadores de materiais recicláveis de Santo André.** Disponível em: <[https://www.semasa.sp.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/Livro\\_Estudo\\_Catadores.pdf](https://www.semasa.sp.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/Livro_Estudo_Catadores.pdf)>. Acesso em: 5 fev. 2024.

SERVIOESTE. **Tratamentos de Resíduos de Serviços de Saúde**. Publicado em 29 mar. 2022. [Site eletrônico]. Disponível em <<https://www.servioeste.com.br/blog/legislacao/tratamentos-de-residuos-de-servicos-de-saude>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

SHARMA, K. D., & Jain, S. (2020). **Municipal solid waste generation, composition, and management: the global scenario**. Social Responsibility Journal. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SRJ-06-2019-0210/full/html>>. Acesso em: 25 mai. 2024.

SHARP, C.H. (1973). **The Theory of Pricing**. In: Transport Economics. Macmillan Studies in Economics. Palgrave Macmillan, London. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-1-349-01218-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-349-01218-3_5)>. Acesso em: 15 mai. 2024.

SILVA, T. N., Freitas, F. S. N., & Candiani, G. (2013). **Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 18(2), 95-104.

SIMÕES, Pedro; PIRES, João Simão; MARQUES, Rui Cunha. **Regulação do serviço de resíduos sólidos em Portugal**. Eng. Sanit. Ambient., v. 18, n. 2, p. 149-157, abr./jun. 2013.

SINDUSCON-SP. (2023). **Custo Unitário Básico (CUB) da Construção Civil**. São Paulo, SP: SINDUSCON-SP. Acessado em 21 de abr. de 2024.

THA, D., SEAGER, D. (2013). **Análise Estendida de Custo-Benefício para Adoção de Vazão Ecológica em Moçambique**. Planejamento e Políticas Públicas - PPP, no 40: 9-43.

UK - United Kingdom. (2023). **Air quality appraisal: damage cost guidance**. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/assess-the-impact-of-air-quality/air-quality-appraisal-damage-cost-guidance>>. Acesso em: 21 de abr. de 2024.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A., Ruano, M. A., & Ormeño-Candelario, V. (2021). **Determinants of municipal solid waste: a global analysis by countries' income level**. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-15167-9>>. Acesso em: 28 mai. 2024.

WU, F., Niu, D., Dai, S., & Wu, B. (2020). **New insights into regional differences of the predictions of municipal solid waste generation rates using artificial neural networks**. Waste Management, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20301756>>. Acesso em: 25 mai. 2024.

## APÊNDICE 1 – RESULTADOS DOS ARRANJOS POR CONSÓRCIOS EXISTENTES

Os resultados completos de cada um dos arranjos intermunicipais propostos sob a lógica orientadora de Consórcios Existentes são apresentados nos Capítulos 1 a 6 deste Apêndice. A análise da gestão de resíduos sólidos urbanos inicia com os cenários prospectivos, e na sequência aborda os resultados das diferentes rotas tecnológicas e seus impactos técnicos, financeiros e socioeconômicos.

São abordados os aspectos quantitativos, os resultados financeiros (Capex, Opex e receitas acessórias), e também os resultados da análise socioeconômica de custo-benefício e seus efeitos ambientais e sociais, incluindo emissões de gases de efeito estufa e benefícios da reciclagem.

## 1. Consórcio CIMBAJU

### 1.1. Cenários Prospectivos

Na cena atual da gestão de RSU do arranjo Consórcio CIMBAJU, seus 4 municípios componentes (Caieiras, Cajamar, Francisco Morato e Franco da Rocha), atualmente, atendem a uma população de 513,97 mil habitantes. A geração atual (ano de 2024) de RSU é de 140,46 mil t/ano, sendo que 132,74 mil t/ano são disponibilizados para a coleta formal. O restante, 7,72 mil t/ano, são materiais recicláveis coletados informalmente pela atuação de, no mínimo, 577 coletores autônomos.

Em contraste com a atuação da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável pelo recolhimento de 0,02% do resíduo gerado, sendo que apenas 13,57 t/ano são assim recicladas. Estima-se que os municípios atuem na coleta seletiva com 0,1 caminhão baú (dada a eficiência média de um caminhão baú coletor de recicláveis, os municípios do CIMBAJU atuam com uma pequena "fração" de um caminhão "inteiro") e contam com o trabalho de 1 triador formal que atua com os proventos da coleta seletiva. Na somatória da atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do arranjo desviam do aterro sanitário o equivalente a 5,51% do que é gerado de RSU.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU, utilizado na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 21 deles. Em complemento, tem-se que o custo atual da coleta deva ser de R\$ 151,06/t, o que representa 37,67% do custo total com a gestão de RSU; o restante sendo custos com o tratamento e a disposição final (R\$ 249,97/t). Somando-se coleta, tratamento e disposição final, portanto, os municípios do arranjo dispendem cerca de R\$ 53,23 milhões/ano, equivalente a R\$ 9,93 *per capita*/mês.

A Tabela 162 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na

taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo Consórcio CIMBAJU.

Tabela 162: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CIMBAJU.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	521,50	134,68	7,83	9,93
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	521,50	137,59	8,00	10,14
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	521,50	128,44	13,41	8,99
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	521,50	131,22	13,70	9,19
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	536,90	138,66	8,07	9,93
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	536,90	141,65	8,24	10,14
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	536,90	132,24	13,81	8,99
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	536,90	135,09	14,11	9,19
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	501,63	129,55	7,54	9,93
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	501,63	132,34	7,70	10,14
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	501,63	123,55	12,90	8,99
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	501,63	126,22	13,18	9,19

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 536,9 (ONU+) a 501,63 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 35,27 mil habitantes. Na

combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 521,5 mil habitantes, com 134,68 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 7,83 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 9,93 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 8 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,11 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 6,97 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores autônomos se mantenha estável, serão necessários 30 a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,41 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 1 caminhão compactador adicional ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 2,79 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,21/hab/mês).

Já a combinação 11 é a que traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, traz a perspectiva de se ter uma redução de 11,13 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 48 a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,65 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 2 caminhões compactadores a menos do que aponta o cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 6,93 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,93/hab/mês).

Ressalta-se que quaisquer dessas combinações são possíveis de ocorrer: o que os cenários apontam são os intervalos plausíveis de variação que geram, como consequência, para alguns dos dados relevantes da gestão de RSU.

Por fim, um resultado importante que pode ser apresentado mesmo antes de se perscrutarem as rotas tecnológicas é dado pelo papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão em consórcio, minimamente, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios partícipes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações dos cenários, apresentadas, para o arranjo Consórcio CIMBAJU, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de R\$ 100/t, utilizado como referência. Simulando-se essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 9,93 para R\$ 9,48/hab/mês (redução de 4,52% sobre o valor do cenário tendencial).

## 1.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CIMBAJU, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 134,68 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 216,12 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 12,97 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 248,98 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 0,13 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 10,19 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 11,47 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CIMBAJU tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 465,1 milhões em VPL, compensados em 2,49% pelo total de R\$ 11,6 milhões em VPL de receitas acessórias. Para facilitar a compreensão do resultado líquido (despesas menos receitas) de R\$ 453,5 milhões em VPL desta RT Contrafactual, pode-se utilizar do conceito de Valor Anual Equivalente (VAE), que é uma medida que converte o valor presente líquido em uma série de pagamentos anuais iguais ao longo da vida útil considerada. No caso deste arranjo, o VAE aponta despesas de R\$ 46,23 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 343,25 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 88,65 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de pífiás 25 t/ano, efetivamente desviando 14 toneladas de recicláveis. Para tanto, estima-se que não haja emprego de caminhões baú e que o trabalho de apenas 1 triador formal dê conta dos proventos da coleta seletiva formal. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 163 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo Consórcio CIMBAJU não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 3 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 163: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 4	-9,40	5,17	3,8
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 2	-9,40	16,92	12,6
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-9,40	49,08	36,4
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 2	-36,34	59,38	44,1
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-9,40	61,89	46,0
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-9,40	94,06	69,8
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 3	-9,40	116,37	86,4
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 26,94 mil t/ano e permite a geração de 5,21 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 9,57 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 4,02. Nota-se que o uso de dispositivos legais RT municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 59,38 mil t/ano, equivalente a 44,09% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 45,96% e 69,84%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,4%, ou seja, 116,37 mil toneladas anuais.

A Tabela 164 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo Consórcio CIMBAJU quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 164: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	5,17	0,00	0,00	-0,04
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	16,92	0,00	0,00	-0,35
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	16,92	16,28	0,00	-2,26
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	16,92	21,50	0,00	-2,87
RT com geração de CDR, sem biodigestão	16,92	0,00	43,69	-3,64
RT com geração de CDR, com biodigestão	16,92	16,28	43,69	-5,55
RT com gaseificação, sem biodigestão	16,92	0,00	0,00	81,40
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 81,4 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para o arranjo.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 9,4 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,84% do total, requerendo para tal a contratação de 300 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 46,15 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 11,21% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 176 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 476 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 28,5% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo Consórcio CIMBAJU se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 144 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,76 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 10 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 35,24 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 3,27 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 82,43 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 50,71 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 53,20, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 13,74.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 11,75 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 5,17 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 0,01 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo incremento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca de 16,92 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,56% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 36,67%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,70% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 45 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 112,9 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 118 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 115,22 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 50,71 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 165,93 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 51,86, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 13,39.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CIMBAJU apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 165 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 165: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-35,24	-3,27	-82,43	-120,95
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-112,90	-3,15	-118,00	-234,05
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-235,20	-2,82	-146,69	-384,71
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-251,71	-12,39	-140,50	-404,59
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-146,16	-2,68	-106,34	-255,19
RT com geração de CDR, com biodigestão	-268,46	-2,35	-135,03	-405,85
RT com gaseificação, sem biodigestão	-408,44	-2,12	-283,01	-693,56
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 165 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 150,66 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 21,14 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 165,93 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo Consórcio CIMBAJU, representa a adição de R\$ 30,34 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 166: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	50,71	-0,05	0,00	50,67
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	165,93	-0,40	0,00	165,54
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	165,93	-2,55	0,00	163,39
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	165,93	-3,23	0,00	162,70
RT com geração de CDR, sem biodigestão	165,93	-4,09	30,34	192,18
RT com geração de CDR, com biodigestão	165,93	-6,24	30,34	190,03
RT com gaseificação, sem biodigestão	165,93	91,61	0,00	257,54
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 166 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 257,54 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 5,1 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 192,18 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 65,36 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE), que é equivalente ao VPL, porém em expressão anual. Ainda, os

custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo Consórcio CIMBAJU.

A Tabela 167 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 63,01 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 167: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-70,29	-7,16	53,20	13,74
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-68,52	-6,98	51,86	13,39
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-221,32	-22,56	167,52	43,26
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-241,90	-24,66	183,09	47,28
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-63,01	-6,42	47,69	12,32
RT com geração de CDR, com biodigestão	-215,81	-22,00	163,35	42,19
RT com gaseificação, sem biodigestão	-436,02	-44,45	330,02	85,23
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada município do arranjo tem de arcar com a diferença de R\$ 12,32 por

ano, ou ainda R\$ 1,03 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 47,69/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices deste documento, que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incurrir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 15,11 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,22% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 13,83% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 168 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão do arranjo Consórcio CIMBAJU.

*Tabela 168: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIMBAJU.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-109,41	-112,90	-115,88
Operação (Opex) da Coleta	7,05	-3,15	-11,88
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-101,41	-118,00	-132,61
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	105,03	115,22	121,18
Receita Recicláveis da Triagem Manual	48,14	50,71	53,34
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-0,94	-0,40	0,18
Resultado Líquido (receitas e despesas)	-51,55	-68,52	-85,67

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Valor Anual Equivalente (VAE)	-5,26	-6,98	-8,73
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	10,48	13,39	16,27
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	41,53	51,86	61,66

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 6,47 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 109,41 a R\$ 115,88 milhões (variação de 5,73% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 11,88 milhões a positivos R\$ 7,05 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 18,93 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 132,61 milhões e negativos R\$ 101,41 milhões. Esse intervalo, de R\$ 31,2 milhões, representa 26,44% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 5,21 milhões (10,27%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 16,15 milhões (14,02%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 17,16 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 85,67 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 9,8/t, ou ainda em um incremento de R\$ 2,87 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 16,96 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos

R\$ 51,55 milhões. Esse cenário promove um aumento de R\$ 10,33/t, ou ainda de R\$ 2,92/hab.ano.

### 1.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das 7 rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CIMBAJU aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 169 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas, respeitando-se as mesmas restrições de escala das tecnologias que se verificou na análise financeira.

Tabela 169: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	174,64	17,80	53,01	2,76
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	648,90	66,15	58,27	4,05
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	546,88	55,75	31,97	2,54
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	540,91	55,14	30,41	2,44

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com geração de CDR, sem biodigestão	684,24	69,75	50,14	3,90
RT com geração de CDR, com biodigestão	599,60	61,12	30,89	2,58
RT com gaseificação, sem biodigestão	310,34	31,64	17,20	1,48
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 4 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,68 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 69,75 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 50,14%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CIMBAJU na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,90 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,65 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 66,15 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 58,27%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 35,34 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,16% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso

demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 66,15 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 17,8 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 53,01%.

Tabela 170: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	90,46	151,00	5,72	2,06
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	295,99	494,06	18,72	6,72
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	295,99	494,06	18,72	6,72
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	295,99	494,06	18,72	6,72
RT com geração de CDR, sem biodigestão	295,99	494,06	18,72	6,72
RT com geração de CDR, com biodigestão	295,99	494,06	18,72	6,72
RT com gaseificação, sem biodigestão	295,99	494,06	18,72	6,72
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 170 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,82 bilhões. Este resultado representa 94,68% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção

(61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 171: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	17,36	0,00	1,19
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	19,97	0,00	3,89
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	19,97	6,76	11,28
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	19,97	8,93	13,65
RT com geração de CDR, sem biodigestão	19,97	0,00	14,23
RT com geração de CDR, com biodigestão	19,97	6,76	21,62
RT com gaseificação, sem biodigestão	19,97	0,00	26,75
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 171 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo Consórcio CIMBAJU, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 19,97 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 8,93 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 26,75 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 14,23 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 172), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 3,36 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 172: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,31	5,95	-11,63
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,94	21,07	-41,19
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1,65	50,93	-99,58
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-2,46	60,14	-117,59
RT com geração de CDR, sem biodigestão	3,36	67,12	-131,23
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,77	113,95	-222,80
RT com gaseificação, sem biodigestão	-11,25	108,57	-212,26
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 172 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 67,12 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 4 municípios do arranjo emitiram 414 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 131,23 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (31,73%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o arranjo Consórcio CIMBAJU, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 235,92 milhões, 59,15% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 40,85% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,09 vezes.

Tabela 173: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-32,91	-2,89	-63,60	-99,40
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-107,30	-2,92	-102,23	-212,45
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-223,67	-2,92	-129,31	-355,90
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-239,33	-11,41	-124,05	-374,79
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-139,56	-2,92	-93,45	-235,92
RT com geração de CDR, com biodigestão	-255,92	-2,92	-120,12	-378,96
RT com gaseificação, sem biodigestão	-392,09	-2,92	-254,16	-649,18
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 7 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 49,44 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 185,98 e R\$ 235,42 milhões, ou seja, 23,27% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 0,9 e 0,79 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 109,89 milhões, ou ainda 12,76% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 0,67 e 0,61 bilhões, intervalo que representa 9,31% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 4,27 no cenário mínimo para 3,84 no cenário máximo. A Tabela 174 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 174: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIMBAJU.*

	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	608,36	648,90	668,80
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-185,98	-212,45	-235,42
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	794,34	861,35	904,22
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	62,02	66,15	68,18
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	56,96%	58,27%	58,45%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	4,27	4,05	3,84

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 7 rotas tecnológicas do arranjo Consórcio CIMBAJU revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades

conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta VSPL$  (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,34 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,39 e R\$ 0,92 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congregam 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta VSPL$  é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta VSPL$  se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 12,29%, a menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 175: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CIMBAJU.

Rota Tecnológica	$\Delta VSPL$ (R\$, milhões)			Chance do $\Delta VSPL$ ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	85,05	163,91	245,92	29,33%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	364,85	623,57	892,61	12,54%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	248,30	507,86	777,23	34,81%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	241,58	498,65	770,82	37,45%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	397,55	655,41	927,91	12,29%
RT com geração de CDR, com biodigestão	296,42	555,25	832,42	32,53%
RT com gaseificação, sem biodigestão	-19,24	241,59	512,12	84,75%
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 2. Consórcio CIOESTE

### 2.1. Cenários Prospectivos

No cenário atual da gestão de RSU do arranjo Consórcio CIOESTE, os 5 municípios integrantes (Carapicuíba, Jandira, Pirapora do Bom Jesus, Santana de Parnaíba e São Roque) atendem uma população de 791,72 mil habitantes. A geração de RSU é de 275,33 mil toneladas anuais, sendo que 260,2 mil t/ano são coletadas formalmente. O restante, 15,14 mil t/ano, é coletado informalmente por cerca de 1.131 catadores autônomos.

Em comparação com a catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 2,36% do resíduo gerado, reciclando 3,58 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 29 caminhões baú e contem com o trabalho de 208 triadores formais na coleta seletiva. Somando a atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do arranjo Consórcio CIOESTE desviam do aterro sanitário cerca de 6,8% do RSU gerado.

Com a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 40 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 158,48/t, representando 36,37% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 277,24/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 113,37 milhões por ano, equivalente a R\$ 13,73 *per capita* por mês.

A Tabela 176 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo Consórcio CIOESTE.

Tabela 176: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CIOESTE.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	795,46	261,38	15,20	13,72
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	795,46	267,03	15,53	14,02
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	795,46	249,28	26,03	12,50
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	795,46	254,66	26,60	12,77
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	818,95	269,10	15,65	13,72
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	818,95	274,91	15,99	14,02
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	818,95	256,64	26,80	12,50
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	818,95	262,17	27,38	12,76
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	765,16	251,42	14,63	13,72
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	765,16	256,86	14,94	14,02
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	765,16	239,78	25,04	12,50
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	765,16	244,95	25,58	12,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 818,95 mil habitantes (ONU+) a 765,16 mil habitantes (ONU-), um intervalo de 53,79 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 795,46 mil habitantes, com 261,38 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 15,2 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em termos *per capita*, é de R\$ 13,72 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 5 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,07 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 13,54 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 59 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,79 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 2 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 5,87 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,29/hab/mês.

A combinação 11, por sua vez, apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 21,6 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 94 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 1,26 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 3 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 14,09 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,22/hab/mês.

É importante destacar que todas essas combinações são possíveis de ocorrer. Os cenários apresentados indicam os intervalos plausíveis de variação, que resultam em diferentes impactos para alguns dos dados relevantes na gestão de RSU.

Finalmente, um resultado significativo que pode ser apresentado antes mesmo de explorar as rotas tecnológicas é o papel da maior eficiência na gestão consorciada de RSU. A gestão em consórcios, no mínimo, aumenta a quantidade de RSU que cada município participante traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações dos cenários, apresentadas, para o arranjo Consórcio CIOESTE, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de R\$ 100/t, utilizado como referência. Com essa redução de preço simulada, o custo total da gestão cai de R\$ 13,72 para R\$ 13,13/hab/mês (redução de 4,29% sobre o valor do cenário tendencial).

## 2.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CIOESTE, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 261,38 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 585,99 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 17,38 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 541,12 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 35,15 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 19,75 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 22,23 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CIOESTE tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1.127,11 milhões em VPL, compensados em 5,09% pelo total de R\$ 57,38 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 109,05 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 417,2 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 137,09 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 6,52 mil t/ano, efetivamente desviando 3,58 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 29 caminhões baú e com o trabalho de 208 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 177 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo Consórcio CIOESTE apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

*Tabela 177: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-11,78	6,48	2,5

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-11,78	29,28	11,2
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 2	-11,78	91,70	35,1
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 3	-64,05	111,69	42,7
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 4	-11,78	116,56	44,6
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 2	-11,78	178,98	68,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-11,78	222,28	85,0
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 1	-11,78	159,86	61,2
RT com incineração, com biodigestão	Grau 1	-11,78	222,28	85,0

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 52,28 mil t/ano e permite a geração de 10,12 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 56,57 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 10,64. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 111,69 mil t/ano, equivalente a 42,7% da massa total da rota. A tecnologia de

produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 44,6% e 68,5%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85%, ou seja, 222,28 mil toneladas anuais.

A Tabela 178 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo Consórcio CIOESTE quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 178: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,48	0,00	0,00	-0,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,28	0,00	0,00	-0,65
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	29,28	31,60	0,00	-4,36
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	29,28	41,72	0,00	-5,55
RT com geração de CDR, sem biodigestão	29,28	0,00	84,79	-7,03
RT com geração de CDR, com biodigestão	29,28	31,60	84,79	-10,74
RT com gaseificação, sem biodigestão	29,28	0,00	0,00	158,01
RT com incineração, sem biodigestão	29,28	0,00	0,00	77,46
RT com incineração, com biodigestão	29,28	31,60	0,00	73,75

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por

exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 158,01 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 73,75 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 11,78 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,48% do total, requerendo para tal a contratação de 376 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 89,56 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,23% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 220 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 596 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 56,15% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo Consórcio CIOESTE se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 181 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,28 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 13 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 56,9 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 4,2 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 99,66 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 63,53 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 37,94, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 12,47.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 22,8 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 6,48 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 3,58 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela

implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 29,28 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,2% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 32,7%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,70% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 100 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 173,41 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 105,04 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 223,61 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 63,53 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 287,13 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 1,59, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 0,52 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CIOESTE apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 179 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 179: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-56,90	-4,20	-99,66	-160,76
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-173,41	-3,88	-105,04	-282,33
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-366,64	-3,01	-135,15	-504,79
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-400,22	-59,58	-126,67	-586,47
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-250,64	-2,66	-78,22	-331,52
RT com geração de CDR, com biodigestão	-443,87	-1,79	-108,34	-553,99
RT com gaseificação, sem biodigestão	-616,03	-1,18	-257,71	-874,92
RT com incineração, sem biodigestão	-1.127,78	-2,05	-412,86	-1.542,69
RT com incineração, com biodigestão	-1.321,00	-1,18	-442,97	-1.765,16

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 179 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 222,47 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo

em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 49,19 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 287,13 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo Consórcio CIOESTE, representa a adição de R\$ 58,89 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 180: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	63,53	-0,06	0,00	63,47
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	287,13	-0,74	0,00	286,40
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	287,13	-4,91	0,00	282,23
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	287,13	-6,25	0,00	280,89
RT com geração de CDR, sem biodigestão	287,13	-7,91	58,89	338,11
RT com geração de CDR, com biodigestão	287,13	-12,08	58,89	333,94
RT com gaseificação, sem biodigestão	287,13	177,83	0,00	464,96
RT com incineração, sem biodigestão	287,13	87,18	0,00	374,31
RT com incineração, com biodigestão	287,13	83,00	0,00	370,14

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 180 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 464,96 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 7,3 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 374,31 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 90,65 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as

diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo Consórcio CIOESTE.

A Tabela 181 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 6,59 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 181: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-97,29	-9,92	37,94	12,47
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	4,07	0,42	-1,59	-0,52
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-222,57	-22,69	86,80	28,52
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-305,58	-31,15	119,18	39,16
RT com geração de CDR, sem biodigestão	6,59	0,67	-2,57	-0,84
RT com geração de CDR, com biodigestão	-220,05	-22,43	85,82	28,20
RT com gaseificação, sem biodigestão	-409,96	-41,79	159,89	52,54
RT com incineração, sem biodigestão	-1.168,38	-119,10	455,67	149,73
RT com incineração, com biodigestão	-1.395,02	-142,21	544,07	178,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a

opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 0,84 por ano por habitante (R\$ 2,57/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 29,34 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,22% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,51% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 182 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIOESTE.

*Tabela 182: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIOESTE.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-166,18	-173,41	-179,59
Operação (Opex) da Coleta	16,60	-3,88	-21,43
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-72,60	-105,04	-133,65
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	203,84	223,61	235,19
Receita Recicláveis da Triagem Manual	58,53	63,53	68,64
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-1,80	-0,74	0,38
Resultado Líquido (receitas e despesas)	38,38	4,07	-30,47
Valor Anual Equivalente (VAE)	3,91	0,42	-3,11
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-5,11	-0,52	3,79
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-15,93	-1,59	11,30

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 13,41 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 166,18 a R\$ 179,59 milhões (variação de 7,73% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 21,43 milhões a positivos R\$ 16,6 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 38,03 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 133,65 milhões e negativos R\$ 72,6 milhões. Esse intervalo, de R\$ 61,04 milhões, representa 58,12% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 10,11 milhões (15,91%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 31,35 milhões (14,02%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 34,54 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 30,47 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 12,89/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,31 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 34,31 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 38,38 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 14,34/t, ou ainda R\$ 4,59/hab.ano.

### 2.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CIOESTE aponta resultados promissores: 8 das 9 RT apresentam  $\Delta$ VSPL positivo, ou seja, para estas, a totalidade dos benefícios supera

a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 8 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das 8 RT positivas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 183 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 183: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	209,55	21,36	43,50	2,57
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.225,66	124,94	67,16	5,75
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.094,15	111,54	37,44	3,33
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.044,54	106,48	34,31	2,92
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.286,58	131,15	53,29	5,13
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.188,58	121,16	34,54	3,27
RT com gaseificação, sem biodigestão	849,85	86,63	23,22	2,03
RT com incineração, sem biodigestão	59,29	6,04	9,18	1,04
RT com incineração, com biodigestão	-72,72	-7,41	7,77	0,96

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 89% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a

sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 5 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 1,29 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 131,15 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 53,29%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CIOESTE na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,13 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 1,23 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 124,94 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 67,16%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 60,91 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,73% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 124,94 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 21,36 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 43,5%.

Tabela 184: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	113,32	189,15	7,17	2,57
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com geração de CDR, sem biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com geração de CDR, com biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com gaseificação, sem biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com incineração, sem biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64
RT com incineração, com biodigestão	512,18	854,93	32,39	11,64

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 184 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 1,41 bilhões. Este resultado representa 95,1% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção

(61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 185: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	21,76	0,00	1,49
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	27,55	0,00	6,73
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	27,55	13,12	21,08
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	27,55	17,32	25,68
RT com geração de CDR, sem biodigestão	27,55	0,00	26,80
RT com geração de CDR, com biodigestão	27,55	13,12	41,15
RT com gaseificação, sem biodigestão	27,55	0,00	51,10
RT com incineração, sem biodigestão	27,55	0,00	36,75
RT com incineração, com biodigestão	27,55	13,12	51,10

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 185 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo Consórcio CIOESTE, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 27,55 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 17,32 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 51,1 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 26,8 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 186), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 6,32 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 186: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,38	7,45	-14,57
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1,61	36,80	-71,94
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-3,41	94,76	-185,25
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-4,99	112,64	-220,20
RT com geração de CDR, sem biodigestão	6,32	126,18	-246,68
RT com geração de CDR, com biodigestão	1,29	217,07	-424,40
RT com gaseificação, sem biodigestão	-22,05	206,64	-403,94
RT com incineração, sem biodigestão	-68,38	126,31	-246,89
RT com incineração, com biodigestão	-73,40	184,27	-360,20

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 186 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 126,18 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 5 municípios do arranjo emitiram 619 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 246,68 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (39,88%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o arranjo Consórcio CIOESTE, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 311,41 milhões, 76,95% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 23,05% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,75 vezes.

Tabela 187: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-53,13	-3,73	-76,89	-133,74
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-164,74	-3,76	-89,67	-258,17
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-348,59	-3,76	-117,74	-470,09
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-380,44	-53,63	-110,73	-544,79
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-239,64	-3,76	-68,01	-311,41
RT com geração de CDR, com biodigestão	-423,48	-3,76	-95,50	-522,75
RT com gaseificação, sem biodigestão	-591,28	-3,76	-229,49	-824,54
RT com incineração, sem biodigestão	-1.096,32	-3,76	-374,00	-1.474,09
RT com incineração, com biodigestão	-1.280,19	-3,76	-402,56	-1.686,51

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 98,01 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 205,72 e R\$ 303,74 milhões, ou seja, 37,97% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 1,57 e 1,35 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 212,29 milhões, ou ainda 14,31% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 1,26 e 1,15 bilhões, intervalo que representa 9,32% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 6,58 no cenário mínimo para 5,16 no cenário máximo. A Tabela 188 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

Tabela 188: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CIOESTE.

	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	1.148,77	1.225,66	1.263,05
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-205,72	-258,17	-303,74
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	1.354,50	1.483,83	1.566,79
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	117,10	124,94	128,75
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	66,14%	67,16%	66,94%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	6,58	5,75	5,16

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo Consórcio CIOESTE revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades

conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,16 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,79 e R\$ 1,7 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 6,02%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 189: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CIOESTE.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	95,49	191,66	293,75	34,5%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	734,20	1.176,40	1.642,38	5,7%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	582,33	1.024,16	1.494,25	19,4%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	525,18	966,29	1.438,15	26,0%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	787,95	1.228,76	1.703,05	6,0%
RT com geração de CDR, com biodigestão	659,89	1.112,57	1.596,20	18,3%
RT com gaseificação, sem biodigestão	295,64	748,85	1.229,73	54,4%
RT com incineração, sem biodigestão	-552,29	-98,15	375,69	99,2%

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT com incineração, com biodigestão	-717,48	-248,76	230,04	99,8%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 3. Consórcio CONISUD

#### 3.1. Cenários Prospectivos

Na gestão de RSU do arranjo Consórcio CONISUD, os 6 municípios (Cotia, Embu-Guaçu, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista) atualmente atendem uma população de 728,41 mil habitantes. A geração anual de RSU é de 265,57 mil toneladas, com 250,97 mil t/ano sendo coletadas formalmente. Os restantes 14,6 mil t/ano são recicláveis coletados informalmente por, no mínimo, 1.091 catadores autônomos.

Comparado à catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 1,73% do resíduo gerado, reciclando apenas 2,52 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 20 caminhões baú e empreguem 146 triadores formais na coleta seletiva. No total, a coleta seletiva formal e informal nos municípios do arranjo Consórcio CONISUD desvia do aterro sanitário cerca de 6,45% do RSU gerado.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU, utilizado na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 38 deles. Em complemento, tem-se que o custo atual da coleta deva ser de R\$ 157,18/t, o que representa 36,78% do custo total com a gestão de RSU; o restante sendo custos com o tratamento e a disposição final (R\$ 270,16/t). Somando-se coleta, tratamento e disposição final, portanto, os municípios do arranjo dispendem cerca de R\$ 107,25 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,11 *per capita* por mês.

A Tabela 190 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo Consórcio CONISUD.

Tabela 190: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CONISUD.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	743,38	256,13	14,90	14,11
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	743,38	261,65	15,22	14,41
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	743,38	244,26	25,51	12,83
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	743,38	249,55	26,06	13,10
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	765,33	263,69	15,34	14,11
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	765,33	269,37	15,67	14,41
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	765,33	251,48	26,26	12,82
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	765,33	256,91	26,83	13,10
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	715,06	246,37	14,33	14,11
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	715,06	251,68	14,64	14,42
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	715,06	234,96	24,54	12,83
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	715,06	240,04	25,07	13,10

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas indicam uma variação de 765,33 mil habitantes (ONU+) a 715,06 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 50,27 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 743,38 mil habitantes, com 256,13 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 14,9 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em termos *per capita*, é de R\$ 14,11 hab/mês. Estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 22 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,3 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário serve como linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 13,24 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores autônomos se mantenha estável, serão necessários 58 a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,77 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 2 caminhões compactadores adicionais ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 5,63 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,3/hab/mês).

A combinação 11 é a que traz a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 21,17 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 92 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 1,23 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 3 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 13,74 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,28/hab/mês.

Salienta-se que qualquer uma dessas combinações é possível. Os cenários apontam os intervalos plausíveis de variação, resultando em diferentes impactos para alguns dos dados cruciais na gestão de RSU.

Por último, um resultado relevante que pode ser apresentado antes de se analisar as rotas tecnológicas é a maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão em consórcios, pelo menos, eleva a quantidade de RSU que cada município participante traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários, apresentadas, para o arranjo Consórcio CONISUD, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de R\$ 100/t, utilizado como referência. Com essa redução de preço simulada, o custo total da gestão cai de R\$ 14,11 para R\$ 13,58/hab/mês (redução de 3,74% sobre o valor do cenário tendencial).

### **3.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira**

#### **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CONISUD, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 256,13 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 843,08 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 25,24 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 514,9 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 24,81 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 19,36 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 21,79 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CONISUD tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1357,98 milhões em VPL, compensados em 3,43% pelo total de R\$ 46,6 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 133,68 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 521,92 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 179,83 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 4,6 mil t/ano, efetivamente desviando 2,53 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 20 caminhões baú e com o trabalho de 147 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 191 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo Consórcio CONISUD apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 191: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-13,33	7,33	2,9
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-13,33	29,68	11,6
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 2	-13,33	90,84	35,5
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 3	-64,56	110,43	43,1
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 4	-13,33	115,20	45,0
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 2	-13,33	176,37	68,9
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-13,33	218,80	85,4
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 1	-13,33	157,63	61,5
RT com incineração, com biodigestão	Grau 1	-13,33	218,80	85,4

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 51,23 mil t/ano e permite a geração de 9,92 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 43,67 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 9,39. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 110,43 mil t/ano, equivalente a 43,1% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 45% e 68,9%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,4%, ou seja, 218,8 mil toneladas anuais.

A Tabela 192 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo Consórcio CONISUD quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 192: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	7,33	0,00	0,00	-0,06
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,68	0,00	0,00	-0,65
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	29,68	30,97	0,00	-4,28
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	29,68	40,88	0,00	-5,45
RT com geração de CDR, sem biodigestão	29,68	0,00	83,08	-6,90
RT com geração de CDR, com biodigestão	29,68	30,97	83,08	-10,53
RT com gaseificação, sem biodigestão	29,68	0,00	0,00	154,83
RT com incineração, sem biodigestão	29,68	0,00	0,00	75,90
RT com incineração, com biodigestão	29,68	30,97	0,00	72,27

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 154,83 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 72,27 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 13,33 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,86% do total, requerendo para tal a contratação de 425 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 87,76 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 8,35% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 249 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 674 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 79,05% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo Consórcio CONISUD se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 205 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,76 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 15 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 55,92 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 4,4 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 113,13 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 71,89 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 40,45, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 13,94.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 22,35 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 7,33 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 2,53 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 29,68 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,59% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,82%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 95 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 171,01 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 120,17 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 219,12 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 71,89 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 291,01 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 1,93, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 0,66.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CONISUD apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 193 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 193: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CONISUD.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-55,92	-4,40	-113,13	-173,46
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-171,01	-3,95	-120,17	-295,13
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-361,17	-2,71	-150,49	-514,36
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-392,99	-46,38	-142,19	-581,56
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-247,20	-2,21	-94,27	-343,69
RT com geração de CDR, com biodigestão	-437,36	-0,97	-124,59	-562,92
RT com gaseificação, sem biodigestão	-605,58	-0,11	-273,35	-879,04
RT com incineração, sem biodigestão	-1.116,55	-1,35	-425,59	-1.543,50
RT com incineração, com biodigestão	-1.306,71	-0,11	-455,91	-1.762,73

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 193 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 219,24 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 48,56 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 291,01 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo Consórcio CONISUD, representa a adição de R\$ 57,71 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 194: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	71,89	-0,07	0,00	71,83
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	291,01	-0,73	0,00	290,28
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	291,01	-4,82	0,00	286,19
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	291,01	-6,13	0,00	284,88

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	291,01	-7,76	57,71	340,96
RT com geração de CDR, com biodigestão	291,01	-11,85	57,71	336,87
RT com gaseificação, sem biodigestão	291,01	174,25	0,00	465,26
RT com incineração, sem biodigestão	291,01	85,42	0,00	376,43
RT com incineração, com biodigestão	291,01	81,33	0,00	372,34

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 194 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 465,26 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,5 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 376,43 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 88,83 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo Consórcio CONISUD.

A Tabela 195 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de

negativos R\$ 2,73 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 195: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CONISUD.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-101,63	-10,36	40,45	13,94
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-4,85	-0,49	1,93	0,66
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-228,17	-23,26	90,81	31,29
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-296,67	-30,24	118,08	40,68
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-2,73	-0,28	1,09	0,37
RT com geração de CDR, com biodigestão	-226,05	-23,04	89,97	31,00
RT com gaseificação, sem biodigestão	-413,78	-42,18	164,68	56,74
RT com incineração, sem biodigestão	-1.167,07	-118,97	464,49	160,04
RT com incineração, com biodigestão	-1.390,39	-141,74	553,37	190,66

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe do arranjo tem de arcar com a diferença de R\$ 0,37 por ano, ou ainda R\$ 0,03 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 1,09/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 28,75 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,22% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 196 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONISUD.

*Tabela 196: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONISUD.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-163,91	-171,01	-177,06
Operação (Opex) da Coleta	16,37	-3,95	-21,31
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-88,33	-120,17	-148,15
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	199,73	219,12	230,45
Receita Recicláveis da Triagem Manual	66,99	71,89	76,89
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-1,77	-0,73	0,36
Resultado Líquido (receitas e despesas)	29,07	-4,85	-38,83
Valor Anual Equivalente (VAE)	2,96	-0,49	-3,96
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-4,14	0,66	5,17
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-12,32	1,93	14,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 13,15 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 163,91 a R\$ 177,06 milhões (variação de 7,69% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$

21,31 milhões a positivos R\$ 16,37 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 37,68 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 148,15 milhões e negativos R\$ 88,33 milhões. Esse intervalo, de R\$ 59,82 milhões, representa 49,78% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 9,9 milhões (13,78%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 30,72 milhões (14,02%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 33,98 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 38,83 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 12,77/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,51 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 33,91 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 29,07 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 14,24/t, ou ainda R\$ 4,81/hab.ano.

### 3.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CONISUD aponta resultados promissores: 8 das 9 RT apresentam  $\Delta$ VSPL positivo, ou seja, para estas, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 8 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das 8 RT positivas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 197 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 197: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	245,03	24,98	48,84	2,71
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.236,86	126,08	68,22	5,60
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.106,22	112,77	38,08	3,31
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.068,80	108,95	35,22	2,98
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.295,49	132,06	54,05	5,02
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.197,77	122,10	35,04	3,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	864,01	88,08	23,66	2,04

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, sem biodigestão	79,47	8,10	9,42	1,05
RT com incineração, com biodigestão	-51,43	-5,24	7,98	0,97

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 89% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 6 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 1,3 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 132,06 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 54,05%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CONISUD na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,02 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 1,24 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 126,08 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 68,22%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 58,63 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,53% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se

revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 126,08 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 24,98 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 48,84%.

Tabela 198: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	128,24	214,06	8,11	2,91
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com geração de CDR, sem biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com geração de CDR, com biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com gaseificação, sem biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com incineração, sem biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79
RT com incineração, com biodigestão	519,10	866,48	32,82	11,79

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 198 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 1,43 bilhões. Este resultado representa 94,97% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 199: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	24,60	0,00	1,69
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	30,10	0,00	6,82
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	30,10	12,86	20,89
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	30,10	16,98	25,39
RT com geração de CDR, sem biodigestão	30,10	0,00	26,49
RT com geração de CDR, com biodigestão	30,10	12,86	40,55
RT com gaseificação, sem biodigestão	30,10	0,00	50,30
RT com incineração, sem biodigestão	30,10	0,00	36,24
RT com incineração, com biodigestão	30,10	12,86	50,30

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já Tabela 199 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo Consórcio CONISUD, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 30,1 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 16,98 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 50,3 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 26,49 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 200), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 6,25 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 200: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,43	8,44	-16,49
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1,64	37,20	-72,71

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-3,28	94,01	-183,74
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-4,83	111,54	-217,99
RT com geração de CDR, sem biodigestão	6,25	124,81	-243,94
RT com geração de CDR, com biodigestão	1,33	213,89	-418,09
RT com gaseificação, sem biodigestão	-21,55	203,68	-398,05
RT com incineração, sem biodigestão	-66,95	124,95	-244,15
RT com incineração, com biodigestão	-71,87	181,76	-355,18

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 200 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 124,81 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 6 municípios do arranjo emitiram 553 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 243,94 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (44,1%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o arranjo Consórcio CONISUD, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 322,34 milhões, 73,33% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 26,67% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,69 vezes.

Tabela 201: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-52,21	-3,94	-87,29	-143,44
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-162,47	-3,99	-102,63	-269,09
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-343,39	-3,99	-131,16	-478,54
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-373,57	-42,65	-124,34	-540,56
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-236,36	-3,99	-81,99	-322,34
RT com geração de CDR, com biodigestão	-417,28	-3,99	-109,87	-531,14
RT com gaseificação, sem biodigestão	-581,24	-3,99	-243,49	-828,72
RT com incineração, sem biodigestão	-1.085,44	-3,99	-385,63	-1.475,06
RT com incineração, com biodigestão	-1.266,38	-3,99	-414,41	-1.684,78

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 96,43 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 217,4 e R\$ 313,83 milhões, ou seja, 35,84% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 1,59 e 1,38 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 208,03 milhões, ou ainda 13,81% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 1,27 e 1,16 bilhões, intervalo que representa 9,02% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 6,34 no cenário mínimo para 5,06 no cenário máximo. A Tabela 202 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como "padrão".

*Tabela 202: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONISUD.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	1.161,65	1.236,86	1.273,25
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-217,40	-269,09	-313,83
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	1.379,05	1.505,95	1.587,09

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Valor Anual Equivalente - VAE (ΔVSPL R\$, milhões)	118,42	126,08	129,79
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	67,26%	68,22%	67,96%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	6,34	5,60	5,06

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo Consórcio CONISUD revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em ΔVSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,15 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,79 e R\$ 1,71 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o ΔVSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do ΔVSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 6,04%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 203: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CONISUD.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	118,85	226,93	341,54	30,27%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	746,11	1.189,89	1.654,25	5,90%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	592,97	1.040,96	1.502,54	19,18%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	549,77	998,28	1.461,65	24,53%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	793,28	1.241,44	1.709,18	6,04%
RT com geração de CDR, com biodigestão	671,21	1.122,71	1.598,69	17,90%
RT com gaseificação, sem biodigestão	309,55	763,64	1.232,49	53,68%
RT com incineração, sem biodigestão	-538,66	-69,10	390,17	98,93%
RT com incineração, com biodigestão	-696,95	-221,38	246,56	99,81%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 4. Consórcio CONDEMAT com Guarulhos

### 4.1. Cenários Prospectivos

Na cena atual da gestão de RSU do arranjo Consórcio CONDEMAT, seus 12 municípios componentes (Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Mairiporã, Mogi das Cruzes, Nazaré Paulista, Paraibuna, Poá, Salesópolis e Santa Isabel) atualmente atendem a uma população de 2.427,91 mil habitantes. A geração atual de RSU é de 911,41 mil t/ano, sendo que 861,31 mil t/ano são disponibilizados para a coleta formal. O restante, 50,1 mil t/ano, são materiais recicláveis coletados informalmente pela atuação de, no mínimo, 3.744 coletores autônomos.

Em oposição à catação informal, a coleta seletiva formal é responsável por recolher 1,63% do resíduo gerado, reciclando 8,15 mil t/ano. Estima-se que os municípios operem na coleta seletiva com 66 caminhões baú e contem com 473 triadores formais. No total, a coleta seletiva formal e informal nos municípios do arranjo Consórcio CONDEMAT desvia do aterro sanitário aproximadamente 6,39% do RSU gerado.

Com a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 132 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 159,2/t, representando 37,24% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 268,33/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 368,23 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,54 *per capita* por mês.

A Tabela 204 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo Consórcio CONDEMAT.

Tabela 204: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio CONDEMAT.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.486,20	881,99	51,30	14,54
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.486,20	901,05	52,41	14,85
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.486,20	841,21	87,86	13,28
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.486,20	859,34	89,75	13,57
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.559,60	908,03	52,82	14,54
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.559,60	927,66	53,96	14,85
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.559,60	866,05	90,45	13,28
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.559,60	884,72	92,40	13,57
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.391,48	848,39	49,35	14,54
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.391,48	866,72	50,42	14,85
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.391,48	809,16	84,51	13,28
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.391,48	826,60	86,33	13,57

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas mostram uma variação de 2.559,60 mil habitantes (ONU+) a 2.391,48 mil habitantes (ONU-), um intervalo de 168,13 mil habitantes. Na combinação 1, considerada o cenário tendencial, a população atendida é de 2.486,20 mil habitantes, com 881,99 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 51,3 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, *per capita*, é de R\$ 14,54 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 90 novos catadores para lidar com o acréscimo de 1,2 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6 destaca-se por apresentar a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 45,67 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 199 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 2,66 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 7 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 19,48 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,31/hab/mês.

A combinação 11 é a que apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 72,83 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 317 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 4,24 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 11 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 45,66 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,25/hab/mês.

Vale ressaltar que qualquer uma dessas combinações pode ocorrer. Os cenários demonstram os intervalos plausíveis de variação, que, por sua vez, influenciam alguns dos dados importantes na gestão de RSU.

Concluindo, um resultado relevante que pode ser apresentado antes mesmo de se explorarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios participantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários, apresentadas, para o arranjo Consórcio CONDEMAT, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% inferior ao valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 14,54 para R\$ 13,95/hab/mês (redução de 4,06% em relação ao valor do cenário tendencial).

## 4.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos), tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 881,99 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 3.935,97 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 34,43 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1.771,76 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 82,39 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 65,12 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 73,29 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 5.707,73 milhões em VPL, compensados em 2,73% pelo total de R\$ 155,68 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 565,97 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 641,7 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 227,65 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 16,31 mil t/ano, efetivamente desviando 8,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 72 caminhões baú e com o trabalho de 521 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 205 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 3 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 205: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-46,44	25,54	2,9
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 5	-46,44	109,32	12,4
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 4	-46,44	305,25	34,6
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 5	-222,84	372,71	42,3
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-46,44	408,29	46,3
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 4	-46,44	604,22	68,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-46,44	752,25	85,3
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 3	-46,44	556,32	63,1
RT com incineração, com biodigestão	Grau 3	-46,44	752,25	85,3

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 176,4 mil t/ano e permite a geração de 34,15 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 144,61 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 4,53. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado

com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 372,71 mil t/ano, equivalente a 42,3% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 46,3% e 68,5%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,3%, ou seja, 752,25 mil toneladas anuais.

A Tabela 206 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 206: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	25,54	0,00	0,00	-0,39
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	109,32	0,00	0,00	-2,95
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	109,32	99,19	0,00	-14,59
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	109,32	133,35	0,00	-18,60
RT com geração de CDR, sem biodigestão	109,32	0,00	290,43	-24,62
RT com geração de CDR, com biodigestão	109,32	99,19	290,43	-36,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	109,32	0,00	0,00	541,94
RT com incineração, sem biodigestão	109,32	0,00	0,00	266,33
RT com incineração, com biodigestão	109,32	99,19	0,00	254,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 541,94 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 254,69 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 46,44 mil toneladas anuais e atinge 7,11% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,9% do total, requerendo para tal a contratação de 1482 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 324,57 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,87% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar

com a atuação de 868 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 2350 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 29,15% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) se possa atingir os 7,11% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 713 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,87 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 52 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 171,41 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 12,7 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 384,39 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 234,64 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 38,64, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 13,71.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 83,78 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 25,54 mil t/ano

promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 8,97 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 109,32 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,4% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,68%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,45% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,41% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 352 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 486,5 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 294,14 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 769,62 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 234,64 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 1.004,26 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 24,26, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 8,61 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 207 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 207: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-171,41	-12,70	-384,39	-568,50
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-486,50	-10,38	-294,14	-791,01
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1.018,44	-4,96	-365,29	-1.388,69
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1.085,11	-149,57	-260,08	-1.494,77
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-680,15	-2,11	-155,23	-837,48
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.212,09	3,32	-226,38	-1.435,16
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.917,15	7,41	-471,81	-2.381,55
RT com incineração, sem biodigestão	-3.045,65	1,99	-1.032,05	-4.075,71
RT com incineração, com biodigestão	-3.577,59	7,41	-1.103,21	-4.673,38

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 207 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 597,67 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 46,47 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 1.004,26 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos), representa a adição de R\$ 201,71 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 208: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	234,64	-0,44	0,00	234,20

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.004,26	-3,32	0,00	1.000,94
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.004,26	-16,42	0,00	987,84
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.004,26	-20,93	0,00	983,33
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.004,26	-27,71	201,71	1.178,26
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.004,26	-40,81	201,71	1.165,16
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.004,26	609,91	0,00	1.614,17
RT com incineração, sem biodigestão	1.004,26	299,73	0,00	1.303,99
RT com incineração, com biodigestão	1.004,26	286,63	0,00	1.290,89

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 208 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1614,17 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,9 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1.303,99 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 310,18 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as

diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).

A Tabela 209 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 340,78 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 209: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-334,30	-34,08	38,64	13,71
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	209,93	21,40	-24,26	-8,61
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-400,84	-40,86	46,33	16,44
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-511,44	-52,14	59,11	20,97
RT com geração de CDR, sem biodigestão	340,78	34,74	-39,39	-13,97
RT com geração de CDR, com biodigestão	-270,00	-27,52	31,21	11,07
RT com gaseificação, sem biodigestão	-767,38	-78,23	88,69	31,46
RT com incineração, sem biodigestão	-2.771,72	-282,55	320,35	113,65
RT com incineração, com biodigestão	-3.382,49	-344,81	390,94	138,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a

opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 13,97 por ano por habitante (R\$ 39,39/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 99,03 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 14,98% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 210 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).

*Tabela 210: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos).*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-462,47	-486,50	-507,04
Operação (Opex) da Coleta	58,89	-10,38	-69,74
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-184,79	-294,14	-390,70
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	702,19	769,62	809,47
Receita Recicláveis da Triagem Manual	218,72	234,64	251,06
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-6,73	-3,32	0,31
Resultado Líquido (receitas e despesas)	325,81	209,93	93,35
Valor Anual Equivalente (VAE)	33,21	21,40	9,52
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-13,89	-8,61	-3,72
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-40,08	-24,26	-10,26

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 44,57 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 462,47 a R\$ 507,04 milhões (variação de 9,16% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 69,74 milhões a positivos R\$ 58,89 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 128,63 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 390,7 milhões e negativos R\$ 184,79 milhões. Esse intervalo, de R\$ 205,92 milhões, representa 70,01% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 32,34 milhões (13,78%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 107,28 milhões (13,94%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 116,58 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 93,35 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 14,01/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,89 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 115,88 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 325,81 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 15,82/t, ou ainda R\$ 5,28/hab.ano.

#### 4.1. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) aponta resultados

promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE das 9 rotas supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 211 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 211: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	835,36	85,16	52,46	2,78
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	4.607,29	469,66	82,14	7,38
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	4.291,39	437,46	47,03	4,31
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	4.277,33	436,03	44,90	4,06
RT com geração de CDR, sem biodigestão	4.936,61	503,23	67,56	7,21
RT com geração de CDR, com biodigestão	4.729,51	482,12	44,14	4,46
RT com gaseificação, sem biodigestão	3.703,90	377,57	28,19	2,63
RT com incineração, sem biodigestão	1.610,26	164,15	14,73	1,41
RT com incineração, com biodigestão	1.293,30	131,84	12,88	1,29

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 12 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 4,94 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 503,23 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 67,56%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,21 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com geração de CDR, com biodigestão. Essa opção gera R\$ 4,73 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 482,12 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 44,14%, embora não seja superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL, é ainda consideravelmente atrativa. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 207,1 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,2% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, é a que traz a menor complexidade dentre todas as que fazem uso de novas tecnologias frente ao processo de gestão atual. Mesmo assim, observa-se que é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 4,61 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,38, que demonstra que os benefícios superam os custos em 638%). Essa RT simula "apenas" a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras

palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 469,66 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 85,16 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 52,46%.

Tabela 212: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	422,90	713,62	32,01	11,72
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com incineração, sem biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17
RT com incineração, com biodigestão	1.810,01	3.054,28	137,00	50,17

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 212 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem

de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 5,05 bilhões. Este resultado representa 94,78% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 213: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	85,78	0,00	5,87
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	106,15	0,00	25,13
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	106,15	41,19	70,18
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	106,15	55,37	85,69
RT com geração de CDR, sem biodigestão	106,15	0,00	93,87
RT com geração de CDR, com biodigestão	106,15	41,19	138,92
RT com gaseificação, sem biodigestão	106,15	0,00	172,95
RT com incineração, sem biodigestão	106,15	0,00	127,90
RT com incineração, com biodigestão	106,15	41,19	172,95

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 213 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis.

No arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos), a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 106,15 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 55,37 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 172,95 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 93,87 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 214), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 22,14 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 214: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1,51	30,27	-59,15
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	6,03	140,97	-275,49
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-9,74	327,67	-640,26
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-15,08	389,65	-761,33

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com geração de CDR, sem biodigestão	22,14	458,17	-895,28
RT com geração de CDR, com biodigestão	6,37	751,01	-1.467,66
RT com gaseificação, sem biodigestão	-73,54	716,97	-1.400,73
RT com incineração, sem biodigestão	-233,57	459,06	-896,69
RT com incineração, com biodigestão	-249,33	645,76	-1.261,45

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 214 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 458,17 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 12 municípios do arranjo emitiram 4737 mil tCO<sub>2eq</sub>. apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 895,28 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento de 18,9% destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o ΔVSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da

ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos), a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 795,17 milhões, 81,7% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 18,3% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,84 vezes.

Tabela 215: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-160,03	-11,69	-296,59	-468,31
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-461,88	-11,76	-248,81	-722,45
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-967,97	-11,76	-315,78	-1.295,51
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1.030,97	-140,26	-224,67	-1.395,90
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-649,68	-11,76	-133,73	-795,17
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.155,77	-11,76	-198,05	-1.365,59
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.840,84	-11,76	-417,47	-2.270,08
RT com incineração, sem biodigestão	-2.959,95	-11,76	-929,03	-3.900,75
RT com incineração, com biodigestão	-3.466,10	-11,76	-997,02	-4.474,88

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 3ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 329,16 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 546,35 e R\$ 875,51 milhões, ou seja, 45,56% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 5,62 e 4,88 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 734,17 milhões, ou ainda 13,77% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 4,74 e 4,34 bilhões, intervalo que representa 8,79% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 8,94 no cenário mínimo para 6,41 no cenário máximo. A Tabela 216 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como "padrão".

*Tabela 216: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	4.335,59	4.607,29	4.740,59
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-546,35	-722,45	-875,51
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	4.881,94	5.329,73	5.616,11

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	441,97	469,66	483,25
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	81,56%	82,14%	81,43%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	8,94	7,38	6,41

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo Consórcio CONDEMAT (com Guarulhos) revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 3,24 e R\$ 6,47 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites "pessimista" e "otimista" para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 1,92%, a 1ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 217: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT com Guarulhos.

Rota Tecnológica	ΔVSPL (R\$, milhões)			Chance do ΔVSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	415,39	779,56	1.151,96	28,21%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.931,66	4.488,00	6.109,48	2,66%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.557,91	4.108,40	5.746,47	9,35%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	2.522,78	4.081,66	5.737,54	10,81%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	3.236,12	4.803,70	6.469,38	1,92%
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.950,50	4.521,99	6.235,48	7,17%
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.837,64	3.413,96	5.105,24	31,65%
RT com incineração, sem biodigestão	-417,66	1.187,45	2.829,94	86,52%
RT com incineração, com biodigestão	-811,67	812,86	2.493,72	92,99%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 5. Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos

### 5.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos), tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 551,17 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 3294,63 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 44,38 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1.138,69 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 73,99 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 41,65 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 46,88 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 4.433,32 milhões em VPL, compensados em 2,73% pelo total de R\$ 120,87 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 439,61 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 797,59 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 388,05 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 13,72 mil t/ano, efetivamente desviando 7,55 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 61 caminhões baú e com o trabalho de 438 triadores

formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 218 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

*Tabela 218: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-25,88	14,23	2,6
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 4	-25,88	61,99	11,2
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 4	-25,88	193,62	35,1
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 4	-136,11	235,77	42,8
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-25,88	246,01	44,6
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 4	-25,88	377,63	68,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-25,88	468,78	85,1
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 2	-25,88	337,16	61,2
RT com incineração, com biodigestão	Grau 2	-25,88	468,78	85,1

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 110,23 mil t/ano e permite a geração de 21,34 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 112,58 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 4,52. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 235,77 mil t/ano, equivalente a 42,8% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 44,6% e 68,5%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,1%, ou seja, 468,78 mil toneladas anuais.

A Tabela 219 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 219: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	14,23	0,00	0,00	-0,11
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	61,99	0,00	0,00	-1,37
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	61,99	66,64	0,00	-9,19
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	61,99	87,98	0,00	-11,70
RT com geração de CDR, sem biodigestão	61,99	0,00	178,76	-14,83
RT com geração de CDR, com biodigestão	61,99	66,64	178,76	-22,65
RT com gaseificação, sem biodigestão	61,99	0,00	0,00	332,95
RT com incineração, sem biodigestão	61,99	0,00	0,00	162,86
RT com incineração, com biodigestão	61,99	66,64	0,00	155,04

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 332,95 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 155,04 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 25,88 mil toneladas anuais e atinge 7,18% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,58% do total, requerendo para tal a contratação de 826 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 188,85 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,54% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 483 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 1309 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 55,32% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) se possa atingir os 7,18% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 397 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 3,5 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva

demande o uso de 29 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 112,47 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 8,42 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 214,2 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 139,58 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 36,18, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 17,6.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 47,76 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 14,23 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 7,55 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 61,99 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,25% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é

incrementada em 32,83%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,82% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,62% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 210 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantêm esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 319,8 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 188,3 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 468,34 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 139,58 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 607,92 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 16,93, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 8,24 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 220 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 220: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-112,47	-8,42	-214,20	-335,08
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-319,80	-6,71	-188,30	-514,81
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-706,04	-2,02	-265,68	-973,74
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-757,78	-114,60	-148,82	-1.021,19
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-462,26	-0,15	-117,26	-579,67
RT com geração de CDR, com biodigestão	-848,50	4,55	-194,64	-1.038,60
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.247,57	7,80	-371,85	-1.611,62
RT com incineração, sem biodigestão	-2.016,93	3,10	-697,67	-2.711,50
RT com incineração, com biodigestão	-2.403,17	7,80	-775,06	-3.170,42

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 220 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se

um acréscimo de R\$ 458,93 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 64,86 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 607,92 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos), representa a adição de R\$ 124,15 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 221: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	139,58	-0,13	0,00	139,45
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	607,92	-1,55	0,00	606,37
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	607,92	-10,35	0,00	597,57
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	607,92	-13,17	0,00	594,75
RT com geração de CDR, sem biodigestão	607,92	-16,69	124,15	715,39

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, com biodigestão	607,92	-25,49	124,15	706,58
RT com gaseificação, sem biodigestão	607,92	374,71	0,00	982,62
RT com incineração, sem biodigestão	607,92	183,29	0,00	791,21
RT com incineração, com biodigestão	607,92	174,49	0,00	782,41

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 221 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 982,62 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 7 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 791,21 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 191,42 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos).

A Tabela 222 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 135,71 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 222: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-195,63	-19,94	36,18	17,60
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	91,56	9,33	-16,93	-8,24
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-376,17	-38,35	69,57	33,85
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-426,44	-43,47	78,87	38,37
RT com geração de CDR, sem biodigestão	135,71	13,83	-25,10	-12,21
RT com geração de CDR, com biodigestão	-332,01	-33,84	61,41	29,88
RT com gaseificação, sem biodigestão	-628,99	-64,12	116,33	56,60
RT com incineração, sem biodigestão	-1.920,29	-195,75	355,16	172,79
RT com incineração, com biodigestão	-2.388,02	-243,43	441,66	214,88

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 12,21 por ano por habitante (R\$ 25,1/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-

los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 61,89 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,49% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 223 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos).

*Tabela 223: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-291,91	-319,80	-332,95
Operação (Opex) da Coleta	38,26	-6,71	-45,26
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-59,96	-188,30	-249,08
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	426,79	468,34	492,59
Receita Recicláveis da Triagem Manual	128,75	139,58	150,64
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-3,79	-1,55	0,80
Resultado Líquido (receitas e despesas)	238,14	91,56	16,73
Valor Anual Equivalente (VAE)	24,28	9,33	1,71
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-22,28	-8,24	-1,46
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-46,88	-16,93	-2,94

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 41,04 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 291,91 a R\$ 332,95 milhões (variação de 12,83% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 45,26 milhões a positivos R\$ 38,26 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 83,52 milhões. O

Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 249,08 milhões e negativos R\$ 59,96 milhões. Esse intervalo, de R\$ 189,12 milhões, representa 100,44% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 21,88 milhões (15,68%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 65,8 milhões (14,05%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 74,82 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 16,73 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 13,99/t, ou ainda em um incremento de R\$ 6,78 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 146,59 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 238,14 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 29,95/t, ou ainda R\$ 14,04/hab.ano.

## 5.1. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ V SPL positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de todas as RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha

de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 224 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 224: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	476,26	48,55	47,78	2,71
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.671,91	272,37	75,43	6,67
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.402,95	244,95	40,84	3,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	2.409,23	245,59	39,01	3,52
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2.832,98	288,79	60,19	6,14
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.634,87	268,60	38,01	3,67
RT com gaseificação, sem biodigestão	2.009,98	204,90	25,36	2,31
RT com incineração, sem biodigestão	650,90	66,35	12,44	1,25
RT com incineração, com biodigestão	380,14	38,75	10,50	1,13

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 11 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 2,83 bilhões em valor presente do fluxo de 22

anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 288,79 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 60,19%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 6,14 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 2,67 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 272,37 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 75,43%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 161,07 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,69% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 272,37 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 48,55 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 47,78%.

Tabela 225: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	248,98	415,59	15,74	5,66
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com incineração, sem biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64
RT com incineração, com biodigestão	1.084,39	1.810,05	68,57	24,64

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 225 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 2,99 bilhões. Este resultado representa 95,05% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos

da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 226: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	47,81	0,00	3,27
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	59,96	0,00	14,25
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	59,96	27,67	44,51
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	59,96	36,53	54,21
RT com geração de CDR, sem biodigestão	59,96	0,00	56,56
RT com geração de CDR, com biodigestão	59,96	27,67	86,82
RT com gaseificação, sem biodigestão	59,96	0,00	107,78
RT com incineração, sem biodigestão	59,96	0,00	77,52
RT com incineração, com biodigestão	59,96	27,67	107,78

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 226 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos), a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 59,96 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem

de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 36,53 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 107,78 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 56,56 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 227), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 13,33 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 227: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,84	16,39	-32,02
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	3,42	77,89	-152,17
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-7,18	200,24	-391,12
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-10,51	237,99	-464,83
RT com geração de CDR, sem biodigestão	13,33	266,47	-520,52
RT com geração de CDR, com biodigestão	2,74	458,26	-895,29
RT com gaseificação, sem biodigestão	-46,45	436,37	-852,21

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com incineração, sem biodigestão	-144,07	266,89	-521,07
RT com incineração, com biodigestão	-154,66	389,24	-760,01

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 227 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 266,47 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 11 municípios do arranjo emitiram 931 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 520,52 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (55,92%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o ΔVSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos), a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 550,99 milhões, 80,18% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 19,82% aos custos de

operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,29 vezes.

Tabela 228: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-105,00	-7,74	-165,27	-278,01
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-303,63	-7,83	-159,79	-471,25
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-671,09	-7,83	-230,98	-909,90
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-720,02	-107,91	-128,66	-956,58
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-441,79	-7,83	-101,37	-550,99
RT com geração de CDR, com biodigestão	-809,25	-7,83	-171,15	-988,22
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.197,79	-7,83	-329,70	-1.535,31
RT com incineração, sem biodigestão	-1.960,25	-7,83	-628,96	-2.597,03
RT com incineração, com biodigestão	-2.327,74	-7,83	-701,91	-3.037,48

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de

agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 273,32 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 295,67 e R\$ 569 milhões, ou seja, 58% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 3,32 e 2,87 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 448,99 milhões, ou ainda 14,28% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 2,75 e 2,57 bilhões, intervalo que representa 6,57% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 9,71 no cenário mínimo para 5,83 no cenário máximo. A Tabela 229 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como "padrão".

Tabela 229: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	2.573,98	2.671,91	2.749,65
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-295,67	-471,25	-569,00
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	2.869,66	3.143,16	3.318,65
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	262,39	272,37	280,30
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	78,32%	75,43%	74,85%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	9,71	6,67	5,83

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo Consórcio CONDEMAT (sem Guarulhos) revelam que algumas delas

apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta VSPL$  (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,07 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 1,81 e R\$ 3,75 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta VSPL$  é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta VSPL$  se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 3,29%, a menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 230: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio CONDEMAT sem Guarulhos.

Rota Tecnológica	$\Delta VSPL$ (R\$, milhões)			Chance do $\Delta VSPL$ ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	234,80	447,92	667,12	29,68%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.680,38	2.620,31	3.579,54	3,76%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.361,89	2.310,48	3.275,00	14,68%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.361,85	2.310,06	3.277,68	15,65%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.813,16	2.766,36	3.749,75	3,29%
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.564,56	2.513,22	3.524,83	12,82%

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT com gaseificação, sem biodigestão	893,34	1.845,98	2.826,71	41,50%
RT com incineração, sem biodigestão	-555,31	383,66	1.371,03	93,84%
RT com incineração, com biodigestão	-880,61	61,74	1.074,08	97,88%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 6. Consórcio GRANDE ABC

### 6.1. Cenários Prospectivos

No contexto atual da gestão de RSU do arranjo Consórcio Grande ABC, os 6 municípios componentes ( Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) atendem uma população de 2.405,16 mil habitantes. A geração de RSU é de 810,63 mil t/ano, das quais 766,06 mil t/ano são destinadas à coleta formal. O restante, 44,56 mil t/ano, é coletado informalmente por aproximadamente 3.330 catadores autônomos.

Em comparação com a catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 2,89% do resíduo gerado, reciclando 12,91 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 104 caminhões baú e contem com o trabalho de 749 triadores formais na coleta seletiva. Somando a atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do arranjo Consórcio Grande ABC desviam do aterro sanitário cerca de 7,09% do RSU gerado.

Considerando a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 116 desses veículos. Além disso, o custo atual da coleta é de R\$ 160,16/t, representando 36,22% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 282,05/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 338,76 milhões por ano, equivalente a R\$ 13,50 *per capita* por mês.

A Tabela 231 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo Consórcio ABC.

Tabela 231: Cenários prospectivos para o arranjo Consórcio ABC.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.413,57	768,74	44,72	13,50
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.413,57	785,29	45,68	13,79
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.413,57	733,16	76,57	12,31
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.413,57	748,95	78,22	12,57
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.484,83	791,44	46,04	13,50
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.484,83	808,47	47,03	13,79
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.484,83	754,81	78,83	12,31
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.484,83	771,06	80,53	12,57
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.321,62	739,46	43,01	13,50
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.321,62	755,37	43,94	13,79
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.321,62	705,23	73,66	12,31
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.321,62	720,42	75,24	12,58

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas mostram uma variação de 2.484,83 mil habitantes (ONU+) a 2.321,62 mil habitantes (ONU-), um intervalo de 163,21 mil habitantes. Na combinação 1, considerada o cenário tendencial, a população atendida é de 2.413,57 mil habitantes, com 768,74 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 44,72 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, *per capita*, é de R\$ 13,5 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 12 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,16 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 39,73 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 173 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 2,31 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 6 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 17,53 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,29/hab/mês.

Já a combinação 11 é a que traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, traz a perspectiva de se ter uma redução de 63,51 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 276 a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 3,69 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 10 caminhões compactadores a menos do que aponta o cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 41,75 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 1,19/hab/mês).

Ressalta-se que quaisquer dessas combinações são possíveis de ocorrer: o que os cenários apontam são os intervalos plausíveis de variação que geram, como consequência, para alguns dos dados relevantes da gestão de RSU.

Por fim, um resultado importante que pode ser apresentado mesmo antes de se perscrutarem as rotas tecnológicas é dado pelo papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, minimamente, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios partícipes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários, apresentadas, para o arranjo Consórcio ABC, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de R\$ 100/t, utilizado como referência. Simulando-se essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 13,5 para R\$ 12,91/hab/mês (redução de 4,4% sobre o valor do cenário tendencial).

## 6.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo Consórcio ABC, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 768,74 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 1475,92 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 14,82 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1622,62 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 119,16 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia

elétrica, que monta em 56,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 63,79 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo Consórcio Grande ABC tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 3.098,53 milhões em VPL, compensados em 5,9% pelo total de R\$ 182,95 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 297,21 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 386,62 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 123,14 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 23,59 mil t/ano, efetivamente desviando 12,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 105 caminhões baú e com o trabalho de 753 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 232 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo Consórcio Grande ABC apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 232: Grau de escala e resultados das RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-30,23	16,62	2,2
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 5	-30,23	89,93	11,7
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 4	-30,23	260,70	33,9
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 4	-183,98	319,50	41,6
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-30,23	350,54	45,6
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 4	-30,23	521,31	67,8
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-30,23	650,47	84,6
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 2	-30,23	479,70	62,4
RT com incineração, com biodigestão	Grau 2	-30,23	650,47	84,6

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 153,75 mil t/ano e permite a geração de 29,77 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 192,9 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 5,19. Nota-se que o uso de dispositivos legais RT municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 319,5 mil t/ano, equivalente a 41,6% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 45,6% e 67,8%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,6%, ou seja, 650,47 mil toneladas anuais.

A Tabela 233 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo Consórcio Grande ABC quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 233: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	16,62	0,00	0,00	-0,26
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	89,93	0,00	0,00	-2,49
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	89,93	86,46	0,00	-12,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	89,93	116,22	0,00	-16,13
RT com geração de CDR, sem biodigestão	89,93	0,00	253,16	-21,38
RT com geração de CDR, com biodigestão	89,93	86,46	253,16	-31,52
RT com gaseificação, sem biodigestão	89,93	0,00	0,00	472,65
RT com incineração, sem biodigestão	89,93	0,00	0,00	232,60
RT com incineração, com biodigestão	89,93	86,46	0,00	222,46

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 472,65 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 222,46 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 30,23 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,16% do total, requerendo para tal a contratação de 965 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 282,89 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 5,88% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 565 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 1530 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 32,21% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo Consórcio Grande ABC se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 464 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 1,92 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 34 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 148,77 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 10,87 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 250,18 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 152,72 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 34,13, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 10,87.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 73,31 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 16,62 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 12,97 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 89,93 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,7% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 31,79%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 328 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 433,51 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 196,01 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 673,39 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 152,72 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 826,11 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 24,37, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há

uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 7,76 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio Grande ABC apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 234 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 234: Resultados para as despesas das RT do arranjo Consórcio ABC.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-148,77	-10,87	-250,18	-409,82
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-433,51	-10,00	-196,01	-639,52
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-911,62	-7,96	-270,28	-1.189,86
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-969,66	-200,86	-138,39	-1.308,91
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-611,19	-6,89	-80,25	-698,33
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.089,30	-4,86	-154,51	-1.248,67
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.689,38	-3,32	-386,96	-2.079,66
RT com incineração, sem biodigestão	-2.413,96	-5,36	-789,51	-3.208,83
RT com incineração, com biodigestão	-2.892,07	-3,32	-863,77	-3.759,17

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 224 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 550,34 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 58,81 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 826,11 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo Consórcio ABC, representa a adição de R\$ 175,83 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 235: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo Consórcio ABC.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	152,72	-0,29	0,00	152,43
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	826,11	-2,80	0,00	823,30
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	826,11	-14,22	0,00	811,88
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	826,11	-18,15	0,00	807,95

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	826,11	-24,06	175,83	977,88
RT com geração de CDR, com biodigestão	826,11	-35,48	175,83	966,46
RT com gaseificação, sem biodigestão	826,11	531,93	0,00	1.358,03
RT com incineração, sem biodigestão	826,11	261,78	0,00	1.087,88
RT com incineração, com biodigestão	826,11	250,36	0,00	1.076,46

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 235 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1358,03 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 8,9 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1087,88 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 270,15 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo Consórcio ABC.

A Tabela 236 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de

positivos R\$ 279,55 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 236: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo Consórcio ABC.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-257,39	-26,24	34,13	10,87
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	183,78	18,73	-24,37	-7,76
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-377,97	-38,53	50,12	15,96
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-500,96	-51,07	66,43	21,16
RT com geração de CDR, sem biodigestão	279,55	28,50	-37,07	-11,81
RT com geração de CDR, com biodigestão	-282,21	-28,77	37,42	11,92
RT com gaseificação, sem biodigestão	-721,63	-73,56	95,69	30,48
RT com incineração, sem biodigestão	-2.120,95	-216,21	281,25	89,58
RT com incineração, com biodigestão	-2.682,70	-273,47	355,74	113,31

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 11,81 por ano por habitante (R\$ 37,07/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 86,24 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,22% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,84% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 237 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio ABC.

*Tabela 237: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio ABC.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-412,65	-433,51	-451,32
Operação (Opex) da Coleta	50,45	-10,00	-61,66
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-101,18	-196,01	-279,62
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	614,49	673,39	708,19
Receita Recicláveis da Triagem Manual	139,06	152,72	166,77
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-5,78	-2,80	0,35
Resultado Líquido (receitas e despesas)	284,39	183,78	82,71
Valor Anual Equivalente (VAE)	28,99	18,73	8,43
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-12,49	-7,76	-3,39
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-40,14	-24,37	-10,43

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 38,67 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 412,65 a R\$ 451,32 milhões (variação de 8,92% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 61,66 milhões a positivos R\$ 50,45 milhões em relação à linha de base. Já em relação

ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 112,11 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 279,62 milhões e negativos R\$ 101,18 milhões. Esse intervalo, de R\$ 178,44 milhões, representa 91,03% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 27,7 milhões (18,14%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 93,7 milhões (13,92%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 101,07 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 82,71 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 13,94/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,37 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 100,61 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 284,39 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 15,77/t, ou ainda R\$ 4,73/hab.ano.

### 6.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo Consórcio Grande ABC aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ V SPL positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de todas as RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos,

benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 238 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 238: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	506,90	51,67	41,33	2,48
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	3.784,49	385,79	77,67	7,44
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	3.485,63	355,32	44,07	4,14
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	3.451,03	351,79	41,96	3,83
RT com geração de CDR, sem biodigestão	4.059,55	413,83	63,54	7,12
RT com geração de CDR, com biodigestão	3.855,01	392,98	41,36	4,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	2.958,57	301,59	26,60	2,50
RT com incineração, sem biodigestão	1.464,78	149,32	15,57	1,48
RT com incineração, com biodigestão	1.163,75	118,63	13,34	1,32

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 6 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 4,06 bilhões em valor presente do fluxo de 22

anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 413,83 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 63,54%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo Consórcio Grande ABC na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,12 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com geração de CDR, com biodigestão. Essa opção gera R\$ 3,86 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 392,98 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 41,36%, embora não seja superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL, é ainda consideravelmente atrativa. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 204,54 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,04% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, é a que traz a menor complexidade dentre todas as que fazem uso de novas tecnologias frente ao processo de gestão atual. Mesmo assim, observa-se que é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 3,78 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,44, que demonstra que os benefícios superam os custos em 644%). Uma vez que essa RT simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, seu resultado se torna importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 385,79 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 51,67 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 41,33%.

Tabela 239: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	275,24	464,46	20,83	7,63
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com incineração, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com incineração, com biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 239 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 4,16 bilhões. Este resultado representa 95,04% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção

(60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 35% do total.

Tabela 240: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	55,85	0,00	3,82
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	74,84	0,00	20,68
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	74,84	35,90	59,94
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	74,84	48,26	73,46
RT com geração de CDR, sem biodigestão	74,84	0,00	80,59
RT com geração de CDR, com biodigestão	74,84	35,90	119,86
RT com gaseificação, sem biodigestão	74,84	0,00	149,55
RT com incineração, sem biodigestão	74,84	0,00	110,29
RT com incineração, com biodigestão	74,84	35,90	149,55

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 240 apresenta o valor econômico dos demais cinco benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo Consórcio ABC, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 74,84 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 48,26 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 149,55 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 80,59 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 241), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 18,98 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 241: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,98	19,69	-38,50
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	4,93	116,50	-227,79
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-8,81	279,12	-545,71
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-13,46	333,10	-651,24
RT com geração de CDR, sem biodigestão	18,98	392,86	-768,11
RT com geração de CDR, com biodigestão	5,24	647,99	-1.266,99
RT com gaseificação, sem biodigestão	-64,44	618,22	-1.208,64
RT com incineração, sem biodigestão	-203,98	393,53	-769,29
RT com incineração, com biodigestão	-217,73	556,14	-1.087,21

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 241 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 392,86 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 6 municípios do arranjo emitiram 2432 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 768,11 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (31,58%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o arranjo Consórcio ABC, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 663,06 milhões, 88,08% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 11,92% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,79 vezes.

Tabela 242: Custos sociais nas RT do arranjo Consórcio ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-138,89	-9,68	-193,04	-341,61
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-411,67	-9,71	-166,41	-587,79
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-866,55	-9,71	-234,43	-1.110,69
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-921,36	-179,54	-119,59	-1.220,49
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-583,99	-9,71	-69,36	-663,06
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.038,86	-9,71	-135,58	-1.184,15
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.622,13	-9,71	-343,09	-1.974,93
RT com incineração, sem biodigestão	-2.344,86	-9,71	-710,65	-3.065,22
RT com incineração, com biodigestão	-2.799,78	-9,71	-780,80	-3.590,29

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 3ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 286,29 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 434,5 e R\$ 720,79 milhões, ou seja, 48,71% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 4,62 e 3,98 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 638,41 milhões, ou ainda 14,6% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 3,9 e 3,55 bilhões, intervalo que representa 9,3% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 9,17 no cenário mínimo para 6,41 no cenário máximo. A Tabela 243 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 243: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo Consórcio ABC.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	3.548,02	3.784,49	3.900,14
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-434,50	-587,79	-720,79
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	3.982,51	4.372,29	4.620,93
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	361,68	385,79	397,58
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	76,86%	77,67%	77,14%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	9,17	7,44	6,41

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo Consórcio Grande ABC revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,03 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 2,63 e R\$ 5,33 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congregam 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 2,08%, a menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

*Tabela 244: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo Consórcio ABC.*

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	224,49	464,94	712,55	37,31%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.370,15	3.678,01	5.044,21	2,79%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.025,38	3.328,71	4.697,49	11,25%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.976,76	3.278,87	4.647,17	13,24%

Rota Tecnológica	ΔVSPL (R\$, milhões)			Chance do ΔVSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2.627,12	3.941,31	5.330,79	2,08%
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.355,59	3.672,53	5.103,29	8,61%
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.396,34	2.706,50	4.112,78	35,70%
RT com incineração, sem biodigestão	-195,00	1.109,24	2.485,75	83,30%
RT com incineração, com biodigestão	-560,91	759,64	2.148,59	91,58%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## APÊNDICE 2 – RESULTADOS DOS MICRO ARRANJOS

Os resultados completos de cada um dos arranjos intermunicipais propostos sob a lógica orientadora de micro arranjos são apresentados abaixo. A análise da gestão de resíduos sólidos urbanos inicia com os cenários prospectivos, e na sequência aborda os resultados das diferentes rotas tecnológicas e seus impactos técnicos, financeiros e socioeconômicos.

São abordados os aspectos quantitativos, os resultados financeiros (Capex, Opex e receitas acessórias), e também os resultados da análise socioeconômica de custo-benefício e seus efeitos ambientais e sociais, incluindo emissões de gases de efeito estufa e benefícios da reciclagem.

## 1. Micro arranjo CONISUD 1

### 1.1. Cenários Prospectivos

No contexto atual da gestão de RSU do micro arranjo CONISUD 1, os 3 municípios componentes (Cotia, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista) atendem uma população de 602,24 mil habitantes. A geração de RSU é de 228,75 mil t/ano, das quais 216,17 mil t/ano são destinadas à coleta formal. O restante, 12,57 mil t/ano, é coletado informalmente por aproximadamente 940 catadores autônomos.

Comparado à catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 1,92% do resíduo gerado, reciclando 2,42 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 20 caminhões baú e empreguem 140 triadores formais na coleta seletiva. No total, a coleta seletiva formal e informal nos municípios do micro arranjo CONISUD 1 desvia do aterro sanitário cerca de 6,56% do RSU gerado.

Com base na eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 33 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 150,71/t, o que representa 36,57% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 261,4/t). No total, os municípios do arranjo gastam aproximadamente R\$ 92,85 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,18 *per capita* por mês.

A Tabela 245 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o micro arranjo CONISUD 1.

Tabela 245: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONISUD 1.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	627,70	225,31	13,11	14,78
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	627,70	230,16	13,39	15,09
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	627,70	214,88	22,44	13,45
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	627,70	219,51	22,93	13,74
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	646,23	231,96	13,49	14,78
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	646,23	236,96	13,78	15,09
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	646,23	221,22	23,10	13,45
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	646,23	226,00	23,60	13,74
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	603,78	216,73	12,61	14,78
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	603,78	221,39	12,88	15,10
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	603,78	206,69	21,59	13,45
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	603,78	211,15	22,05	13,74

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 646,23 mil habitantes (ONU+) a 603,78 mil habitantes (ONU-), um intervalo de 42,45 mil habitantes. No cenário tendencial (Combinação 1), a população atendida é de 627,7 mil habitantes, com 225,31 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 13,11 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em termos *per capita*, é de R\$ 14,78 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 40 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,53 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 11,65 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 51 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,68 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 2 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 4,98 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,31/hab/mês.

A combinação 11, por sua vez, apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 18,62 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 81 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 1,08 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 2 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 12,03 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,32/hab/mês.

Vale ressaltar que qualquer uma dessas combinações pode ocorrer. Os cenários demonstram os intervalos plausíveis de variação, que, por sua vez, influenciam alguns dos dados importantes na gestão de RSU.

Concluindo, um resultado relevante que pode ser apresentado antes mesmo de se explorarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios participantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o micro arranjo CONISUD 1, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% inferior ao valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 14,78 para R\$ 14,1/hab/mês (redução de 4,58% em relação ao valor do cenário tendencial).

## 1.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONISUD 1, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 225,31 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 382,79 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 13,37 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 457,82 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 24,74 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 17,03 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 19,17 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONISUD 1 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 840,61 milhões em VPL, compensados em 5,22% pelo total de R\$ 43,9 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 81,21 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 360,46 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 129,39 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 4,59 mil t/ano, efetivamente desviando 2,52 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 20 caminhões baú e com o trabalho de 146 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 246 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o micro arranjo CONISUD 1 apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

*Tabela 246: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONISUD 1.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-11,19	6,15	2,7

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-11,19	25,81	11,5
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 2	-11,19	79,61	35,3
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 2	-56,25	96,85	43,0
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 4	-11,19	101,04	44,8
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 2	-11,19	154,85	68,7
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 3	-11,19	192,17	85,3
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 1	-11,19	138,37	61,4
RT com incineração, com biodigestão	Grau 1	-11,19	192,17	85,3

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 45,06 mil t/ano e permite a geração de 8,72 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 43,09 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 7,48. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 96,85 mil t/ano, equivalente a 43% da massa total da rota. A tecnologia de produção

de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 44,8% e 68,7%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,3%, ou seja, 192,17 mil toneladas anuais.

A Tabela 247 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o micro arranjo CONISUD 1 quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 247: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,15	0,00	0,00	-0,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	25,81	0,00	0,00	-0,57
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	25,81	27,24	0,00	-3,76
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	25,81	35,96	0,00	-4,79
RT com geração de CDR, sem biodigestão	25,81	0,00	73,09	-6,06
RT com geração de CDR, com biodigestão	25,81	27,24	73,09	-9,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	25,81	0,00	0,00	136,20
RT com incineração, sem biodigestão	25,81	0,00	0,00	66,77
RT com incineração, com biodigestão	25,81	27,24	0,00	63,57

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por

exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 136,2 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 63,57 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 11,19 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,73% do total, requerendo para tal a contratação de 357 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 77,2 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,97% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 209 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 566 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 91,06% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no micro arranjo CONISUD 1 se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 172 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,74 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 12 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 50,14 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 4,06 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 95,38 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 60,33 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 40,41, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 14,5.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 19,66 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 6,15 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 2,52 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela

implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 25,81 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,45% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,43%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 84 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 156,89 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 112,12 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 192,75 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 60,33 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 253,08 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 9,24, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 3,32.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONISUD 1 apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 248 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 248: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONISUD 1.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-50,14	-4,06	-95,38	-149,58
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-156,89	-3,85	-112,12	-272,86
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-329,13	-3,27	-143,59	-475,98
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-355,94	-46,36	-118,62	-520,91
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-226,97	-3,04	-91,62	-321,63
RT com geração de CDR, com biodigestão	-399,21	-2,46	-123,09	-524,75
RT com gaseificação, sem biodigestão	-585,05	-2,06	-259,45	-846,55
RT com incineração, sem biodigestão	-1.043,94	-2,64	-402,02	-1.448,60
RT com incineração, com biodigestão	-1.216,17	-2,06	-433,49	-1.651,72

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 248 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 203,12 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo

em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 48,77 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 253,08 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o micro arranjo CONISUD 1, representa a adição de R\$ 50,76 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 249: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONISUD 1.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	60,33	-0,06	0,00	60,27
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	253,08	-0,64	0,00	252,44
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	253,08	-4,24	0,00	248,84
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	253,08	-5,39	0,00	247,69
RT com geração de CDR, sem biodigestão	253,08	-6,82	50,76	297,02
RT com geração de CDR, com biodigestão	253,08	-10,42	50,76	293,42
RT com gaseificação, sem biodigestão	253,08	153,28	0,00	406,36

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com incineração, sem biodigestão	253,08	75,14	0,00	328,22
RT com incineração, com biodigestão	253,08	71,55	0,00	324,62

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 249 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 406,36 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,7 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 328,22 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 78,14 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o micro arranjo CONISUD 1.

A Tabela 250 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 20,42 milhões (VPL) da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 250: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONISUD 1.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-89,31	-9,10	40,41	14,50
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-20,42	-2,08	9,24	3,32
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-227,14	-23,15	102,77	36,89
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-273,22	-27,85	123,62	44,37
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-24,61	-2,51	11,14	4,00
RT com geração de CDR, com biodigestão	-231,34	-23,58	104,66	37,57
RT com gaseificação, sem biodigestão	-440,19	-44,87	199,16	71,49
RT com incineração, sem biodigestão	-1.120,37	-114,21	506,90	181,95
RT com incineração, com biodigestão	-1.327,10	-135,28	600,43	215,52

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe do arranjo tem de arcar com a diferença de R\$ 3,32 por ano, ou ainda R\$ 0,28 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 9,24/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-

los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 25,3 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,17% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 251 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 1.

*Tabela 251: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 1.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-150,63	-156,89	-162,23
Operação (Opex) da Coleta	13,61	-3,85	-18,75
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-84,10	-112,12	-136,74
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	175,69	192,75	202,72
Receita Recicláveis da Triagem Manual	56,01	60,33	64,72
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-1,56	-0,64	0,32
Resultado Líquido (receitas e despesas)	9,02	-20,42	-49,96
Valor Anual Equivalente (VAE)	0,92	-2,08	-5,09
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-1,52	3,32	7,88
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-4,35	9,24	21,49

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 11,61 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 150,63 a R\$ 162,23 milhões (variação de 7,4% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 18,75 milhões a positivos R\$ 13,61 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 32,37 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 136,74

milhões e negativos R\$ 84,1 milhões. Esse intervalo, de R\$ 52,64 milhões, representa 46,95% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 8,72 milhões (14,45%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 27,03 milhões (14,02%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 29,55 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 49,96 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 12,26/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,57 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 29,44 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 9,02 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 13,58/t, ou ainda R\$ 4,84/hab.ano.

### 1.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONISUD 1 aponta resultados promissores: 7 das 9 RT apresentam  $\Delta$ VSPL positivo, ou seja, para estas, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 6 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das rotas positivas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 252 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas, respeitando-se as mesmas restrições de escala das tecnologias que se verificou na análise financeira.

Tabela 252: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimen_sional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	201,99	20,59	46,17	2,63
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.060,26	108,08	65,09	5,26
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	936,26	95,44	36,30	3,12
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	916,37	93,41	34,01	2,89
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.106,85	112,83	51,45	4,68
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.011,77	103,14	33,36	3,05
RT com gaseificação, sem biodigestão	676,51	68,96	21,12	1,85

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, sem biodigestão	-31,69	-3,23	8,10	0,98
RT com incineração, com biodigestão	-156,03	-15,91	6,76	0,90

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 78% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 3 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 1,11 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 112,83 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 51,45%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONISUD 1 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 4,68 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 1,06 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 108,08 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 65,09%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 46,59 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,21% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se

revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 108,08 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 20,59 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 46,17%.

Tabela 253: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	107,61	179,62	6,80	2,44
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com geração de CDR, sem biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com geração de CDR, com biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com incineração, sem biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26
RT com incineração, com biodigestão	451,44	753,53	28,54	10,26

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 253 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se

que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 1,24 bilhões. Este resultado representa 95,02% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 254: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	20,66	0,00	1,41
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	25,52	0,00	5,93
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	25,52	11,31	18,30
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	25,52	14,93	22,27
RT com geração de CDR, sem biodigestão	25,52	0,00	23,23
RT com geração de CDR, com biodigestão	25,52	11,31	35,60
RT com gaseificação, sem biodigestão	25,52	0,00	44,18
RT com incineração, sem biodigestão	25,52	0,00	31,81
RT com incineração, com biodigestão	25,52	11,31	44,18

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 254 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No micro arranjo CONISUD 1, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 25,52 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 14,93 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 44,18 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 23,23 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 255), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 5,48 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 255: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,36	7,08	-13,84
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1,42	32,37	-63,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-2,91	82,32	-160,96
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-4,27	97,74	-191,09
RT com geração de CDR, sem biodigestão	5,48	109,41	-213,92
RT com geração de CDR, com biodigestão	1,15	187,75	-367,11
RT com gaseificação, sem biodigestão	-18,97	178,75	-349,48
RT com incineração, sem biodigestão	-58,91	109,52	-214,10
RT com incineração, com biodigestão	-63,24	159,47	-311,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 255 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 109,41 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 3 municípios do arranjo emitiram 419 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE

promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 213,92 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (51,07%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta VSPL$ . Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o micro arranjo CONISUD 1, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 300,55 milhões, 72,22% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 27,78% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,51 vezes.

Tabela 256: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-46,82	-3,59	-73,59	-124,00
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-149,08	-3,62	-96,06	-248,76
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-312,95	-3,62	-125,49	-442,06
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-338,38	-41,58	-103,63	-483,58
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-217,05	-3,62	-79,89	-300,55
RT com geração de CDR, com biodigestão	-380,92	-3,62	-108,80	-493,33
RT com gaseificação, sem biodigestão	-561,75	-3,62	-231,37	-796,74
RT com incineração, sem biodigestão	-1.014,95	-3,62	-364,84	-1.383,40
RT com incineração, com biodigestão	-1.178,83	-3,62	-394,60	-1.577,05

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 84,27 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 203,59 e R\$ 287,85 milhões, ou seja, 33,88% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 1,38 e 1,2 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 183,04 milhões, ou ainda 13,98% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 1,09 e 0,99 bilhões, intervalo que representa 9,32% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 5,88 no cenário mínimo para 4,8 no cenário máximo. A Tabela 257 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

Tabela 257: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 1.

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	993,77	1.060,26	1.092,55
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-203,59	-248,76	-287,85
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	1.197,36	1.309,02	1.380,40
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	101,30	108,08	111,37
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	64,02%	65,09%	64,95%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	5,88	5,26	4,80

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do micro arranjo CONISUD 1 revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados

gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta VSPL$  (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,18 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,67 e R\$ 1,47 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta VSPL$  é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta VSPL$  se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 7,65%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 258: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONISUD 1.

Rota Tecnológica	$\Delta VSPL$ (R\$, milhões)			Chance do $\Delta VSPL$ ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	96,42	188,49	281,25	32,31%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	644,52	1.027,52	1.419,28	7,28%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	494,21	883,90	1.281,55	22,28%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	468,82	858,38	1.258,85	25,95%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	673,00	1.064,59	1.466,61	7,65%
RT com geração de CDR, com biodigestão	550,35	947,44	1.362,41	21,98%
RT com gaseificação, sem biodigestão	183,81	586,50	999,96	63,33%
RT com incineração, sem biodigestão	-576,53	-170,35	233,44	99,61%

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT com incineração, com biodigestão	-729,89	-315,19	104,74	99,97%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 2. Micro arranjo CONISUD 2

### 2.1. Cenários Prospectivos

No cenário atual da gestão de RSU do micro arranjo CONISUD 2, os 4 municípios integrantes (Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba e São Lourenço da Serra) atendem uma população de 258,81 mil habitantes. A geração de RSU é de 79,86 mil toneladas anuais, sendo que 75,47 mil t/ano são coletadas formalmente. O restante, 4,39 mil t/ano, é coletado informalmente por cerca de 328 catadores autônomos.

Em contraste com a atuação da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável pelo recolhimento de 1,17% do resíduo gerado, sendo que 0,52 mil t/ano são assim recicladas. Estima-se que os municípios atuem na coleta seletiva com 4 caminhões baú e contem com o trabalho de 30 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Na somatória da atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do micro arranjo CONISUD 2 desviam do aterro sanitário o equivalente a 6,14% do que é gerado de RSU.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 12 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 162,98/t, representando 37,86% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 267,47/t). No total, os municípios do arranjo dispendem cerca de R\$ 32,49 milhões por ano, equivalente a R\$ 12,03 *per capita* por mês.

A Tabela 259 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o micro arranjo CONISUD 2.

Tabela 259: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONISUD 2.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	281,71	82,14	4,78	12,02
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	281,71	83,92	4,88	12,28
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	281,71	78,34	8,18	10,92
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	281,71	80,04	8,36	11,16
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	290,03	84,57	4,92	12,02
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	290,03	86,39	5,03	12,28
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	290,03	80,66	8,42	10,92
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	290,03	82,40	8,61	11,16
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	270,98	79,01	4,60	12,03
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	270,98	80,72	4,70	12,28
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	270,98	75,36	7,87	10,93
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	270,98	76,99	8,04	11,16

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas indicam uma variação de 290,03 mil habitantes (ONU+) a 270,98 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 19,05 mil habitantes. No cenário tendencial (combinação 1), a população atendida é de 281,71 mil habitantes, com 82,14 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 4,78 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em termos *per capita*, é de R\$ 12,02 hab/mês. Estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 29 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,39 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário serve como linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6 destaca-se por apresentar a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 4,25 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 18 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,25 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva não requer alterações nos caminhões compactadores em relação ao cenário tendencial, mas mesmo assim elevam os custos da gestão em R\$ 1,82 milhões anuais para dar conta do acréscimo de resíduos, equivalente a uma diferença de R\$ 0,26/hab/mês.

A combinação 11 traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 6,79 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 29 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,39 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 4,45 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,1/hab/mês.

Destaca-se que todas essas combinações são viáveis. Os cenários ilustram os intervalos plausíveis de variação, que geram diferentes consequências para alguns dos dados significativos na gestão de RSU.

Finalmente, um resultado significativo que pode ser apresentado antes mesmo de se investigarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios integrantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o micro arranjo CONISUD 2, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% inferior ao valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 12,02 para R\$ 11,25/hab/mês (redução de 6,47% em relação ao valor do cenário tendencial).

## 2.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONISUD 2, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 82,14 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 118,17 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 11,43 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 163 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 5,13 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 6,09 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 6,85 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONISUD 2 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 281,17 milhões em VPL, compensados em 4,26% pelo total de R\$ 11,98 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 27,44 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 334,06 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 97,41 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 0,98 mil t/ano, efetivamente desviando 0,54 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 4 caminhões baú e com o trabalho de 31 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 260 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o micro arranjo CONISUD 2 não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 260: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-4,77	2,62	3,2
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 1	-4,77	10,65	13,0
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-4,77	29,39	35,8
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-21,20	35,67	43,4
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-4,77	38,77	47,2
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-4,77	57,51	70,0
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-4,77	70,47	85,8
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 16,43 mil t/ano e permite a geração de 3,18 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 11,8 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 6,48. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 35,67 mil t/ano, equivalente a 43,4% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 47,2% e 70%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,8%, ou seja, 70,47 mil toneladas anuais.

A Tabela 261 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o micro arranjo CONISUD 2 quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 261: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	2,62	0,00	0,00	-0,02
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	10,65	0,00	0,00	-0,23
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	10,65	9,49	0,00	-1,35
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	10,65	12,67	0,00	-1,72
RT com geração de CDR, sem biodigestão	10,65	0,00	27,32	-2,24
RT com geração de CDR, com biodigestão	10,65	9,49	27,32	-3,35
RT com gaseificação, sem biodigestão	10,65	0,00	0,00	49,77
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 49,77 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para o arranjo.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 4,77 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,19% do total, requerendo para tal a contratação de 152 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 30,82 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 8,51% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 89 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 241 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 40,13% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no micro arranjo CONISUD 2 se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 73 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,59 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 5 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 24,07 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 1,78 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 40,43 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 24,97 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 51,29, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 14,96.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 8,02 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 2,62 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 0,54 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 10,65 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,96% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 34,54%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,29% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,62% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 33 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 85,74 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 83,42 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 76,38 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 24,97 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 101,35 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 86,59, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 25,25.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONISUD 2 apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 262 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 262: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONISUD 2.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-24,07	-1,78	-40,43	-66,28
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-85,74	-1,71	-83,42	-170,87
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-172,70	-1,53	-113,32	-287,56
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-186,58	-13,34	-105,14	-305,05
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-109,00	-1,45	-80,60	-191,05
RT com geração de CDR, com biodigestão	-195,96	-1,28	-110,50	-307,74
RT com gaseificação, sem biodigestão	-296,85	-1,16	-224,48	-522,48
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 262 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 116,69 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 20,18 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 101,35 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o micro arranjo CONISUD 2, representa a adição de R\$ 18,98 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 263: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONISUD 2.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	24,97	-0,02	0,00	24,95
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	101,35	-0,26	0,00	101,09
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	101,35	-1,51	0,00	99,84
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	101,35	-1,93	0,00	99,42

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	101,35	-2,52	18,98	117,81
RT com geração de CDR, com biodigestão	101,35	-3,77	18,98	116,56
RT com gaseificação, sem biodigestão	101,35	56,01	0,00	157,36
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 263 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 157,36 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,3 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 117,81 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 39,55 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o micro arranjo CONISUD 2.

A Tabela 264 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de

negativos R\$ 41,33 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 264: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONISUD 2.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-41,33	-4,21	51,29	14,96
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-69,78	-7,11	86,59	25,25
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-187,72	-19,14	232,95	67,93
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-205,63	-20,96	255,19	74,41
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-73,24	-7,47	90,89	26,50
RT com geração de CDR, com biodigestão	-191,18	-19,49	237,25	69,18
RT com gaseificação, sem biodigestão	-365,12	-37,22	453,11	132,12
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe do arranjo tem de arcar com a diferença de R\$ 14,96 por ano, ou ainda R\$ 1,25 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 51,29/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 9,22 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,22% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 14,27% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 265 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 2.

*Tabela 265: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 2.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-88,65	-85,74	-87,61
Operação (Opex) da Coleta	4,61	-1,71	-7,11
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-72,55	-83,42	-92,30
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	69,88	76,38	80,33
Receita Recicláveis da Triagem Manual	23,41	24,97	26,53
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-0,59	-0,26	0,08
Resultado Líquido (receitas e despesas)	-63,88	-69,78	-80,08
Valor Anual Equivalente (VAE)	-6,51	-7,11	-8,16
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	24,03	25,25	28,15
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	84,38	86,59	94,49

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ -1,04 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 88,65 a R\$ 87,61 milhões (variação de -1,22% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 7,11

milhões a positivos R\$ 4,61 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 11,72 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 92,3 milhões e negativos R\$ 72,55 milhões. Esse intervalo, de R\$ 19,75 milhões, representa 23,68% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 3,12 milhões (12,48%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 10,45 milhões (13,68%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 10,3 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 80,08 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 7,9/t, ou ainda em um incremento de R\$ 2,9 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 5,9 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 63,88 milhões. Esse cenário promove um aumento de R\$ 2,22/t, ou ainda de R\$ 1,22/hab.ano.

### 2.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONISUD 2 aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 266 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas, respeitando-se as mesmas restrições de escala das tecnologias que se verificou na análise financeira.

Tabela 266: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimen_sional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	80,37	8,19	40,71	2,46
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	370,11	37,73	47,96	3,37
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	283,97	28,95	25,97	2,06
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	275,68	28,10	24,40	1,97
RT com geração de CDR, sem biodigestão	386,82	39,43	41,64	3,18
RT com geração de CDR, com biodigestão	311,05	31,71	25,22	2,08
RT com gaseificação, sem biodigestão	96,11	9,80	12,47	1,20

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 4 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,39 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 39,43 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 41,64%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONISUD 2 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,18 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,37 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 37,73 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 47,96%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 16,71 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,32% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se

revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 37,73 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 8,19 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 40,71%.

Tabela 267: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	44,91	74,17	2,91	1,04
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	182,26	301,02	11,82	4,23
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	182,26	301,02	11,82	4,23
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	182,26	301,02	11,82	4,23
RT com geração de CDR, sem biodigestão	182,26	301,02	11,82	4,23
RT com geração de CDR, com biodigestão	182,26	301,02	11,82	4,23
RT com gaseificação, sem biodigestão	182,26	301,02	11,82	4,23
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 267 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se

que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,5 bilhões. Este resultado representa 94,87% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 35% do total.

Tabela 268: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	8,80	0,00	0,60
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	10,71	0,00	2,45
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	10,71	3,94	6,76
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	10,71	5,26	8,20
RT com geração de CDR, sem biodigestão	10,71	0,00	8,91
RT com geração de CDR, com biodigestão	10,71	3,94	13,22
RT com gaseificação, sem biodigestão	10,71	0,00	16,20
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 268 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No micro arranjo CONISUD 2, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 10,71 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 5,26 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 16,2 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 8,91 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 269), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,1 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 269: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,16	3,00	-5,87
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,59	13,28	-25,96

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-0,92	30,95	-60,52
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1,42	36,66	-71,69
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,10	42,99	-84,06
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,60	70,87	-138,58
RT com gaseificação, sem biodigestão	-6,78	65,83	-128,71
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 269 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 42,99 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 4 municípios do arranjo emitiram 438 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 84,06 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento representativo (19,19%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o micro arranjo CONISUD 2, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 177,21 milhões, 58,75% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 41,25% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,7 vezes.

Tabela 270: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-22,47	-1,56	-31,20	-55,23
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-81,55	-1,58	-73,09	-156,23
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-164,29	-1,58	-100,92	-266,79
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-177,47	-11,99	-93,61	-283,06
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-104,11	-1,58	-71,52	-177,21
RT com geração de CDR, com biodigestão	-186,85	-1,58	-99,18	-287,61
RT com gaseificação, sem biodigestão	-284,98	-1,58	-202,61	-489,17
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 7 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 26,4 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 144 e R\$ 170,4 milhões, ou seja, 16,9% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 0,55 e 0,48 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 69,57 milhões, ou ainda 13,22% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 0,38 e 0,34 bilhões, intervalo que representa 11,67% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 3,36 no cenário mínimo para 3,25 no cenário máximo. A Tabela 271 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como "padrão".

*Tabela 271: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONISUD 2.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	340,22	370,11	383,40
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-144,00	-156,23	-170,40
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	484,23	526,34	553,80

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Valor Anual Equivalente - VAE (ΔVSPL R\$, milhões)	34,68	37,73	39,08
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	44,35%	47,96%	48,41%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	3,36	3,37	3,25

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 7 rotas tecnológicas do micro arranjo CONISUD 2 revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em ΔVSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,5 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,21 e R\$ 0,53 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o ΔVSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do ΔVSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 20,5%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 272: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONISUD 2.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	35,87	73,60	112,93	37,44%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	197,01	348,97	509,39	19,10%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	97,39	252,32	412,70	52,21%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	87,90	243,26	402,88	56,56%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	209,92	363,25	525,15	20,50%
RT com geração de CDR, com biodigestão	119,45	278,23	440,26	51,57%
RT com gaseificação, sem biodigestão	-115,07	43,63	205,17	97,29%
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 3. Micro arranjo CONDEMAT 1

#### 3.1. Cenários Prospectivos

Na gestão de RSU do micro arranjo CONDEMAT 1, os 4 municípios (Arujá, Mairiporã, Nazaré Paulista e Santa Isabel) atualmente atendem uma população de 246,18 mil habitantes. A geração anual de RSU é de 84,99 mil toneladas, com 80,32 mil t/ano sendo coletadas formalmente. Os restantes 4,67 mil t/ano são recicláveis coletados informalmente por, no mínimo, 349 catadores autônomos.

Em contraste com a atuação da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável pelo recolhimento de 3,51% do resíduo gerado, sendo que 1,64 mil t/ano são assim recicladas. Estima-se que os municípios atuem na coleta seletiva com 13,3 caminhões baú e contem com o trabalho de 95 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Na somatória da atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do micro arranjo CONDEMAT 1 desviam do aterro sanitário o equivalente a 7,43% do que é gerado de RSU.

Considerando a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 12 desses veículos. Além disso, o custo atual da coleta é de R\$ 162,11/t, representando 35,62% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 292,96/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 36,55 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,23 *per capita* por mês.

A Tabela 272 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o micro arranjo CONDEMAT 1.

Tabela 273: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONDEMAT 1.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	264,26	86,21	5,01	14,22
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	264,26	88,07	5,12	14,52
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	264,26	82,22	8,59	12,92
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	264,26	84,00	8,77	13,19
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	272,07	88,76	5,16	14,21
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	272,07	90,67	5,27	14,52
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	272,07	84,65	8,84	12,91
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	272,07	86,48	9,03	13,19
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	254,20	82,93	4,82	14,22
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	254,20	84,72	4,93	14,53
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	254,20	79,09	8,26	13,02
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	254,20	80,80	8,44	13,20

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 272,07 (ONU+) a 254,2 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 17,87 mil habitantes. Na combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 264,26 mil habitantes, com 86,21 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 5,01 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 14,22 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 26 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,34 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, por outro lado, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 4,46 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 19 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,26 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 1 caminhão compactador adicional ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 2 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,30/hab/mês.

A combinação 11 traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 7,13 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 31 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 0,41 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 1 caminhão compactador a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 4,66 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,19/hab/mês.

É importante destacar que todas essas combinações são possíveis de ocorrer. Os cenários apresentados indicam os intervalos plausíveis de variação, que resultam em diferentes impactos para alguns dos dados relevantes na gestão de RSU.

Em suma, um resultado significativo que pode ser apresentado antes mesmo de se analisarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, aumenta a quantidade de RSU que cada um de seus municípios integrantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o micro arranjo CONDEMAT 1, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão diminuiu de R\$ 14,22 para R\$ 13,62/hab/mês (redução de 4,17% em relação ao valor do cenário tendencial).

### **3.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira**

#### **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONDEMAT 1, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 86,21 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 381,73 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 33,32 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 188,07 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 15,98 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 6,38 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 7,18 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONDEMAT 1 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 569,8 milhões em VPL, compensados em 4,06% pelo total de R\$ 23,16 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 55,72 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 646,35 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 210,87 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 3,05 mil t/ano, efetivamente desviando 1,68 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 14 caminhões baú e com o trabalho de 97 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 274 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o micro arranjo CONDEMAT 1 não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 274: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-3,65	2,01	2,3
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 1	-3,65	10,22	11,8
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-3,65	29,89	34,7
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-20,89	36,48	42,3
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-3,65	39,72	46,1
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-3,65	59,39	68,9
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-3,65	72,88	84,5
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 17,24 mil t/ano e permite a geração de 3,34 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 22,55 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 10,9. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 36,48 mil t/ano, equivalente a 42,3% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 46,1% e 68,9%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,5%, ou seja, 72,88 mil toneladas anuais.

A Tabela 275 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o micro arranjo CONDEMAT 1 quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 275: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	2,01	0,00	0,00	-0,02
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	10,22	0,00	0,00	-0,23
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	10,22	9,96	0,00	-1,40
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	10,22	13,30	0,00	-1,79
RT com geração de CDR, sem biodigestão	10,22	0,00	28,66	-2,34
RT com geração de CDR, com biodigestão	10,22	9,96	28,66	-3,51
RT com gaseificação, sem biodigestão	10,22	0,00	0,00	52,08
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 52,08 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para o arranjo.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 3,65 mil toneladas anuais e atinge 7,78% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,33% do total, requerendo para tal a contratação de 117 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 32,35 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 6,21% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 68 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 185 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 70,29% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no micro arranjo CONDEMAT 1 se possa atingir os 7,78% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 56 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,12 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 4 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 27,09 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 1,52 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 30,72 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 19,12 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 47,55, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 15,51.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 8,21 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 2,01 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 1,68 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 10,22 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,85% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 31,58%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,77% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,8% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 38 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 89,48 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 72,75 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 78,12 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 19,12 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 97,24 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 78,69, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 25,67.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONDEMAT 1 apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 276 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 276: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-27,09	-1,52	-30,72	-59,32
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-89,48	-1,30	-72,75	-163,53
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-179,16	-0,77	-102,65	-282,58
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-193,12	-23,32	-93,96	-310,40
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-113,56	-0,51	-69,21	-183,27
RT com geração de CDR, com biodigestão	-203,24	0,02	-99,11	-302,32
RT com gaseificação, sem biodigestão	-306,62	0,38	-213,36	-519,59
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 276 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 119,05 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 19,75 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 97,24 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o micro arranjo CONDEMAT 1, representa a adição de R\$ 19,9 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 277: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	19,12	-0,02	0,00	19,10
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	97,24	-0,26	0,00	96,98
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	97,24	-1,58	0,00	95,67
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	97,24	-2,02	0,00	95,23

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	97,24	-2,63	19,90	114,51
RT com geração de CDR, com biodigestão	97,24	-3,95	19,90	113,20
RT com gaseificação, sem biodigestão	97,24	58,61	0,00	155,86
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 277 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 155,86 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 8,2 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 114,51 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 41,34 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o micro arranjo CONDEMAT 1.

A Tabela 278 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de

negativos R\$ 40,22 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 278: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-40,22	-4,10	47,55	15,51
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-66,55	-6,78	78,69	25,67
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-186,91	-19,05	221,01	72,10
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-215,17	-21,93	254,42	83,00
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-68,76	-7,01	81,31	26,53
RT com geração de CDR, com biodigestão	-189,13	-19,28	223,63	72,96
RT com gaseificação, sem biodigestão	-363,74	-37,08	430,09	140,31
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe do arranjo tem de arcar com a diferença de R\$ 15,51 por ano, ou ainda R\$ 1,29 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 47,55/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 9,68 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,78% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 279 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 1.

*Tabela 279: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 1.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-87,09	-89,48	-96,14
Operação (Opex) da Coleta	5,67	-1,30	-7,25
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-61,80	-72,75	-91,22
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	71,41	78,12	82,17
Receita Recicláveis da Triagem Manual	17,30	19,12	20,94
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-0,60	-0,26	0,10
Resultado Líquido (receitas e despesas)	-55,11	-66,55	-91,42
Valor Anual Equivalente (VAE)	-5,62	-6,78	-9,32
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	22,10	25,67	34,25
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	69,36	78,69	102,78

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 9,06 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 87,09 a R\$ 96,14 milhões (variação de 10,12% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 7,25

milhões a positivos R\$ 5,67 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 12,92 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 91,22 milhões e negativos R\$ 61,8 milhões. Esse intervalo, de R\$ 29,42 milhões, representa 40,45% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 3,64 milhões (19,02%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 10,75 milhões (13,77%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 24,87 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 91,42 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 24,09/t, ou ainda em um incremento de R\$ 8,58 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 11,44 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 55,11 milhões. Esse cenário promove um aumento de R\$ 9,33/t, ou ainda de R\$ 3,57/hab.ano.

### 3.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONDEMAT 1 aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 280 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 280: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimen_sional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	53,55	5,46	29,26	2,06
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	353,98	36,08	45,26	3,36
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	266,71	27,19	24,54	2,02
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	249,62	25,45	22,66	1,87
RT com geração de CDR, sem biodigestão	372,45	37,97	39,55	3,18
RT com geração de CDR, com biodigestão	296,02	30,18	24,02	2,04
RT com gaseificação, sem biodigestão	77,97	7,95	11,66	1,16

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 4 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,37 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 37,97 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 39,55%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONDEMAT 1 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,18 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,35 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 36,08 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 45,26%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 18,47 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,96% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se

revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 36,08 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 5,46 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 29,26%.

Tabela 281: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	34,38	56,79	2,23	0,80
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	174,87	288,81	11,34	4,06
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	174,87	288,81	11,34	4,06
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	174,87	288,81	11,34	4,06
RT com geração de CDR, sem biodigestão	174,87	288,81	11,34	4,06
RT com geração de CDR, com biodigestão	174,87	288,81	11,34	4,06
RT com gaseificação, sem biodigestão	174,87	288,81	11,34	4,06
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 281 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se

que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,48 bilhões. Este resultado representa 95,1% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 35% do total.

Tabela 282: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,77	0,00	0,46
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	8,97	0,00	2,35
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	8,97	4,14	6,87
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	8,97	5,52	8,39
RT com geração de CDR, sem biodigestão	8,97	0,00	9,13
RT com geração de CDR, com biodigestão	8,97	4,14	13,65
RT com gaseificação, sem biodigestão	8,97	0,00	16,76
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 282 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No micro arranjo CONDEMAT 1, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 8,97 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 5,52 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 16,76 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 9,13 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 283), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,15 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 283: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,12	2,30	-4,49
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,56	12,81	-25,04

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1,02	31,39	-61,33
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1,54	37,39	-73,05
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,15	43,99	-85,95
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,57	73,27	-143,19
RT com gaseificação, sem biodigestão	-7,16	67,99	-132,84
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 283 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 43,99 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 4 municípios do arranjo emitiram 298 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 85,95 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (28,81%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o micro arranjo CONDEMAT 1, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 170,87 milhões, 63,45% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 36,55% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,69 vezes.

Tabela 284: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-25,29	-1,31	-23,70	-50,30
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-85,07	-1,38	-63,35	-149,80
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-170,39	-1,38	-90,95	-262,71
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-183,65	-21,31	-83,23	-288,18
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-108,42	-1,38	-61,07	-170,87
RT com geração de CDR, com biodigestão	-193,74	-1,38	-88,54	-283,65
RT com gaseificação, sem biodigestão	-294,30	-1,38	-191,99	-487,67
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das rotas simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 45,71 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 131,97 e R\$ 177,67 milhões, ou seja, 30,51% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 0,53 e 0,46 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 73,81 milhões, ou ainda 14,65% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 0,36 e 0,33 bilhões, intervalo que representa 7,94% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 3,48 no cenário mínimo para 3,00 no cenário máximo. A Tabela 285 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como "padrão".

*Tabela 285: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 1.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	327,20	353,98	355,30
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-131,97	-149,80	-177,67
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	459,16	503,77	532,97

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Valor Anual Equivalente - VAE (ΔVSPL R\$, milhões)	33,35	36,08	36,22
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	43,73%	45,26%	43,24%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	3,48	3,36	3,00

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 7 rotas tecnológicas do micro arranjo CONDEMAT 1 revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em ΔVSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,54 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,2 e R\$ 0,51 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o ΔVSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do ΔVSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 20,69%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 286: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONDEMAT 1.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	18,40	47,73	78,14	52,22%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	185,21	335,07	487,60	19,61%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	86,84	236,40	390,88	54,58%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	66,72	217,42	372,57	61,85%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	199,04	351,42	505,76	20,69%
RT com geração de CDR, com biodigestão	110,00	263,85	421,53	53,70%
RT com gaseificação, sem biodigestão	-125,84	26,96	185,56	97,95%
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 4. Micro arranjo CONDEMAT 2

### 4.1. Cenários Prospectivos

No contexto atual da gestão de RSU do micro arranjo CONDEMAT 2, os 7 municípios componentes (Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Mogi das Cruzes, Paraibuna, Poá e Salesópolis) atendem uma população de 828,4 mil habitantes. A geração de RSU é de 469,48 mil t/ano, das quais 443,67 mil t/ano são destinadas à coleta formal. O restante, 25,81 mil t/ano, é coletado informalmente por aproximadamente 1.929 catadores autônomos.

Em oposição à catação informal, a coleta seletiva formal é responsável por recolher 2,14% do resíduo gerado, reciclando 5,54 mil t/ano. Estima-se que os municípios operem na coleta seletiva com 45 caminhões baú e contem com 321 triadores formais. No total, a coleta seletiva formal e informal nos municípios do micro arranjo CONDEMAT 2 desvia do aterro sanitário aproximadamente 6,68% do RSU gerado.

Com a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 68 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 165,37/t, representando 37,62% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 274,22/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 195,03 milhões por ano, equivalente a R\$ 22,57 *per capita* por mês.

A Tabela 287 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o micro arranjo CONDEMAT 2.

Tabela 287: Cenários prospectivos para o micro arranjo CONDEMAT 2.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	868,61	465,20	27,06	22,56
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	868,61	475,24	27,64	23,05
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	868,61	443,65	46,33	20,58
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	868,61	453,24	47,34	21,02
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	894,26	478,94	27,86	22,56
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	894,26	489,27	28,46	23,05
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	894,26	456,74	47,70	20,58
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	894,26	466,62	48,73	21,02
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	835,52	447,48	26,03	22,56
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	835,52	457,13	26,59	23,05
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	835,52	426,74	44,57	20,58
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	835,52	435,97	45,53	21,02

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas indicam uma variação de 894,26 mil habitantes (ONU+) a 835,52 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 58,74 mil habitantes. No cenário tendencial (combinação 1), a população atendida é de 868,61 mil habitantes, com 465,2 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 27,06 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em termos *per capita*, é de R\$ 22,56 hab/mês. Estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 94 novos catadores para lidar com o acréscimo de 1,25 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário serve como linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, por outro lado, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 24,06 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 105 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 1,4 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 4 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 10,55 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,48/hab/mês.

A combinação 11 é a que traz a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 38,46 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 167 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 2,24 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 6 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 25,07 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,98/hab/mês.

Salienta-se que qualquer uma dessas combinações é possível. Os cenários apontam os intervalos plausíveis de variação, resultando em diferentes impactos para alguns dos dados cruciais na gestão de RSU.

Por fim, um resultado importante que pode ser apresentado mesmo antes de se perscrutarem as rotas tecnológicas é dado pelo papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, minimamente, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios partícipes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o micro arranjo CONDEMAT 2, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de R\$ 100/t, utilizado como referência. Simulando-se essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 22,56 para R\$ 21,2/hab/mês (redução de 6,02% sobre o valor do cenário tendencial).

## 4.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo CONDEMAT 2, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta das 465,2 mil toneladas médias de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 671,76 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 11,28 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 952,94 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 57,66 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 35,16 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 39,57 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo CONDEMAT 2 tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1624,7 milhões em VPL, compensados em 5,98% pelo total de R\$ 97,23 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 155,71 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 334,71 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 179,26 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 10,69 mil t/ano, efetivamente desviando 5,88 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 47 caminhões baú e com o trabalho de 341 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 288 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o micro arranjo CONDEMAT 2 apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 288: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-22,23	12,23	2,6
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-22,23	52,70	11,3
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 3	-22,23	163,79	35,2
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 4	-115,27	199,37	42,9
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-22,23	208,03	44,7
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 3	-22,23	319,12	68,6
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-22,23	396,13	85,2
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 2	-22,23	285,03	61,3
RT com incineração, com biodigestão	Grau 2	-22,23	396,13	85,2

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 93,04 mil t/ano e permite a geração de 18,01 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 94,37 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 16,29. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 199,37 mil t/ano, equivalente a 42,9% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 44,7% e 68,6%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,2%, ou seja, 396,13 mil toneladas anuais.

A Tabela 289 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o micro arranjo CONDEMAT 2 quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 289: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	12,23	0,00	0,00	-0,10
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	52,70	0,00	0,00	-1,17
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	52,70	56,24	0,00	-7,77
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	52,70	74,26	0,00	-9,88
RT com geração de CDR, sem biodigestão	52,70	0,00	150,89	-12,51
RT com geração de CDR, com biodigestão	52,70	56,24	150,89	-19,11
RT com gaseificação, sem biodigestão	52,70	0,00	0,00	281,14
RT com incineração, sem biodigestão	52,70	0,00	0,00	137,70
RT com incineração, com biodigestão	52,70	56,24	0,00	131,10

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 281,14 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 131,1 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 22,23 mil toneladas anuais e atinge 7,08% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,63% do total, requerendo para tal a contratação de 710 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 159,39 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,67% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 415 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 1125 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 53,5% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no micro arranjo CONDEMAT 2 se possa atingir os 7,08% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 341 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 3,93 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 25 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 95,25 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 7,73 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 185,75 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 119,9 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 37,02, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 19,83.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 40,47 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 12,23 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 5,88 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 52,7 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,33% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,06%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,75% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,59% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 176 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 266,79 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 127,18 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 396,86 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 119,9 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 516,76 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 25, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma

redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 13,39 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONDEMAT 2 apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 290 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 290: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo CONDEMAT 2.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-95,25	-7,73	-185,75	-288,73
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-266,79	-7,37	-127,18	-401,34
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-599,13	-6,36	-177,87	-783,36
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-661,08	-100,73	-157,97	-919,77
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-394,92	-5,96	-72,38	-473,26
RT com geração de CDR, com biodigestão	-727,26	-4,95	-123,07	-855,28
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.047,52	-4,25	-288,76	-1.340,53
RT com incineração, sem biodigestão	-1.801,02	-5,26	-593,76	-2.400,04
RT com incineração, com biodigestão	-2.133,36	-4,25	-644,45	-2.782,06

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 290 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 382,02 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 71,92 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 516,76 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o micro arranjo CONDEMAT 2, representa a adição de R\$ 104,8 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 291: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	119,90	-0,11	0,00	119,79
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	516,76	-1,31	0,00	515,45
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	516,76	-8,74	0,00	508,02
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	516,76	-11,12	0,00	505,64
RT com geração de CDR, sem biodigestão	516,76	-14,08	104,80	607,48
RT com geração de CDR, com biodigestão	516,76	-21,51	104,80	600,05
RT com gaseificação, sem biodigestão	516,76	316,39	0,00	833,15
RT com incineração, sem biodigestão	516,76	154,96	0,00	671,72
RT com incineração, com biodigestão	516,76	147,54	0,00	664,30

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 291 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 833,15 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 7 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 671,72 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 161,43 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as

diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o micro arranjo CONDEMAT 2.

A Tabela 292 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 134,22 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 292: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-168,94	-17,22	37,02	19,83
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	114,11	11,63	-25,00	-13,39
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-275,34	-28,07	60,33	32,31
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-414,13	-42,22	90,75	48,60
RT com geração de CDR, sem biodigestão	134,22	13,68	-29,41	-15,75
RT com geração de CDR, com biodigestão	-255,23	-26,02	55,93	29,95
RT com gaseificação, sem biodigestão	-507,38	-51,72	111,18	59,55
RT com incineração, sem biodigestão	-1.728,31	-176,18	378,72	202,83
RT com incineração, com biodigestão	-2.117,76	-215,88	464,06	248,54

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a

opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 15,75 por ano por habitante (R\$ 29,41/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 52,22 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,36% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 293 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 2.

*Tabela 293: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 2.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-254,02	-266,79	-277,70
Operação (Opex) da Coleta	28,89	-7,37	-38,36
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-69,18	-127,18	-178,20
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	361,70	396,86	417,39
Receita Recicláveis da Triagem Manual	110,89	119,90	129,08
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-3,21	-1,31	0,67
Resultado Líquido (receitas e despesas)	175,08	114,11	52,88
Valor Anual Equivalente (VAE)	17,85	11,63	5,39
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-21,36	-13,39	-6,03
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-40,84	-25,00	-11,02

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 23,69 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 254,02 a R\$ 277,7 milhões (variação de 8,88% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 38,36 milhões a positivos R\$ 28,89 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 67,25 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 178,2 milhões e negativos R\$ 69,18 milhões. Esse intervalo, de R\$ 109,02 milhões, representa 85,72% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 18,19 milhões (15,17%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 55,69 milhões (14,03%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 61,23 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 52,88 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 13,99/t, ou ainda em um incremento de R\$ 7,36 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 60,97 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 175,08 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 15,83/t, ou ainda R\$ 7,97/hab.ano.

### 4.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo CONDEMAT 2 aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ V SPL positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade

dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de todas as RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 294 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 294: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	408,84	41,68	48,20	2,71
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.304,70	234,94	77,20	7,27
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.085,01	212,54	41,44	3,86
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	2.004,60	204,35	37,82	3,34
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2.428,42	247,55	60,33	6,44
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.268,44	231,24	38,12	3,81
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.742,81	177,66	25,83	2,37
RT com incineração, sem biodigestão	466,92	47,60	11,71	1,20
RT com incineração, com biodigestão	245,70	25,05	9,97	1,09

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a

sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 7 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 2,43 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 247,55 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 60,33%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo CONDEMAT 2 na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 6,44 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 2,3 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 234,94 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 77,2%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 123,73 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,09% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 234,94 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 41,68 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 48,2%.

Tabela 295: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	213,87	356,99	13,52	4,86
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com geração de CDR, sem biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com geração de CDR, com biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com gaseificação, sem biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com incineração, sem biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94
RT com incineração, com biodigestão	921,78	1.538,63	58,29	20,94

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 295 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 2,54 bilhões. Este resultado representa 95,04% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção

(61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 296: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	41,09	0,00	2,81
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	51,28	0,00	12,12
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	51,28	23,35	37,66
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	51,28	30,83	45,84
RT com geração de CDR, sem biodigestão	51,28	0,00	47,83
RT com geração de CDR, com biodigestão	51,28	23,35	73,37
RT com gaseificação, sem biodigestão	51,28	0,00	91,07
RT com incineração, sem biodigestão	51,28	0,00	65,53
RT com incineração, com biodigestão	51,28	23,35	91,07

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 296 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No micro arranjo CONDEMAT 2, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 51,28 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 30,83 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 91,07 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta VSPL$  (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 47,83 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 297), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 11,28 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 297: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,72	14,06	-27,50
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2,90	66,13	-129,32
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-6,04	169,28	-330,99
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-8,85	201,09	-393,20
RT com geração de CDR, sem biodigestão	11,28	225,17	-440,28
RT com geração de CDR, com biodigestão	2,34	386,91	-756,59
RT com gaseificação, sem biodigestão	-39,20	368,34	-720,20
RT com incineração, sem biodigestão	-121,63	225,40	-440,69
RT com incineração, com biodigestão	-130,57	328,55	-642,36

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 297 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 225,17 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 7 municípios do arranjo emitiram 632 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE

promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 440,28 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (69,61%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o micro arranjo CONDEMAT 2, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 446,77 milhões, 84,5% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 15,5% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,44 vezes.

Tabela 298: Custos sociais nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-88,93	-6,86	-143,32	-239,11
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-253,26	-6,88	-107,23	-367,38
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-569,45	-6,88	-153,83	-730,17
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-628,20	-89,95	-137,08	-855,23
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-377,53	-6,88	-62,36	-446,77
RT com geração de CDR, com biodigestão	-693,71	-6,88	-107,87	-808,46
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.005,72	-6,88	-255,73	-1.268,33
RT com incineração, sem biodigestão	-1.750,87	-6,88	-535,56	-2.293,31

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT com incineração, com biodigestão	-2.067,08	-6,88	-583,66	-2.657,62

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeram-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 173,24 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 274,58 e R\$ 447,83 milhões, ou seja, 47,16% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 2,82 e 2,44 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 378,3 milhões, ou ainda 14,16% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 2,37 e 2,17 bilhões, intervalo que representa 8,9% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 8,89 no cenário mínimo para 6,3 no cenário máximo. A Tabela 299 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como "padrão".

Tabela 299: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo CONDEMAT 2.

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	2.166,87	2.304,70	2.371,92
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-274,58	-367,38	-447,83
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	2.441,46	2.672,07	2.819,75
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	220,89	234,94	241,79
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	76,53%	77,20%	76,62%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	8,89	7,27	6,30

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do micro arranjo CONDEMAT 2 revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,03 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 1,6 e R\$ 3,23 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 2,57%, a menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas

representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 300: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo CONDEMAT 2.

Rota Tecnológica	ΔVSPL (R\$, milhões)			Chance do ΔVSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	205,85	378,91	577,26	29,75%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.493,32	2.234,83	3.104,07	2,65%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.229,93	1.980,08	2.856,69	12,53%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.137,71	1.884,80	2.764,77	17,32%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.596,99	2.351,61	3.233,92	2,57%
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.391,32	2.158,88	3.053,20	10,92%
RT com gaseificação, sem biodigestão	822,39	1.584,18	2.473,30	39,48%
RT com incineração, sem biodigestão	-551,71	217,94	1.091,18	95,31%
RT com incineração, com biodigestão	-828,55	-29,47	850,76	98,37%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 5. Micro arranjo ABC

### 5.1. Cenários Prospectivos

Na cena atual da gestão de RSU do micro arranjo Grande ABC, seus 4 municípios componentes (Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e São Caetano do Sul) atualmente atendem a uma população de 748,31 mil habitantes. A geração atual de RSU é de 225,19 mil t/ano, sendo que 212,81 mil t/ano são disponibilizados para a coleta formal. O restante, 12,38 mil t/ano, são materiais recicláveis coletados informalmente pela atuação de, no mínimo, 925 coletores autônomos.

Em comparação com a catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 1,03% do resíduo gerado, reciclando 1,28 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 10 caminhões baú e contem com o trabalho de 74 triadores formais na coleta seletiva. Somando a atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do micro arranjo Pequeno ABC desviam do aterro sanitário cerca de 6,06% do RSU gerado.

Com base na eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 33 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 148,27/t, o que representa 36,89% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 253,63/t). No total, os municípios do arranjo gastam aproximadamente R\$ 88,99 milhões por ano, equivalente a R\$ 10,95 *per capita* por mês.

A Tabela 301 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o micro arranjo Pequeno ABC.

Tabela 301: Cenários prospectivos para o micro arranjo Pequeno ABC.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	778,59	221,42	12,88	11,40
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	778,59	226,20	13,16	11,64
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	778,59	211,16	22,05	10,36
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	778,59	215,75	22,53	10,58
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	801,58	227,96	13,26	11,40
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	801,58	232,88	13,55	11,64
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	801,58	217,40	22,71	10,36
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	801,58	222,12	23,20	10,58
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	748,93	212,99	12,39	11,40
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	748,93	217,58	12,66	11,64
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	748,93	203,12	21,21	10,36
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	748,93	207,53	21,67	10,58

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas mostram uma variação de 801,58 mil habitantes (ONU+) a 748,93 mil habitantes (ONU-), um intervalo de 52,65 mil habitantes. Na combinação 1, considerada o cenário tendencial, a população atendida é de 778,59 mil habitantes, com 221,42 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 12,88 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, *per capita*, é de R\$ 11,4 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 37 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,5 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 11,46 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 50 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,67 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 2 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 4,78 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,24/hab/mês.

A combinação 11 traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 18,3 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 80 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 1,06 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 3 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 11,66 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,04/hab/mês.

Destaca-se que todas essas combinações são viáveis. Os cenários ilustram os intervalos plausíveis de variação, que geram diferentes consequências para alguns dos dados significativos na gestão de RSU.

Concluindo, um resultado relevante que pode ser apresentado antes mesmo de se explorarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios participantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o micro arranjo ABC, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% inferior ao valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão caiu de R\$ 11,4 para R\$ 10,86/hab/mês (redução de 4,74% em relação ao valor do cenário tendencial).

## 5.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o micro arranjo ABC, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta dos 221,42 mil toneladas médios de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 176,59 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 6,39 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 434,43 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 12,22 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 16,36 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 18,41 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do micro arranjo ABC tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 611,03 milhões em VPL, compensados em 5,01% pelo total de R\$ 30,64 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 59,16 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 267,2 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 75,99 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 2,42 mil t/ano, efetivamente desviando 1,33 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 11 caminhões baú e com o trabalho de 77 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 302 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o micro arranjo ABC apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 302: Grau de escala e resultados das RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-13,08	7,19	3,2
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-13,08	28,31	12,8
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 2	-13,08	77,50	35,0
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 2	-57,37	94,43	42,6
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 4	-13,08	103,37	46,7
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 2	-13,08	152,56	68,9
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 3	-13,08	189,76	85,7
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 1	-13,08	140,58	63,5
RT com incineração, com biodigestão	Grau 1	-13,08	189,76	85,7

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 44,28 mil t/ano e permite a geração de 8,57 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 30,3 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 1,58. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 94,43 mil t/ano, equivalente a 42,6% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 46,7% e 68,9%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,7%, ou seja, 189,76 mil toneladas anuais.

A Tabela 303 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o micro arranjo ABC quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 303: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	7,19	0,00	0,00	-0,11
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	28,31	0,00	0,00	-0,75
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	28,31	24,90	0,00	-3,68
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	28,31	33,48	0,00	-4,68
RT com geração de CDR, sem biodigestão	28,31	0,00	72,92	-6,19
RT com geração de CDR, com biodigestão	28,31	24,90	72,92	-9,12
RT com gaseificação, sem biodigestão	28,31	0,00	0,00	136,10
RT com incineração, sem biodigestão	28,31	0,00	0,00	66,96
RT com incineração, com biodigestão	28,31	24,90	0,00	64,04

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 136,1 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 64,04 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 13,08 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,25% do total, requerendo para tal a contratação de 418 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 81,48 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 8,83% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 244 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 662 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 42,91% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no micro arranjo ABC se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 201 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,58 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 15 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 49,41 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 4,78 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 109,33 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 66,09 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 44,92, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 12,77.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 21,11 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 7,19 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 1,33 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 28,31 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,78% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 34,74%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 85 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 155,11 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 125,27 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 193,96 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 66,09 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 260,05 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 11,9, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 3,39.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo ABC apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 304 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 304: Resultados para as despesas das RT do micro arranjo ABC.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-49,41	-4,78	-109,33	-163,52
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-155,11	-4,68	-125,27	-285,05
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-319,06	-4,42	-160,24	-483,72
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-337,19	-34,73	-122,77	-494,69
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-225,09	-4,29	-104,85	-334,24
RT com geração de CDR, com biodigestão	-389,04	-4,04	-139,83	-532,91
RT com gaseificação, sem biodigestão	-573,76	-3,85	-275,42	-853,02
RT com incineração, sem biodigestão	-1.040,94	-4,10	-415,66	-1.460,70
RT com incineração, com biodigestão	-1.204,88	-3,85	-450,64	-1.659,37

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 304 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 198,67 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 49,18 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 260,05 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o micro arranjo ABC, representa a adição de R\$ 50,65 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 305: Resultados para as receitas acessórias das RT do micro arranjo ABC.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	66,09	-0,12	0,00	65,96
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	260,05	-0,85	0,00	259,20
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	260,05	-4,14	0,00	255,91
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	260,05	-5,27	0,00	254,78
RT com geração de CDR, sem biodigestão	260,05	-6,97	50,65	303,72
RT com geração de CDR, com biodigestão	260,05	-10,26	50,65	300,43
RT com gaseificação, sem biodigestão	260,05	153,17	0,00	413,22
RT com incineração, sem biodigestão	260,05	75,36	0,00	335,40
RT com incineração, com biodigestão	260,05	72,07	0,00	332,12

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 305 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 413,22 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,3 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 335,4 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 77,81 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as

diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o micro arranjo ABC.

A Tabela 306 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 25,85 milhões (VPL) da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 306: Resultados de viabilidade financeira das RT do micro arranjo ABC.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-97,56	-9,95	44,92	12,77
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-25,85	-2,64	11,90	3,39
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-227,81	-23,22	104,88	29,83
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-239,91	-24,46	110,45	31,41
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-30,52	-3,11	14,05	4,00
RT com geração de CDR, com biodigestão	-232,47	-23,70	107,03	30,44
RT com gaseificação, sem biodigestão	-439,80	-44,83	202,47	57,58
RT com incineração, sem biodigestão	-1.125,29	-114,71	518,06	147,33
RT com incineração, com biodigestão	-1.327,25	-135,30	611,04	173,77

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada município do arranjo tem de arcar com a diferença de R\$ 3,39 por ano, ou ainda R\$ 0,28 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária

por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 11,9/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 24,86 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 14,5% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 307 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo ABC.

Tabela 307: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo ABC.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-148,95	-155,11	-160,36
Operação (Opex) da Coleta	12,23	-4,68	-19,12
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-97,93	-125,27	-149,37
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	176,99	193,96	203,99
Receita Recicláveis da Triagem Manual	62,15	66,09	70,14
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-1,71	-0,85	0,06
Resultado Líquido (receitas e despesas)	2,77	-25,85	-54,67
Valor Anual Equivalente (VAE)	0,28	-2,64	-5,57
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-0,38	3,39	6,95
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-1,36	11,90	23,93

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 11,41 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 148,95 a R\$ 160,36 milhões (variação de 7,36% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 19,12 milhões a positivos R\$ 12,23 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 31,35 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 149,37 milhões e negativos R\$ 97,93 milhões. Esse intervalo, de R\$ 51,44 milhões, representa 41,06% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 7,99 milhões (12,09%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 27,01 milhões (13,92%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 28,81 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 54,67 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz

em um acréscimo de R\$ 12,03/t, ou ainda em um incremento de R\$ 3,57 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 28,63 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 2,77 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 13,26/t, ou ainda R\$ 3,76/hab.ano.

### 5.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o micro arranjo ABC aponta resultados promissores: 8 das 9 RT apresentam  $\Delta$ VSP/L positivo, ou seja, para estas, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 8 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das 8 RT positivas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 308 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 308: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	232,50	23,70	51,18	2,73
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.122,63	114,44	68,13	5,33
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	998,51	101,79	38,58	3,23
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.009,38	102,89	37,45	3,20
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.171,54	119,43	53,71	4,77
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.074,59	109,54	35,21	3,15
RT com gaseificação, sem biodigestão	742,49	75,69	22,41	1,93
RT com incineração, sem biodigestão	33,34	3,40	8,92	1,02
RT com incineração, com biodigestão	-91,04	-9,28	7,49	0,94

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 89% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 4 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 1,17 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 119,43 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 53,71%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo micro arranjo ABC na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 4,77 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 1,12 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 114,44 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 68,13%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 48,9 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,17% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 114,44 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 23,7 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 51,18%.

Tabela 309: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	119,11	200,99	9,02	3,30
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	468,69	790,88	35,47	12,99

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com geração de CDR, sem biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99
RT com geração de CDR, com biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99
RT com gaseificação, sem biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99
RT com incineração, sem biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99
RT com incineração, com biodigestão	468,69	790,88	35,47	12,99

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 309 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 1,31 bilhões. Este resultado representa 94,67% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60,46% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 35,83% do total.

Tabela 310: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	24,19	0,00	1,65

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,11	0,00	6,51
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	29,11	10,34	17,82
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	29,11	13,90	21,71
RT com geração de CDR, sem biodigestão	29,11	0,00	23,77
RT com geração de CDR, com biodigestão	29,11	10,34	35,08
RT com gaseificação, sem biodigestão	29,11	0,00	43,63
RT com incineração, sem biodigestão	29,11	0,00	32,32
RT com incineração, com biodigestão	29,11	10,34	43,63

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 310 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No micro arranjo ABC, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 29,11 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 13,9 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 43,63 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 23,77 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade

positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 5,61 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 311: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,43	8,52	-16,66
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1,56	36,40	-71,18
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-2,39	83,22	-162,75
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-3,74	98,77	-193,15
RT com geração de CDR, sem biodigestão	5,61	115,98	-226,81
RT com geração de CDR, com biodigestão	1,65	189,45	-370,51
RT com gaseificação, sem biodigestão	-18,42	180,87	-353,70
RT com incineração, sem biodigestão	-58,61	116,16	-227,15
RT com incineração, com biodigestão	-62,57	162,98	-318,72

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 311 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 115,98 milhões em

benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 4 municípios do arranjo emitiram 1170 mil tCO<sub>2eq.</sub> apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 226,81 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento representativo (19,39%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta VSPL$ . Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais. A opção de maior resultado líquido para o micro arranjo ABC, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 310,97 milhões, 69,22% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 30,78% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,54 vezes.

Tabela 312: Custos sociais nas RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-46,13	-4,22	-84,35	-134,70
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-147,39	-4,23	-107,37	-258,99
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-303,39	-4,23	-140,01	-447,63

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-320,51	-30,89	-107,02	-458,42
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-215,26	-4,23	-91,48	-310,97
RT com geração de CDR, com biodigestão	-371,26	-4,23	-123,59	-499,07
RT com gaseificação, sem biodigestão	-550,87	-4,23	-245,63	-800,74
RT com incineração, sem biodigestão	-1.012,07	-4,23	-377,38	-1.393,68
RT com incineração, com biodigestão	-1.168,08	-4,23	-410,27	-1.582,58

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 82,13 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 215,02 e R\$ 297,15 milhões, ou seja, 31,71% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 1,45 e 1,27 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 184,01 milhões, ou ainda 13,32% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 1,16 e 1,05 bilhões, intervalo que representa 9,08% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e

bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 5,9 no cenário mínimo para 4,89 no cenário máximo. A Tabela 313 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 313: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do micro arranjo ABC.*

	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	1.054,28	1.122,63	1.156,16
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-215,02	-258,99	-297,15
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	1.269,30	1.381,62	1.453,31
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	107,47	114,44	117,86
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	67,09%	68,13%	67,97%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	5,90	5,33	4,89

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do micro arranjo ABC revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Na Tabela 314 revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,15 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,73 e R\$ 1,56 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites

“pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 6,76%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 314: Resultados da análise de risco nas RT do micro arranjo ABC.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	114,96	214,11	323,66	29,71%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	686,45	1.078,23	1.512,37	6,14%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	540,25	940,05	1.371,03	19,63%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	549,13	950,50	1.380,50	19,86%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	725,53	1.124,87	1.560,12	6,76%
RT com geração de CDR, com biodigestão	600,68	1.008,33	1.450,04	19,59%
RT com gaseificação, sem biodigestão	241,88	650,34	1.083,12	59,34%
RT com incineração, sem biodigestão	-526,64	-115,90	313,89	99,13%
RT com incineração, com biodigestão	-675,79	-255,09	178,40	99,84%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## APÊNDICE 3 – RESULTADOS DOS ARRANJOS POR REGIÕES GEOGRÁFICAS

Os resultados completos de cada um dos arranjos intermunicipais propostos sob a lógica orientadora de regiões geográficas são apresentados abaixo. A análise da gestão de resíduos sólidos urbanos inicia com os cenários prospectivos, e na sequência aborda os resultados das diferentes rotas tecnológicas e seus impactos técnicos, financeiros e socioeconômicos.

São abordados os aspectos quantitativos, os resultados financeiros (Capex, Opex e receitas acessórias), e também os resultados da análise socioeconômica de custo-benefício e seus efeitos ambientais e sociais, incluindo emissões de gases de efeito estufa e benefícios da reciclagem.

## 1. Região Sudeste

### 1.1. Cenários Prospectivos

Na cena atual da gestão de RSU do arranjo regional Sudeste, seus 6 municípios componentes (Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) atualmente atendem a uma população de 2.405,16 mil habitantes. A geração atual de RSU é de 810,63 mil t/ano, sendo que 766,06 mil t/ano são disponibilizados para a coleta formal. O restante, 44,56 mil t/ano, são materiais recicláveis coletados informalmente pela atuação de, no mínimo, 3330 coletores autônomos.

Em comparação com a catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 2,89% do resíduo gerado, reciclando 12,91 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 104 caminhões baú e contem com o trabalho de 749 triadores formais na coleta seletiva. Somando a atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do arranjo regional Sudeste desviam do aterro sanitário cerca de 7,09% do RSU gerado.

Considerando a eficiência média de um caminhão compactador de RSU utilizado na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 116 desses veículos. Além disso, o custo atual da coleta é de R\$ 160,16/t, representando 36,22% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 282,05/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 338,76 milhões por ano, equivalente a R\$ 13,5 *per capita* por mês.

A Tabela 315 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo regional Sudeste.

Tabela 315: Cenários prospectivos para o arranjo regional Sudeste.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.413,57	768,74	44,72	13,50
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.413,57	785,29	45,68	13,79
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.413,57	733,16	76,57	12,31
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.413,57	748,95	78,22	12,57
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.484,83	791,44	46,04	13,50
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.484,83	808,47	47,03	13,79
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.484,83	754,81	78,83	12,31
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.484,83	771,06	80,53	12,57
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.321,62	739,46	43,01	13,50
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.321,62	755,37	43,94	13,79
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.321,62	705,23	73,66	12,31
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.321,62	720,42	75,24	12,58

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 2.484,83 (ONU+) a 2.321,62 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 163,21 mil habitantes. Na combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 2.413,57 mil habitantes, com 768,74 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 44,72 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 13,5 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 12 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,16 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, por outro lado, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 39,73 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 173 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 2,31 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 6 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 17,53 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,29/hab/mês.

A combinação 11, por sua vez, apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 63,51 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 276 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 3,69 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 10 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 41,75 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,19/hab/mês.

É importante destacar que todas essas combinações são possíveis de ocorrer. Os cenários apresentados indicam os intervalos plausíveis de variação, que resultam em diferentes impactos para alguns dos dados relevantes na gestão de RSU.

Em suma, um resultado significativo que pode ser apresentado antes mesmo de se analisarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, aumenta a quantidade de RSU que cada um de seus municípios integrantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o arranjo regional Sudeste, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão diminuiu de R\$ 13,5 para R\$ 12,91/hab/mês (redução de 4,4% em relação ao valor do cenário tendencial).

## 1.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Sudeste, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta dos 768,74 mil toneladas médios de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 1475,92 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 14,82 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1622,62 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 119,16 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia

elétrica, que monta em 56,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 63,79 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Sudeste tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 3098,53 milhões em VPL, compensados em 5,9% pelo total de R\$ 182,95 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 297,21 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 386,62 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 123,14 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 23,59 mil t/ano, efetivamente desviando 12,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 105 caminhões baú e com o trabalho de 753 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 316 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo regional Sudeste apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 316: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-30,23	16,62	2,2
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 5	-30,23	89,93	11,7
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 4	-30,23	260,70	33,9
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 4	-183,98	319,50	41,6
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-30,23	350,54	45,6
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 4	-30,23	521,31	67,8
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-30,23	650,47	84,6
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 2	-30,23	479,70	62,4
RT com incineração, com biodigestão	Grau 2	-30,23	650,47	84,6

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 153,75 mil t/ano e permite a geração de 29,77 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 192,9 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 5,19. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 319,5 mil t/ano, equivalente a 41,6% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 45,6% e 67,8%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,6%, ou seja, 650,47 mil toneladas anuais.

A Tabela 317 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo regional Sudeste quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 317: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	16,62	0,00	0,00	-0,26
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	89,93	0,00	0,00	-2,49
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	89,93	86,46	0,00	-12,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	89,93	116,22	0,00	-16,13
RT com geração de CDR, sem biodigestão	89,93	0,00	253,16	-21,38
RT com geração de CDR, com biodigestão	89,93	86,46	253,16	-31,52
RT com gaseificação, sem biodigestão	89,93	0,00	0,00	472,65
RT com incineração, sem biodigestão	89,93	0,00	0,00	232,60
RT com incineração, com biodigestão	89,93	86,46	0,00	222,46

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 472,65 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 222,46 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 30,23 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,16% do total, requerendo para tal a contratação de 965 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 282,89 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 5,88% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 565 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 1530 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 32,21% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo regional Sudeste se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 464 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 1,92 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 34 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 148,77 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 10,87 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 250,18 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 152,72 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 34,13, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 10,87.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 73,31 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 16,62 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 12,97 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 89,93 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,7% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 31,79%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 328 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 433,51 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 196,01 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 673,39 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 152,72 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 826,11 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 24,37, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há

uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 7,76 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Sudeste apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 318 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 318: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Sudeste.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-148,77	-10,87	-250,18	-409,82
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-433,51	-10,00	-196,01	-639,52
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-911,62	-7,96	-270,28	-1.189,86
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-969,66	-200,86	-138,39	-1.308,91
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-611,19	-6,89	-80,25	-698,33
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.089,30	-4,86	-154,51	-1.248,67
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.689,38	-3,32	-386,96	-2.079,66
RT com incineração, sem biodigestão	-2.413,96	-5,36	-789,51	-3.208,83
RT com incineração, com biodigestão	-2.892,07	-3,32	-863,77	-3.759,17

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 317 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 550,34 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 58,81 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 826,11 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo regional Sudeste, representa a adição de R\$ 175,83 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 319: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Sudeste.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	152,72	-0,29	0,00	152,43
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	826,11	-2,80	0,00	823,30
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	826,11	-14,22	0,00	811,88
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	826,11	-18,15	0,00	807,95
RT com geração de CDR, sem biodigestão	826,11	-24,06	175,83	977,88
RT com geração de CDR, com biodigestão	826,11	-35,48	175,83	966,46
RT com gaseificação, sem biodigestão	826,11	531,93	0,00	1.358,03
RT com incineração, sem biodigestão	826,11	261,78	0,00	1.087,88
RT com incineração, com biodigestão	826,11	250,36	0,00	1.076,46

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 319 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1358,03 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 8,9 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1087,88 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 270,15 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser

auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo regional Sudeste.

A Tabela 320 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 279,55 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 320: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Sudeste.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-257,39	-26,24	34,13	10,87
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	183,78	18,73	-24,37	-7,76
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-377,97	-38,53	50,12	15,96
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-500,96	-51,07	66,43	21,16
RT com geração de CDR, sem biodigestão	279,55	28,50	-37,07	-11,81
RT com geração de CDR, com biodigestão	-282,21	-28,77	37,42	11,92
RT com gaseificação, sem biodigestão	-721,63	-73,56	95,69	30,48
RT com incineração, sem biodigestão	-2.120,95	-216,21	281,25	89,58
RT com incineração, com biodigestão	-2.682,70	-273,47	355,74	113,31

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão

dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 11,81 por ano por habitante (R\$ 37,07/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 86,24 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,22% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,84% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 321 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Sudeste.

*Tabela 321: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Sudeste.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-412,65	-433,51	-451,32
Operação (Opex) da Coleta	50,45	-10,00	-61,66
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-101,18	-196,01	-279,62
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	614,49	673,39	708,19
Receita Recicláveis da Triagem Manual	139,06	152,72	166,77
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-5,78	-2,80	0,35
Resultado Líquido (receitas e despesas)	284,39	183,78	82,71
Valor Anual Equivalente (VAE)	28,99	18,73	8,43
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-12,49	-7,76	-3,39
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-40,14	-24,37	-10,43

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 38,67 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 412,65 a R\$ 451,32 milhões (variação de 8,92% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 61,66 milhões a positivos R\$ 50,45 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 112,11 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 279,62 milhões e negativos R\$ 101,18 milhões. Esse intervalo, de R\$ 178,44 milhões, representa 91,03% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 27,7 milhões (18,14%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 93,7 milhões (13,92%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 101,07 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 82,71 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz em um acréscimo de R\$ 13,94/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,37 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 100,61 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 284,39 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 15,77/t, ou ainda R\$ 4,73/hab.ano.

### 1.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Sudeste aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de todas as RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 322 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 322: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	506,90	51,67	41,33	2,48
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	3.784,49	385,79	77,67	7,44
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	3.485,63	355,32	44,07	4,14
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	3.451,03	351,79	41,96	3,83
RT com geração de CDR, sem biodigestão	4.059,55	413,83	63,54	7,12
RT com geração de CDR, com biodigestão	3.855,01	392,98	41,36	4,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	2.958,57	301,59	26,60	2,50
RT com incineração, sem biodigestão	1.464,78	149,32	15,57	1,48

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, com biodigestão	1.163,75	118,63	13,34	1,32

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 6 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 4,06 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 413,83 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 63,54%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Sudeste na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,12 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com geração de CDR, com biodigestão. Essa opção gera R\$ 3,86 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 392,98 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 41,36%, embora não seja superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL, é ainda consideravelmente atrativa. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 204,54 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,04% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, é a que traz a menor complexidade dentre todas as que fazem uso de novas tecnologias frente ao processo de gestão atual. Mesmo assim, observa-se que é capaz de agregar valores significativos

para a sociedade, com um  $\Delta$ VSP de R\$ 3,78 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,44, que demonstra que os benefícios superam os custos em 644%). Essa RT simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 385,79 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 51,67 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 41,33%.

Tabela 323: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	275,24	464,46	20,83	7,63
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27
RT com incineração, sem biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com incineração, com biodigestão	1.488,92	2.512,46	112,69	41,27

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 323 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 4,16 bilhões. Este resultado representa 95,04% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60,46% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 35,83% do total.

Tabela 324: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	55,85	0,00	3,82
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	74,84	0,00	20,68
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	74,84	35,90	59,94
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	74,84	48,26	73,46
RT com geração de CDR, sem biodigestão	74,84	0,00	80,59

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT com geração de CDR, com biodigestão	74,84	35,90	119,86
RT com gaseificação, sem biodigestão	74,84	0,00	149,55
RT com incineração, sem biodigestão	74,84	0,00	110,29
RT com incineração, com biodigestão	74,84	35,90	149,55

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 324 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo regional Sudeste, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 74,84 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 48,26 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 149,55 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 80,59 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 325), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 18,98 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o

maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 325: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,98	19,69	-38,50
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	4,93	116,50	-227,79
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-8,81	279,12	-545,71
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-13,46	333,10	-651,24
RT com geração de CDR, sem biodigestão	18,98	392,86	-768,11
RT com geração de CDR, com biodigestão	5,24	647,99	-1.266,99
RT com gaseificação, sem biodigestão	-64,44	618,22	-1.208,64
RT com incineração, sem biodigestão	-203,98	393,53	-769,29
RT com incineração, com biodigestão	-217,73	556,14	-1.087,21

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 325 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 392,86 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases

de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 6 municípios do arranjo emitiram 2432 mil tCO<sub>2eq.</sub> apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 768,11 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (31,58%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 326). A opção de maior resultado líquido para o arranjo regional Sudeste, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 663,06 milhões, 88,08% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 11,92% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,79 vezes.

Tabela 326: Custos sociais nas RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-138,89	-9,68	-193,04	-341,61
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-411,67	-9,71	-166,41	-587,79
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-866,55	-9,71	-234,43	-1.110,69
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-921,36	-179,54	-119,59	-1.220,49
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-583,99	-9,71	-69,36	-663,06

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.038,86	-9,71	-135,58	-1.184,15
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.622,13	-9,71	-343,09	-1.974,93
RT com incineração, sem biodigestão	-2.344,86	-9,71	-710,65	-3.065,22
RT com incineração, com biodigestão	-2.799,78	-9,71	-780,80	-3.590,29

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 3ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 286,29 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 434,5 e R\$ 720,79 milhões, ou seja, 48,71% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 4,62 e 3,98 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 638,41 milhões, ou ainda 14,6% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 3,9 e 3,55 bilhões, intervalo que representa 9,3% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 9,17

no cenário mínimo para 6,41 no cenário máximo. A Tabela 327 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 327: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Sudeste.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	3.548,02	3.784,49	3.900,14
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-434,50	-587,79	-720,79
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	3.982,51	4.372,29	4.620,93
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	361,68	385,79	397,58
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	76,86%	77,67%	77,14%
Índice Benefício/Custo (adimensional)	9,17	7,44	6,41

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo regional Sudeste revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Na Tabela 328 revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 2,66 e R\$ 5,33 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo.

Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 1,81%, a menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 328: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Sudeste.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	233,40	466,96	718,35	36,12%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.406,98	3.675,56	5.048,99	2,50%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.055,95	3.341,33	4.699,44	10,74%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	2.012,16	3.301,63	4.658,66	12,80%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2.662,36	3.959,05	5.330,73	1,81%
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.373,89	3.717,64	5.096,92	8,29%
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.418,41	2.743,51	4.120,57	34,96%
RT com incineração, sem biodigestão	-152,96	1.153,23	2.509,01	82,85%
RT com incineração, com biodigestão	-518,14	801,40	2.178,68	91,22%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 2. Região Leste

### 2.1. Cenários Prospectivos

No cenário atual da gestão de RSU do arranjo regional Leste, os 10 municípios integrantes (Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Mogi das Cruzes, Paraibuna, Poá, Salesópolis e Santa Isabel) atendem uma população de 2.324,62 mil habitantes. A geração de RSU é de 876,87 mil toneladas anuais, sendo que 828,67 mil t/ano são coletadas formalmente. O restante, 48,2 mil t/ano, é coletado informalmente por cerca de 3602 catadores autônomos.

Comparado à catação informal, a coleta seletiva formal recolhe 1,67% do resíduo gerado, reciclando 8,04 mil t/ano. Estima-se que os municípios utilizem 65 caminhões baú e empreguem 467 triadores formais na coleta seletiva. No total, a coleta seletiva formal e informal nos municípios do arranjo regional Leste desvia do aterro sanitário cerca de 6,41% do RSU gerado.

Com a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 127 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 159,48/t, representando 37,24% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 268,81/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 354,91 milhões por ano, equivalente a R\$ 14,63 *per capita* por mês.

A Tabela 329 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo regional Leste.

Tabela 329: Cenários prospectivos para o arranjo regional Leste.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.368,45	844,29	49,11	14,63
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.368,45	862,53	50,17	14,95
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.368,45	805,15	84,09	13,37
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.368,45	822,57	85,91	13,66
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.438,38	869,22	50,56	14,63
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.438,38	888,00	51,65	14,95
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.438,38	828,93	86,57	13,37
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.438,38	846,86	88,45	13,66
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	2.278,22	812,13	47,24	14,63
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	2.278,22	829,67	48,26	14,95
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	2.278,22	774,48	80,89	13,37
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	2.278,22	791,24	82,64	13,66

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas sugerem uma variação de 2.438,38 mil habitantes (ONU+) a 2.278,22 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 160,16 mil habitantes. No cenário tendencial (combinação 1), a população atendida é de 2.368,45 mil habitantes, com 844,29 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 49,11 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, *per capita*, é de R\$ 14,63 hab/mês. Estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 68 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,91 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário serve como linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 43,7 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos se mantiver estável, serão necessários 190 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 2,54 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 7 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 18,68 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,31/hab/mês.

A combinação 11 traz a perspectiva de menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 69,82 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 303 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 4,06 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 10 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 43,79 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,26/hab/mês.

Salienta-se que qualquer uma dessas combinações é possível. Os cenários apontam os intervalos plausíveis de variação, resultando em diferentes impactos para alguns dos dados cruciais na gestão de RSU.

Finalmente, um resultado significativo que pode ser apresentado antes mesmo de se investigarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios integrantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o arranjo regional Leste, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% inferior ao valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 14,63 para R\$ 14,04/hab/mês (redução de 4,06% em relação ao valor do cenário tendencial).

## 2.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Leste, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta dos 844,29 mil toneladas médios de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 3665,98 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 33,45 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 1699,44 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 80,79 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 62,33 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 70,15 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Leste tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 5365,42 milhões em VPL, compensados em 2,81% pelo total de R\$ 150,94 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 531,56 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 629,59 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 224,43 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 15,99 mil t/ano, efetivamente desviando 8,79 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 71 caminhões baú e com o trabalho de 510 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 330 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo regional Leste apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 3 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

*Tabela 330: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Leste.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-44,12	24,27	2,9

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 5	-44,12	104,45	12,4
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 4	-44,12	292,01	34,6
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 5	-212,98	356,58	42,2
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-44,12	390,64	46,3
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 4	-44,12	578,20	68,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-44,12	719,90	85,3
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 3	-44,12	532,34	63,1
RT com incineração, com biodigestão	Grau 3	-44,12	719,90	85,3

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 168,86 mil t/ano e permite a geração de 32,69 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 140,42 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 4,48. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 356,58 mil t/ano, equivalente a 42,2% da massa total da rota. A tecnologia de

produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 46,3% e 68,5%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,3%, ou seja, 719,9 mil toneladas anuais.

A Tabela 331 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo regional Leste quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 331: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Leste.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	24,27	0,00	0,00	-0,37
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	104,45	0,00	0,00	-2,82
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	104,45	94,96	0,00	-13,96
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	104,45	127,65	0,00	-17,80
RT com geração de CDR, sem biodigestão	104,45	0,00	278,01	-23,57
RT com geração de CDR, com biodigestão	104,45	94,96	278,01	-34,71
RT com gaseificação, sem biodigestão	104,45	0,00	0,00	518,77
RT com incineração, sem biodigestão	104,45	0,00	0,00	254,93
RT com incineração, com biodigestão	104,45	94,96	0,00	243,79

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por

exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 518,77 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 243,79 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 44,12 mil toneladas anuais e atinge 7,12% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,87% do total, requerendo para tal a contratação de 1408 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 310,7 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,81% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 824 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 2232 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 28,05% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo regional Leste se possa atingir os 7,12% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 677 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,86 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 49 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 164,73 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 12,02 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 365,17 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 222,9 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 38,57, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 13,75.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 80,19 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 24,27 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 8,79 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela

implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 104,45 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,37% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,62%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,45% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,41% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 338 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 469,62 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 287,12 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 736,61 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 222,9 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 959,51 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 22,91, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 8,17 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Leste apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 332 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 332: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Leste.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-164,73	-12,02	-365,17	-541,92
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-469,62	-9,86	-287,12	-766,61
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-983,85	-4,82	-359,41	-1.348,08
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1.044,76	-145,25	-257,94	-1.447,94
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-658,08	-2,17	-155,98	-816,22
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.172,31	2,87	-228,26	-1.397,70
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.841,88	6,68	-469,36	-2.304,56
RT com incineração, sem biodigestão	-2.964,77	1,64	-1.009,42	-3.972,55
RT com incineração, com biodigestão	-3.479,00	6,68	-1.081,71	-4.554,02

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 332 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 581,47 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo

em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 49,62 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 959,51 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo regional Leste, representa a adição de R\$ 193,09 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 333: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Leste.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	222,90	-0,42	0,00	222,48
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	959,51	-3,17	0,00	956,34
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	959,51	-15,71	0,00	943,80
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	959,51	-20,03	0,00	939,48
RT com geração de CDR, sem biodigestão	959,51	-26,53	193,09	1.126,08
RT com geração de CDR, com biodigestão	959,51	-39,07	193,09	1.113,54
RT com gaseificação, sem biodigestão	959,51	583,84	0,00	1.543,35
RT com incineração, sem biodigestão	959,51	286,91	0,00	1.246,41
RT com incineração, com biodigestão	959,51	274,37	0,00	1.233,87

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 333 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 1543,35 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,9 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 1246,41 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 296,93 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser

auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo regional Leste.

A Tabela 334 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 309,85 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 334: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Leste.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-319,44	-32,56	38,57	13,75
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	189,73	19,34	-22,91	-8,17
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-404,28	-41,21	48,81	17,40
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-508,46	-51,83	61,39	21,88
RT com geração de CDR, sem biodigestão	309,85	31,59	-37,41	-13,34
RT com geração de CDR, com biodigestão	-284,16	-28,97	34,31	12,23
RT com gaseificação, sem biodigestão	-761,21	-77,60	91,91	32,76
RT com incineração, sem biodigestão	-2.726,14	-277,90	329,15	117,33
RT com incineração, com biodigestão	-3.320,15	-338,45	400,87	142,90

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão

dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 13,34 por ano por habitante (R\$ 37,41/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem incutir nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 94,84 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,02% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 335 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Leste.

Tabela 335: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Leste.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-446,58	-469,62	-489,30
Operação (Opex) da Coleta	56,61	-9,86	-66,75
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-182,31	-287,12	-379,55
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	672,02	736,61	774,73
Receita Recicláveis da Triagem Manual	207,64	222,90	238,62
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-6,44	-3,17	0,30
Resultado Líquido (receitas e despesas)	300,92	189,73	78,06
Valor Anual Equivalente (VAE)	30,68	19,34	7,96
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-13,46	-8,17	-3,26
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-38,68	-22,91	-8,96

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 42,72 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 446,58 a R\$ 489,3 milhões (variação de 9,1% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 66,75 milhões a positivos R\$ 56,61 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 123,35 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 379,55 milhões e negativos R\$ 182,31 milhões. Esse intervalo, de R\$ 197,23 milhões, representa 68,69% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 30,99 milhões (13,9%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 102,72 milhões (13,94%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 111,67 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 78,06 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz

em um acréscimo de R\$ 13,95/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,9 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 111,19 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 300,92 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 15,77/t, ou ainda R\$ 5,3/hab.ano.

### 2.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Leste aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 8 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 336 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 336: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Leste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	791,87	80,72	51,98	2,77
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	4.391,82	447,70	81,42	7,27

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	4.080,90	416,00	46,54	4,25
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	4.069,25	414,82	44,54	4,01
RT com geração de CDR, sem biodigestão	4.702,52	479,37	66,83	7,07
RT com geração de CDR, com biodigestão	4.495,70	458,29	43,63	4,38
RT com gaseificação, sem biodigestão	3.513,43	358,16	27,97	2,60
RT com incineração, sem biodigestão	1.463,75	149,21	14,35	1,39
RT com incineração, com biodigestão	1.151,69	117,40	12,54	1,26

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 10 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 4,7 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 479,37 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 66,83%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Leste na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 7,07 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com geração de CDR, com biodigestão. Essa opção gera R\$ 4,5 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 458,29 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 43,63%, embora não seja superior à TRE da opção

de maior  $\Delta$ VSPL, é ainda consideravelmente atrativa. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 206,82 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,4% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, é a que traz a menor complexidade dentre todas as que fazem uso de novas tecnologias frente ao processo de gestão atual. Mesmo assim, observa-se que é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 4,39 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (7,27, que demonstra que os benefícios superam os custos em 627%). Essa RT simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 447,7 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 80,72 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 51,98%.

Tabela 337: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Leste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	401,75	677,92	30,41	11,14
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93
RT com incineração, sem biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93
RT com incineração, com biodigestão	1.729,35	2.918,19	130,89	47,93

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 337 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 4,83 bilhões. Este resultado representa 94,79% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 338: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Leste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	81,49	0,00	5,58
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	101,06	0,00	24,01
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	101,06	39,43	67,14
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	101,06	53,00	81,98
RT com geração de CDR, sem biodigestão	101,06	0,00	89,81
RT com geração de CDR, com biodigestão	101,06	39,43	132,93
RT com gaseificação, sem biodigestão	101,06	0,00	165,51
RT com incineração, sem biodigestão	101,06	0,00	122,39
RT com incineração, com biodigestão	101,06	39,43	165,51

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 338 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo regional Leste, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 101,06 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 53 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 165,51 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR,

sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 89,81 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 21,18 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 339: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Leste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1,44	28,75	-56,19
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	5,76	134,70	-263,26
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-9,34	313,42	-612,43
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-14,45	372,75	-728,33
RT com geração de CDR, sem biodigestão	21,18	438,33	-856,55
RT com geração de CDR, com biodigestão	6,09	718,66	-1.404,47
RT com gaseificação, sem biodigestão	-70,41	686,06	-1.340,40
RT com incineração, sem biodigestão	-223,59	439,18	-857,90
RT com incineração, com biodigestão	-238,69	617,90	-1.207,08

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 339 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a

promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 438,33 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 10 municípios do arranjo emitiram 4624 mil tCO<sub>2eq.</sub> apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 856,55 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento representativo (18,53%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 340). A opção de maior resultado líquido para o arranjo regional Leste, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 774,23 milhões, 81,2% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 18,8% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,77 vezes.

Tabela 340: Custos sociais nas RT do arranjo regional Leste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-153,80	-11,05	-281,75	-446,60
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-445,88	-11,12	-243,07	-700,07

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-935,12	-11,12	-310,93	-1.257,17
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-992,64	-135,83	-222,99	-1.351,45
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-628,64	-11,12	-134,47	-774,23
RT com geração de CDR, com biodigestão	-1.117,88	-11,12	-199,83	-1.328,83
RT com gaseificação, sem biodigestão	-1.768,55	-11,12	-415,48	-2.195,15
RT com incineração, sem biodigestão	-2.881,47	-11,12	-909,06	-3.801,65
RT com incineração, com biodigestão	-3.370,76	-11,12	-978,00	-4.359,88

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 3ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 315,54 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 531,15 e R\$ 846,69 milhões, ou seja, 45,07% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 5,37 e 4,66 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 703,06 milhões, ou ainda 13,81% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL

da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 4,52 e 4,13 bilhões, intervalo que representa 8,82% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 8,78 no cenário mínimo para 6,34 no cenário máximo. A Tabela 341 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 341: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Leste.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	4.131,75	4.391,82	4.519,27
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-531,15	-700,07	-846,69
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	4.662,90	5.091,89	5.365,96
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	421,19	447,70	460,69
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	80,82	81,42	80,75
Índice Benefício/Custo (adimensional)	8,78	7,27	6,34

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo regional Leste revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Na Tabela 342 revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,01 vezes, a menor das amplitudes

(respectivamente de R\$ 3,09 e R\$ 6,19 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 1,9%, a menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 342: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Leste.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	400,88	747,57	1.103,09	28,18%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.815,14	4.292,37	5.857,42	2,86%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.429,42	3.937,11	5.498,40	9,68%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	2.399,69	3.925,25	5.479,22	10,75%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	3.085,19	4.606,10	6.193,53	1,90%
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.807,54	4.338,14	5.943,57	7,34%
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.748,70	3.281,51	4.864,44	31,60%
RT com incineração, sem biodigestão	-425,75	1.088,40	2.657,13	87,78%
RT com incineração, com biodigestão	-827,30	719,20	2.328,71	94,05%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 3. Região Norte

#### 3.1. Cenários Prospectivos

Atualmente, na gestão de RSU do arranjo regional Norte, os 8 municípios (Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha, Mairiporã, Nazaré Paulista, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba) que o compõem atendem a uma população de 794,44 mil habitantes. A geração de RSU é de 265,6 mil t/ano, das quais 251 mil t/ano são destinadas à coleta formal. Os restantes 14,6 mil t/ano são recicláveis coletados informalmente por, no mínimo, 1091 catadores autônomos.

Em contraste com a atuação da catação informal, a coleta seletiva formal é responsável pelo recolhimento de 2,24% do resíduo gerado, sendo que 3,27 mil t/ano são assim recicladas. Estima-se que os municípios atuem na coleta seletiva com 26 caminhões baú e contem com o trabalho de 190 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Na somatória da atuação da coleta seletiva formal e informal, os municípios do arranjo regional Norte desviam do aterro sanitário o equivalente a 6,73% do que é gerado de RSU.

Dada a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo empregue 38 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 158,08/t, representando 36,42% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 275,97/t). No total, os municípios do arranjo dispendem cerca de R\$ 108,94 milhões por ano, equivalente a R\$ 13,14 *per capita* por mês.

A Tabela 343 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo regional Norte.

Tabela 343: Cenários prospectivos para o arranjo regional Norte.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	820,16	259,12	15,07	13,14
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	820,16	264,75	15,40	13,43
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	820,16	247,14	25,81	11,95
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	820,16	252,48	26,37	12,20
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	844,38	266,78	15,52	13,14
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	844,38	272,56	15,85	13,42
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	844,38	254,43	26,57	11,94
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	844,38	259,93	27,15	12,20
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	788,92	249,25	14,50	13,14
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	788,92	254,66	14,81	13,43
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	788,92	237,72	24,83	11,94
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	788,92	242,86	25,36	12,19

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas sugerem uma variação de 844,38 mil habitantes (ONU+) a 788,92 mil habitantes (ONU-), resultando em um intervalo de 55,46 mil habitantes. No cenário tendencial (combinação 1), a população atendida é de 820,16 mil habitantes, com 259,12 mil t/ano de RSU destinadas à coleta formal e 15,07 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, *per capita*, é de R\$ 13,14 hab/mês. Estima-se que o aumento na quantidade de RSU gere a necessidade de 35 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,47 mil t/ano de recicláveis desviados. Este cenário serve como linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, por outro lado, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público gerenciar. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 13,44 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Se o papel dos catadores autônomos permanecer estável, serão necessários 58 catadores a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 0,78 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 2 caminhões compactadores adicionais ao tendencial e eleva os custos da gestão em R\$ 5,8 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 0,28/hab/mês.

A combinação 11, por sua vez, apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 21,4 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 93 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 1,25 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 4 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 14,2 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,21/hab/mês.

É importante destacar que todas essas combinações são possíveis de ocorrer. Os cenários apresentados indicam os intervalos plausíveis de variação, que resultam em diferentes impactos para alguns dos dados relevantes na gestão de RSU.

Em suma, um resultado significativo que pode ser apresentado antes mesmo de se analisarem as rotas tecnológicas é o papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, no mínimo, aumenta a quantidade de RSU que cada um de seus municípios integrantes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o arranjo regional Norte, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de referência de R\$ 100/t. Ao simular essa redução de preço, o custo total da gestão diminuiu de R\$ 13,14 para R\$ 12,59/hab/mês (redução de 4,16% em relação ao valor do cenário tendencial).

### **3.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira**

#### **RT Contrafactual (linha de base)**

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Norte, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta dos 259,12 mil toneladas médios de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 733,98 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 21,85 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 532,48 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 32,22 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 19,58 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 22,04 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Norte tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1266,46 milhões em VPL, compensados em 4,28% pelo total de R\$ 54,26 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 123,57 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 476,88 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 150,67 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 5,97 mil t/ano, efetivamente desviando 3,29 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 27 caminhões baú e com o trabalho de 191 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 344 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo regional Norte apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 344: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-12,17	6,69	2,6
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-12,17	29,30	11,3
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 2	-12,17	91,18	35,2
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 3	-63,99	111,00	42,8
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 4	-12,17	115,82	44,7
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 2	-12,17	177,71	68,6
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-12,17	220,63	85,1
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 1	-12,17	158,75	61,3
RT com incineração, com biodigestão	Grau 1	-12,17	220,63	85,1

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 51,82 mil t/ano e permite a geração de 10,03 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 53,41 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 9,84. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 111 mil t/ano, equivalente a 42,8% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 44,7% e 68,6%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,1%, ou seja, 220,63 mil toneladas anuais.

A Tabela 345 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo regional Norte quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 345: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,69	0,00	0,00	-0,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	29,30	0,00	0,00	-0,65
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	29,30	31,33	0,00	-4,33
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	29,30	41,36	0,00	-5,50
RT com geração de CDR, sem biodigestão	29,30	0,00	84,06	-6,97
RT com geração de CDR, com biodigestão	29,30	31,33	84,06	-10,65
RT com gaseificação, sem biodigestão	29,30	0,00	0,00	156,64
RT com incineração, sem biodigestão	29,30	0,00	0,00	76,79
RT com incineração, com biodigestão	29,30	31,33	0,00	73,12

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 156,64 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 73,12 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 12,17 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,58% do total, requerendo para tal a contratação de 388 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 88,78 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,54% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 227 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 615 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 31,92% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo regional Norte se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 187 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,28 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 14 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 56,48 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 4,46 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 102,82 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 65,61 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 38,64, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 12,21.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 22,61 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 6,69 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 3,29 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 29,3 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,31% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 98 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 172,38 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 108,92 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 221,68 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 65,61 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 287,29 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 0,47, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma

redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 0,15 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Norte apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 346 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 346: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Norte.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-56,48	-4,46	-102,82	-163,76
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-172,38	-4,06	-108,92	-285,36
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-364,43	-2,97	-139,12	-506,52
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-397,25	-56,39	-130,72	-584,36
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-249,16	-2,54	-82,49	-334,20
RT com geração de CDR, com biodigestão	-441,22	-1,45	-112,70	-555,37
RT com gaseificação, sem biodigestão	-611,68	-0,70	-261,80	-874,19
RT com incineração, sem biodigestão	-1.123,00	-1,79	-415,71	-1.540,50
RT com incineração, com biodigestão	-1.315,05	-0,70	-445,92	-1.761,67

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 346 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 221,17 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 48,84 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 287,29 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo regional Norte, representa a adição de R\$ 58,38 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 347: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Norte.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	65,61	-0,06	0,00	65,55
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	287,29	-0,73	0,00	286,56
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	287,29	-4,87	0,00	282,42
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	287,29	-6,19	0,00	281,10
RT com geração de CDR, sem biodigestão	287,29	-7,84	58,38	337,83
RT com geração de CDR, com biodigestão	287,29	-11,98	58,38	333,69
RT com gaseificação, sem biodigestão	287,29	176,29	0,00	463,58
RT com incineração, sem biodigestão	287,29	86,42	0,00	373,71
RT com incineração, com biodigestão	287,29	82,29	0,00	369,58

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 347 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 463,58 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 7,1 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 373,71 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 89,87 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as

diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo regional Norte.

A Tabela 348 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 3,63 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 348: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Norte.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-98,21	-10,01	38,64	12,21
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1,20	0,12	-0,47	-0,15
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-224,10	-22,84	88,16	27,85
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-303,26	-30,91	119,30	37,69
RT com geração de CDR, sem biodigestão	3,63	0,37	-1,43	-0,45
RT com geração de CDR, com biodigestão	-221,68	-22,60	87,21	27,55
RT com gaseificação, sem biodigestão	-410,61	-41,86	161,53	51,03
RT com incineração, sem biodigestão	-1.166,78	-118,94	459,01	145,02
RT com incineração, com biodigestão	-1.392,09	-141,91	547,65	173,02

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a

opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 0,45 por ano por habitante (R\$ 1,43/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem inculcar nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 29,11 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,24% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 15,38% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 349 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Norte.

Tabela 349: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Norte.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-165,21	-172,38	-178,52
Operação (Opex) da Coleta	16,36	-4,06	-21,58
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-76,74	-108,92	-137,32
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	202,07	221,68	233,18
Receita Recicláveis da Triagem Manual	60,65	65,61	70,68
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-1,79	-0,73	0,37
Resultado Líquido (receitas e despesas)	35,35	1,20	-33,19
Valor Anual Equivalente (VAE)	3,60	0,12	-3,38
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-4,57	-0,15	4,01
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-14,80	-0,47	12,41

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 13,31 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 165,21 a R\$ 178,52 milhões (variação de 7,72% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 21,58 milhões a positivos R\$ 16,36 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 37,95 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 137,32 milhões e negativos R\$ 76,74 milhões. Esse intervalo, de R\$ 60,58 milhões, representa 55,62% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 10,03 milhões (15,29%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 31,1 milhões (14,03%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 34,39 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de negativos R\$ 33,19 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz

em um acréscimo de R\$ 12,89/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,16 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 34,15 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 35,35 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 14,33/t, ou ainda R\$ 4,42/hab.ano.

### 3.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Norte aponta resultados promissores: 8 das 9 RT apresentam  $\Delta$ VSPL positivo, ou seja, para estas, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 8 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das 8 RT positivas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 350 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 350: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	218,50	22,27	44,95	2,61
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.224,41	124,81	67,38	5,70

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.093,18	111,44	37,57	3,32
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.046,72	106,70	34,52	2,93
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.284,39	130,93	53,44	5,09
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.186,40	120,94	34,63	3,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	849,83	86,63	23,32	2,03
RT com incineração, sem biodigestão	61,99	6,32	9,21	1,04
RT com incineração, com biodigestão	-69,68	-7,10	7,80	0,96

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 89% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 8 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 1,28 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 130,93 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 53,44%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Norte na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,09 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 1,22 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 124,81 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 67,38%, é inclusive superior à TRE

da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 59,98 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,67% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 124,81 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 22,27 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 44,95%.

Tabela 351: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	117,03	195,35	7,40	2,66
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	512,46	855,40	32,40	11,64
RT com geração de CDR, sem biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64
RT com geração de CDR, com biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com gaseificação, sem biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64
RT com incineração, sem biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64
RT com incineração, com biodigestão	512,46	855,40	32,40	11,64

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 351 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 1,41 bilhões. Este resultado representa 95,07% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 352: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	22,46	0,00	1,54
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	28,13	0,00	6,74
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	28,13	13,01	20,96

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	28,13	17,17	25,52
RT com geração de CDR, sem biodigestão	28,13	0,00	26,63
RT com geração de CDR, com biodigestão	28,13	13,01	40,86
RT com gaseificação, sem biodigestão	28,13	0,00	50,72
RT com incineração, sem biodigestão	28,13	0,00	36,50
RT com incineração, com biodigestão	28,13	13,01	50,72

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 352 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo regional Norte, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 28,13 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 17,17 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 50,72 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 26,63 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 6,28 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto

outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 353: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,40	7,70	-15,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1,61	36,79	-71,92
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-3,37	94,26	-184,25
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-4,93	111,99	-218,91
RT com geração de CDR, sem biodigestão	6,28	125,42	-245,16
RT com geração de CDR, com biodigestão	1,30	215,53	-421,34
RT com gaseificação, sem biodigestão	-21,84	205,20	-401,06
RT com incineração, sem biodigestão	-67,77	125,56	-245,37
RT com incineração, com biodigestão	-72,75	183,03	-357,69

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 353 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 125,42 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas,

contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 8 municípios do arranjo emitiram 642 mil tCO<sub>2eq.</sub> apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 245,16 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (38,19%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 354). A opção de maior resultado líquido para o arranjo regional Norte, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 313,97 milhões, 75,88% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 24,12% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,72 vezes.

Tabela 354: Custos sociais nas RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-52,73	-3,97	-79,34	-136,04
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-163,76	-4,01	-92,99	-260,77
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-346,49	-4,01	-121,22	-471,73
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-377,62	-51,18	-114,28	-543,07

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-238,23	-4,01	-71,73	-313,97
RT com geração de CDR, com biodigestão	-420,96	-4,01	-99,36	-524,33
RT com gaseificação, sem biodigestão	-587,11	-4,01	-233,17	-824,29
RT com incineração, sem biodigestão	-1.091,69	-4,01	-376,63	-1.472,33
RT com incineração, com biodigestão	-1.274,43	-4,01	-405,27	-1.683,72

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégias acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 97,46 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 208,64 e R\$ 306,1 milhões, ou seja, 37,38% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 1,57 e 1,36 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 210,64 milhões, ou ainda 14,18% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 1,26 e 1,15 bilhões, intervalo que representa 9,24% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade

dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 6,5 no cenário mínimo para 5,12 no cenário máximo. A Tabela 355 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 355: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Norte.*

	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	1.148,26	1.224,41	1.261,43
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-208,64	-260,77	-306,10
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	1.356,90	1.485,18	1.567,54
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	117,05	124,81	128,59
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	66,38	67,38	67,16
Índice Benefício/Custo (adimensional)	6,50	5,70	5,12

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo regional Norte revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Na Tabela 356 revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,12 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 0,8 e R\$ 1,7 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites

“pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 5,73%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 356: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Norte.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	103,98	200,94	304,02	33,46%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	751,39	1.174,55	1.634,93	5,56%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	599,64	1.023,96	1.491,02	18,89%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	544,00	972,28	1.437,26	24,91%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	801,72	1.230,64	1.698,05	5,73%
RT com geração de CDR, com biodigestão	672,89	1.116,91	1.594,54	18,03%
RT com gaseificação, sem biodigestão	314,16	749,22	1.223,12	54,37%
RT com incineração, sem biodigestão	-540,46	-95,45	368,65	98,94%
RT com incineração, com biodigestão	-698,06	-247,46	229,02	99,73%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 4. Região Oeste

### 4.1. Cenários Prospectivos

No contexto atual da gestão de RSU do arranjo regional Oeste, os 9 municípios (Carapicuíba, Cotia, Embu Guaçu, Jandira, Juquitiba, São Lourenço da Serra, São Roque, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista) componentes atendem uma população de 1.342,95 mil habitantes. A geração de RSU é de 449,82 mil t/ano, das quais 425,09 mil t/ano são destinadas à coleta formal. O restante, 24,73 mil t/ano, é coletado informalmente por aproximadamente 1848 catadores autônomos.

Em contraste com a catação informal, a coleta seletiva formal é responsável por coletar 1,2% do resíduo gerado, reciclando 2,97 mil t/ano. Estima-se que os municípios operem na coleta seletiva com 24 caminhões baú e contem com 173 triadores formais. No total, a coleta seletiva formal e informal nos municípios do arranjo regional Oeste desvia do aterro sanitário aproximadamente 6,16% do RSU gerado.

Com a eficiência média de um caminhão compactador de RSU na coleta convencional, estima-se que o arranjo utilize 65 desses veículos. O custo atual da coleta é de R\$ 155,23/t, representando 37,04% do custo total da gestão de RSU; o restante é destinado ao tratamento e disposição final (R\$ 263,83/t). No total, os municípios do arranjo gastam cerca de R\$ 178,14 milhões por ano, equivalente a R\$ 12,71 *per capita* por mês.

A Tabela 357 apresenta alguns dos principais resultados para cada uma das 12 articulações entre os elementos de incerteza (projeções demográficas, incremento na taxa de geração de RSU *per capita* e papel da catação autônoma, informal) acerca da geração e coleta de RSU para o arranjo regional Oeste.

Tabela 357: Cenários prospectivos para o arranjo regional Oeste.

Cenários	População atendida (mil hab.)	RSU Dispon. para Coleta Formal (mil t/ano)	Papel da coleta informal (mil t/ano)	Custo total (R\$/hab/mês)
Comb. 01 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	1.357,92	429,83	25,00	12,71
Comb. 02 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	1.357,92	439,14	25,54	12,99
Comb. 03 (Pop. Tend. & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	1.357,92	409,94	42,81	11,55
Comb. 04 (Pop. Tend. & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	1.357,92	418,78	43,74	11,80
Comb. 05 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	1.398,01	442,52	25,74	12,71
Comb. 06 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	1.398,01	452,10	26,30	12,99
Comb. 07 (Pop. ONU+ & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	1.398,01	422,04	44,08	11,55
Comb. 08 (Pop. ONU+ & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	1.398,01	431,14	45,03	11,80
Comb. 09 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. neutra)	1.306,18	413,46	24,05	12,71
Comb. 10 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. neutra)	1.306,18	422,41	24,57	12,99
Comb. 11 (Pop. ONU- & TX neutra & Cole. Auto. incremento)	1.306,18	394,32	41,18	11,55
Comb. 12 (Pop. ONU- & TX incremento & Cole. Auto. incremento)	1.306,18	402,83	42,07	11,80

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

As projeções demográficas apontam para uma variação de 1.398,01 (ONU+) a 1.306,18 mil habitantes (ONU-), ou seja, um intervalo de 91,83 mil habitantes. Na combinação 1, que pode ser tida como o cenário tendencial, a população atendida é de 1.357,92 mil habitantes, com 429,83 mil t/ano de RSU disponibilizados para a coleta formal e 25 mil t/ano de recicláveis coletados informalmente. O custo total da gestão de RSU, em sua métrica *per capita*, é de R\$ 12,71 hab/mês. Quanto aos catadores autônomos, estima-se que o acréscimo na quantidade de RSU gere uma necessidade de 21 novos catadores para lidar com o acréscimo de 0,28 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Este cenário representa a linha de base para comparação com os outros cenários.

A combinação 6, em contraste, apresenta a maior quantidade de RSU para o setor público. Neste cenário, a população atendida é maior e gera mais resíduos *per capita*, adicionando 22,27 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Caso o papel dos catadores autônomos se mantenha estável, serão necessários 97 a mais do que no cenário tendencial para lidar com o acréscimo de 1,3 mil t/ano de recicláveis assim desviados. Essa perspectiva gera a necessidade de 3 caminhões compactadores adicionais ao tendencial, e eleva os custos da gestão em R\$ 9,41 milhões anuais (equivalente à diferença de R\$ 0,28/hab/mês).

A combinação 11 é a que apresenta a menor quantidade de RSU para a rota tecnológica (coleta formal). Ao combinar a menor população atendida com a maior atuação dos catadores autônomos, prevê-se uma redução de 35,51 mil t/ano de RSU para a coleta formal. Mesmo com uma maior atuação, o papel dos catadores autônomos se reduz em termos absolutos: serão necessários 154 catadores a menos do que no cenário tendencial para lidar com a redução de 2,07 mil t/ano de recicláveis desviados. Esta perspectiva requer 5 caminhões compactadores a menos do que no cenário tendencial, e reduz, por consequência, os custos da gestão em R\$ 22,7 milhões anuais, equivalente a uma diferença de R\$ 1,16/hab/mês.

Ressalta-se que quaisquer dessas combinações são possíveis de ocorrer: o que os cenários apontam são os intervalos plausíveis de variação que geram, como consequência, para alguns dos dados relevantes da gestão de RSU.

Por fim, um resultado importante que pode ser apresentado mesmo antes de se perscrutarem as rotas tecnológicas é dado pelo papel de maior eficiência da gestão consorciada de RSU. A gestão por consórcios, minimamente, eleva a quantidade de RSU que cada um de seus municípios partícipes traz individualmente para a negociação dos custos de disposição final em aterro sanitário. Nas simulações por cenários apresentadas para o arranjo regional Oeste, considerou-se o custo da disposição final em aterro sanitário como sendo 10% menor do que o valor de R\$ 100/t, utilizado como referência. Simulando-se essa redução de preço, o custo total da gestão cai de R\$ 12,71 para R\$ 12,2/hab/mês (redução de 4,01% sobre o valor do cenário tendencial).

## 4.2. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

### RT Contrafactual (linha de base)

Como ponto de partida para a apresentação da modelagem técnico-financeira para o arranjo regional Oeste, tem-se os resultados - em valor presente líquido (VPL) - do fluxo de caixa de 22 anos para a RT Contrafactual (linha de base). Por ser a linha de base, não são previstos novos investimentos (Capex). A realização da coleta dos 429,83 mil toneladas médios de RSU gerados anualmente tem um custo operacional e de manutenção (Opex) estimado em R\$ 1220,38 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 22,17 km.

Os custos operacionais e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU montam em R\$ 842,81 milhões. Com base na projeção de continuidade do baixo índice de recuperação de materiais recicláveis, espera-se a realização de R\$ 29,26 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica,

que monta em 32,51 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 36,58 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Para que nos próximos vinte anos se mantenha a prestação dos serviços de manejo de RSU do arranjo regional Oeste tal como estão na atualidade, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 2063,19 milhões em VPL, compensados em 3,19% pelo total de R\$ 65,84 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 203,61 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 473,69 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 149,94 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 5,42 mil t/ano, efetivamente desviando 2,98 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 24 caminhões baú e com o trabalho de 173 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 358 apresenta, para cada uma das nove RT simuladas, o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual) para a necessidade de coleta de resíduos mistos (indiferenciada), para a massa total desviada do aterro sanitário e a fração desse desvio. Observa-se que o arranjo regional Oeste apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 2 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 358: Grau de escala e resultados das RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-24,66	13,56	3,2
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-24,66	51,06	11,9
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 3	-24,66	153,71	35,8
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 4	-110,63	186,58	43,4
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-24,66	194,59	45,3
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 3	-24,66	297,24	69,2
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-24,66	368,44	85,7
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 2	-24,66	265,79	61,8
RT com incineração, com biodigestão	Grau 2	-24,66	368,44	85,7

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 85,97 mil t/ano e permite a geração de 16,64 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 60,41 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 8,45. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 186,58 mil t/ano, equivalente a 43,4% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 45,3% e 69,2%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,7%, ou seja, 368,44 mil toneladas anuais.

A Tabela 359 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para o arranjo regional Oeste quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 359: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	13,56	0,00	0,00	-0,11
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	51,06	0,00	0,00	-1,10
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	51,06	51,97	0,00	-7,20
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	51,06	68,61	0,00	-9,15
RT com geração de CDR, sem biodigestão	51,06	0,00	139,43	-11,58
RT com geração de CDR, com biodigestão	51,06	51,97	139,43	-17,68
RT com gaseificação, sem biodigestão	51,06	0,00	0,00	259,82
RT com incineração, sem biodigestão	51,06	0,00	0,00	127,36
RT com incineração, com biodigestão	51,06	51,97	0,00	121,26

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 259,82 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 121,26 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 24,66 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,16% do total, requerendo para tal a contratação de 787 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 147,27 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 9,21% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 461 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 1248 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 70,74% dos catadores autônomos existentes atualmente no arranjo.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que no arranjo regional Oeste se possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 378 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,78 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 27 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 87,9 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 8,23 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 207,01 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 133,02 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 40,37, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 12,78.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 37,5 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 13,56 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 2,98 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 51,06 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,88% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 34,67%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 154 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 249,98 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 159,37 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 367,72 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 133,02 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 500,74 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 19,59, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há

uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 6,2 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Oeste apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 360 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 360: Resultados para as despesas das RT do arranjo regional Oeste.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-87,90	-8,23	-207,01	-303,14
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-249,98	-7,56	-159,37	-416,90
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-556,49	-5,73	-208,80	-771,03
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-620,85	-66,14	-194,36	-881,35
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-372,03	-5,00	-111,17	-488,20
RT com geração de CDR, com biodigestão	-678,54	-3,17	-160,61	-842,32
RT com gaseificação, sem biodigestão	-969,74	-1,90	-321,70	-1.293,34
RT com incineração, sem biodigestão	-1.708,23	-3,73	-606,39	-2.318,35
RT com incineração, com biodigestão	-2.014,75	-1,90	-655,83	-2.672,47

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 360 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 354,13 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 71,3 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 500,74 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para o arranjo regional Oeste, representa a adição de R\$ 96,84 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 361: Resultados para as receitas acessórias das RT do arranjo regional Oeste.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	133,02	-0,12	0,00	132,90
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	500,74	-1,24	0,00	499,50
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	500,74	-8,10	0,00	492,64
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	500,74	-10,30	0,00	490,44
RT com geração de CDR, sem biodigestão	500,74	-13,03	96,84	584,54
RT com geração de CDR, com biodigestão	500,74	-19,90	96,84	577,68
RT com gaseificação, sem biodigestão	500,74	292,40	0,00	793,14
RT com incineração, sem biodigestão	500,74	143,34	0,00	644,07
RT com incineração, com biodigestão	500,74	136,47	0,00	637,21

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 361 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 793,14 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 644,07 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 149,07 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as

diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para o arranjo regional Oeste.

A Tabela 362 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para o arranjo. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 96,35 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 362: Resultados de viabilidade financeira das RT do arranjo regional Oeste.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-170,24	-17,35	40,37	12,78
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	82,60	8,42	-19,59	-6,20
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-278,39	-28,38	66,02	20,90
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-390,91	-39,85	92,71	29,35
RT com geração de CDR, sem biodigestão	96,35	9,82	-22,85	-7,23
RT com geração de CDR, com biodigestão	-264,64	-26,98	62,76	19,87
RT com gaseificação, sem biodigestão	-500,20	-50,99	118,63	37,55
RT com incineração, sem biodigestão	-1.674,27	-170,67	397,07	125,69
RT com incineração, com biodigestão	-2.035,26	-207,47	482,69	152,79

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a

opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 7,23 por ano por habitante (R\$ 22,85/t). Como será demonstrado nos apêndices que contêm as análises socioeconômicas, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### **Cenários da RT de triagem mecanizada de resíduos mistos**

Conforme descrito nas premissas, de forma a demonstrar a variabilidade que os cenários podem inculcar nos resultados da modelagem, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeu-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. A diferença entre os cenários de maior (combinação 6) e menor (combinação 11) quantidade de RSU disponibilizados para a rota tecnológica representa uma variação de 48,26 mil toneladas anuais, ou seja, uma variabilidade de 11,23% em relação ao cenário tendencial desta rota. Essa mesma variabilidade se traduz em um intervalo de 14,63% em relação a massa que é desviada do aterro sanitário. A Tabela 363 apresenta os resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Oeste.

Tabela 363: Resultados dos cenários para a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Oeste.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Variação Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Variação Máxima (comb. 6)
Investimentos (Capex)	-238,21	-249,98	-260,05
Operação (Opex) da Coleta	25,94	-7,56	-36,29
Operação (Opex) do Tratamento e Disposição	-106,03	-159,37	-206,44
Receita Recicláveis da Triagem Mecanizada	335,21	367,72	386,78
Receita Recicláveis da Triagem Manual	124,80	133,02	141,43
Receita Energia Elétrica do Aterro Sanitário	-2,98	-1,24	0,60
Resultado Líquido (receitas e despesas)	138,72	82,60	26,01
Valor Anual Equivalente (VAE)	14,14	8,42	2,65
Custo incremental por habitante (R\$/hab/ano)	-10,83	-6,20	-1,90
Custo incremental por tonelada (R\$/t/ano)	-35,02	-19,59	-5,87

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A variabilidade dos dados de entrada da rota se traduz, ainda, em um intervalo de R\$ 21,84 milhões em VPL para a estimativa de Capex, que pode ser de R\$ 238,21 a R\$ 260,05 milhões (variação de 8,74% sobre a estimativa do cenário tendencial). O Opex da coleta de RSU (mistos e seletiva), por sua vez, pode variar entre negativos R\$ 36,29 milhões a positivos R\$ 25,94 milhões em relação à linha de base. Já em relação ao cenário tendencial da mesma rota, representa um intervalo de R\$ 62,23 milhões. O Opex do tratamento e da disposição final de RSU varia entre negativos R\$ 206,44 milhões e negativos R\$ 106,03 milhões. Esse intervalo, de R\$ 100,41 milhões, representa 63,01% de variabilidade sobre o tendencial. Já os intervalos das receitas acessórias dos cenários máximo e mínimo frente ao tendencial são de: R\$ 16,63 milhões (12,5%) para a comercialização de materiais recicláveis da triagem manual; e R\$ 51,57 milhões (14,02%) para a recuperação de recicláveis da triagem mecanizada.

Caso o cenário de maior combinação entre população e geração de RSU venha a ocorrer, tem-se um incremento de custos totais da ordem de R\$ 56,59 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 26,01 milhões. Ainda em relação à mesma RT no cenário tendencial, isso se traduz

em um acréscimo de R\$ 13,73/t, ou ainda em um incremento de R\$ 4,3 por habitante por ano. Já na variação mínima dos cenários, na qual há um menor crescimento demográfico combinado com uma maior atuação da coleta autônoma (informal) de resíduos, prevê-se uma redução dos custos totais da ordem de R\$ 56,12 milhões (VPL), pois o resultado líquido entre as receitas e despesas da rota passa a ser de positivos R\$ 138,72 milhões. Esse cenário promove uma economia R\$ 15,43/t, ou ainda R\$ 4,63/hab.ano.

### 4.3. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para o arranjo regional Oeste aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ V SPL positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de todas as RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 364 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 364: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	469,64	47,87	55,87	2,88
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2.214,41	225,73	78,51	6,84
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	2.008,78	204,77	42,44	3,80
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.947,38	198,51	38,66	3,37
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2.322,47	236,75	60,95	6,06
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.172,22	221,43	38,77	3,73
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.683,59	171,62	26,48	2,38
RT com incineração, sem biodigestão	459,55	46,85	11,82	1,21
RT com incineração, com biodigestão	253,15	25,81	10,10	1,10

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, os 9 municípios do arranjo proporcionam um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 2,32 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 236,75 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 60,95%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido pelo arranjo regional Oeste na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 6,06 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 2,21 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 225,73 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 78,51%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 108,06 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 4,65% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o arranjo intermunicipal proposto.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 225,73 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 47,87 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 55,87%.

Tabela 365: Benefícios da recuperação de materiais nas RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	237,28	396,06	15,00	5,39
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com geração de CDR, sem biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com geração de CDR, com biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com gaseificação, sem biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com incineração, sem biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29
RT com incineração, com biodigestão	893,21	1.490,93	56,48	20,29

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 365 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 2,46 bilhões. Este resultado representa 94,88% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção

(61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 366: Demais benefícios socioeconômicos nas RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	45,55	0,00	3,12
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	54,46	0,00	11,74
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	54,46	21,58	35,34
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	54,46	28,49	42,90
RT com geração de CDR, sem biodigestão	54,46	0,00	44,74
RT com geração de CDR, com biodigestão	54,46	21,58	68,34
RT com gaseificação, sem biodigestão	54,46	0,00	84,71
RT com incineração, sem biodigestão	54,46	0,00	61,11
RT com incineração, com biodigestão	54,46	21,58	84,71

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 366 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. No arranjo regional Oeste, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 54,46 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 28,49 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 84,71 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 44,74 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 10,56 milhões. Algumas rotas do arranjo trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 367: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,80	15,61	-30,51
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2,82	63,87	-124,86
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-5,44	159,20	-311,18
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-8,04	188,61	-368,66
RT com geração de CDR, sem biodigestão	10,56	210,88	-412,21
RT com geração de CDR, com biodigestão	2,30	360,37	-704,46
RT com gaseificação, sem biodigestão	-36,09	343,22	-670,83
RT com incineração, sem biodigestão	-112,27	211,11	-412,56
RT com incineração, com biodigestão	-120,53	306,44	-598,88

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 367 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 210,88 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 os 9 municípios do arranjo emitiram 1057 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 412,21 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (39,01%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 362). A opção de maior resultado líquido para o arranjo regional Oeste, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 459,08 milhões, 77,48% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 22,52% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 3,25 vezes.

Tabela 368: Custos sociais nas RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-82,06	-7,38	-159,73	-249,17
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-237,33	-7,43	-134,64	-379,40
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-528,96	-7,43	-180,88	-717,27
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-590,01	-60,94	-169,00	-819,95
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-355,70	-7,43	-95,96	-459,08
RT com geração de CDR, com biodigestão	-647,33	-7,43	-140,98	-795,74
RT com gaseificação, sem biodigestão	-931,00	-7,43	-285,20	-1.223,63
RT com incineração, sem biodigestão	-1.660,78	-7,43	-547,56	-2.215,77
RT com incineração, com biodigestão	-1.952,43	-7,43	-594,55	-2.554,41

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos**

Analisa-se aqui o resultado da ACB sob as variações dos cenários de população, taxa de geração de RSU e papel da catação informal pré-entrada na rota. De forma a demonstrar a amplitude de influência destes elementos exógenos nos resultados da ACB, mas ao mesmo tempo limitá-los a um número manejável de informações, elegeram-se descrevê-los apenas para a RT de triagem mecanizada de resíduos mistos. Essa rota é a 2ª mais bem classificada no ranqueamento das 9 simuladas para o arranjo, além de agregar a totalidade das estratégicas acerca da maior coleta seletiva e triagem mecanizada de resíduos mistos.

Os cenários revelam um intervalo de R\$ 159,99 milhões em VSPL para os custos totais (variação entre R\$ 293,83 e R\$ 453,82 milhões, ou seja, 42,17% sobre a estimativa do cenário tendencial). Já os benefícios totais podem variar entre R\$ 2,73 e 2,38 bilhões de VSPL (intervalo de R\$ 349,18 milhões, ou ainda 13,46% sobre o tendencial). O  $\Delta$ VSPL da ACB, por sua vez, varia entre R\$ 2,28 e 2,09 bilhões, intervalo que representa 8,54% sobre o tendencial. Inobstante a amplitude, os resultados continuam positivos e bastante folgados ao agregar bem-estar para a sociedade. Uma vez que a variabilidade dos custos é maior que dos benefícios, a razão Benefício/Custo passa de possíveis 8,1 no cenário mínimo para 6,02 no cenário máximo. A Tabela 369 apresenta os dados, sendo que o tendencial corresponde aos adotados como “padrão”.

*Tabela 369: Resultados da ACB nos cenários da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, do arranjo regional Oeste.*

	Varição Mínima (comb. 11)	Cenário Tendencial	Varição Máxima (comb. 6)
Resultado Líquido (benefícios e custos) ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	2.087,29	2.214,41	2.276,49
Custos Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	-293,83	-379,40	-453,82
Benefícios Econômicos Totais (VSPL, R\$, milhões)	2.381,13	2.593,80	2.730,31
Valor Anual Equivalente - VAE ( $\Delta$ VSPL R\$, milhões)	212,78	225,73	232,06
Taxa de Retorno Econômica - TRE (%)	77,92	78,51	77,89
Índice Benefício/Custo (adimensional)	8,10	6,84	6,02

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### **Resultados da análise de risco da ACB**

Os resultados da simulação de Monte Carlo para as 9 rotas tecnológicas do arranjo regional Oeste revelam que algumas delas apresentam maior gradiente de risco do que outras. Essa leitura se faz possível pela análise estatística dos 9.999 resultados gerados mediante o sorteio aleatório de custos, benefícios e externalidades

conforme a distribuição de intervalos e probabilidades já apresentada no item de metodologia.

Na Tabela 370 revela-se que a rota de menor risco é também a de maior retorno em  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão). A distância entre o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%) das suas simulações é de 2,07 vezes, a menor das amplitudes (respectivamente de R\$ 1,49 e R\$ 3,08 bilhões). Este intervalo também indica a faixa de valores que congrega 50% das chances de ocorrência, podendo ser lido como limites “pessimista” e “otimista” para a ACB. Mesmo em seu limite inferior, o  $\Delta$ VSPL é positivo. Um segundo indicador de risco é dado pela frequência com a qual a série de resultados do  $\Delta$ VSPL se torna inferior aos custos totais da análise padrão: na rota de escolha, essa fração é de 3,84%, a 2ª menor dentre todas. Ou seja, considerando-se as incertezas representadas pela aleatoriedade da simulação probabilística, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, se mostra claramente vantajosa.

Tabela 370: Resultados da análise de risco nas RT do arranjo regional Oeste.

Rota Tecnológica	$\Delta$ VSPL (R\$, milhões)			Chance do $\Delta$ VSPL ser inferior aos custos padrão
	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	239,63	441,56	654,77	26,13%
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.398,96	2.169,20	2.962,22	3,74%
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.154,56	1.933,00	2.729,83	13,72%
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.079,01	1.862,38	2.666,15	17,96%
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.486,64	2.267,37	3.082,91	3,84%
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.288,59	2.081,45	2.905,18	12,50%
RT com gaseificação, sem biodigestão	765,71	1.558,75	2.367,37	39,15%
RT com incineração, sem biodigestão	-553,95	225,41	1.039,61	95,36%
RT com incineração, com biodigestão	-799,67	-8,12	814,08	98,28%

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## APÊNDICE 4 – RESULTADOS PARA OS MUNICÍPIOS COM SOLUÇÕES INDIVIDUAIS

Conforme descreveu-se no Capítulo 5, nove dos municípios componentes da área de estudo contam com soluções individuais para a gestão de seus resíduos sólidos. Cada uma destas soluções, individualmente implementadas pelos respectivos titulares, deve conter as estratégias de cumprimento das metas setoriais, e não necessariamente sofrerão qualquer ajuste efetivo a partir dos resultados das simulações aqui realizadas.

Inobstante, para fins de manutenção da coerência metodológica e paridade junto aos demais municípios componentes da área de estudo, apresentam-se os resultados das simulações das nove rotas tecnológicas para cada município com solução individual. Adicionalmente, os resultados quantitativos da adoção de maiores taxas de coleta seletiva são utilizados como base para o desenvolvimento do programa de reciclagem.

## 1. Município de Barueri

### 1.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Barueri aponta para a coleta de 117,63 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 280,05 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 18 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 279,92 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 26,65 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 8,88 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 9,99 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 559,97 milhões em VPL, compensados em 6,54% pelo total de R\$ 36,64 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 53,35 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 453,52 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 160,52 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 4,94 mil t/ano, efetivamente desviando 2,72 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 22 caminhões baú e com o trabalho de 158 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 371 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Barueri não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação das demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

*Tabela 371: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Barueri.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-3,29	1,81	1,5
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 2	-3,29	12,07	10,3
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-3,29	40,16	34,1
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-26,82	49,16	41,8
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-3,29	51,35	43,7
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-3,29	79,44	67,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-3,29	98,93	84,1
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 23,53 mil t/ano e permite a geração de 4,55 mil t/ano de digestato (composto orgânico da

biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 37,27 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 11,01. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 49,16 mil t/ano, equivalente a 41,8% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 43,7% e 67,5%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,1%, ou seja, 98,93 mil toneladas anuais.

A Tabela 372 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Barueri quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 372: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Barueri.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1,81	0,00	0,00	-0,01
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	12,07	0,00	0,00	-0,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	12,07	14,22	0,00	-1,95
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	12,07	18,78	0,00	-2,49
RT com geração de CDR, sem biodigestão	12,07	0,00	38,16	-3,15

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT com geração de CDR, com biodigestão	12,07	14,22	38,16	-4,82
RT com gaseificação, sem biodigestão	12,07	0,00	0,00	71,12
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 71,12 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para a solução individual.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 3,29 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 1,54% do total, requerendo para tal a contratação de 105 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 40,3 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 4,49% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 62 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 167 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 82,84% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Barueri possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 51 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 1,53 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 4 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 31,85 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 1,19 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 27,42 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 17,76 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 37,01, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 13,1.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 10,26 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 1,81 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 2,72 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 12,07 mil t/ano, atingindo a taxa de 10,26% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 29,96%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 49 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 105,82 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 60,73 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 100,63 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 17,76 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 118,4 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 42,91, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 15,19.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Barueri apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 373 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 373: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Barueri.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-31,85	-1,19	-27,42	-60,46
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-105,82	-1,04	-60,73	-167,59
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-218,23	-0,63	-87,80	-306,67
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-230,27	-37,90	-73,80	-341,97
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-135,70	-0,47	-48,90	-185,07

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT com geração de CDR, com biodigestão	-248,12	-0,07	-75,97	-324,15
RT com gaseificação, sem biodigestão	-371,90	0,22	-187,45	-559,13
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 373 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 139,08 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 17,49 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 118,4 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite

adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Barueri, representa a adição de R\$ 26,5 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 374: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Barueri.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	17,76	-0,02	0,00	17,75
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	118,40	-0,32	0,00	118,08
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	118,40	-2,20	0,00	116,20
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	118,40	-2,80	0,00	115,60
RT com geração de CDR, sem biodigestão	118,40	-3,55	26,50	141,35
RT com geração de CDR, com biodigestão	118,40	-5,43	26,50	139,47
RT com gaseificação, sem biodigestão	118,40	80,04	0,00	198,43
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 374 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 198,43 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 11,2 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 141,35 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$

57,09 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Barueri.

A Tabela 375 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 42,71 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 375: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Barueri.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-42,71	-4,35	37,01	13,10
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-49,51	-5,05	42,91	15,19
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-190,47	-19,42	165,06	58,42
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-226,37	-23,08	196,17	69,43
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-43,72	-4,46	37,89	13,41
RT com geração de CDR, com biodigestão	-184,68	-18,83	160,05	56,65

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT com gaseificação, sem biodigestão	-360,69	-36,77	312,58	110,63
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 13,1 por ano, ou ainda R\$ 1,09 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 37,01/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 1.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Barueri aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 376 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 376: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Barueri.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	44,07	4,49	23,80	1,85
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	455,00	46,38	47,88	3,94
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	359,39	36,64	25,99	2,26
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	338,89	34,55	24,33	2,07
RT com geração de CDR, sem biodigestão	487,11	49,66	41,97	3,80
RT com geração de CDR, com biodigestão	406,49	41,44	25,67	2,33
RT com gaseificação, sem biodigestão	168,71	17,20	13,93	1,32
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Barueri proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,49 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 49,66 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 41,97%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um

empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Barueri na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,8 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,45 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 46,38 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 47,88%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 32,12 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 6,59% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 46,38 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 4,49 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 23,8%.

Tabela 377: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Barueri.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	31,69	52,89	2,00	0,72
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	211,19	352,52	13,35	4,80
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	211,19	352,52	13,35	4,80

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	211,19	352,52	13,35	4,80
RT com geração de CDR, sem biodigestão	211,19	352,52	13,35	4,80
RT com geração de CDR, com biodigestão	211,19	352,52	13,35	4,80
RT com gaseificação, sem biodigestão	211,19	352,52	13,35	4,80
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 377 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,58 bilhões. Este resultado representa 95,47% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 378: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Barueri.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,08	0,00	0,42
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	8,91	0,00	2,78
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	8,91	5,91	9,23
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	8,91	7,80	11,30
RT com geração de CDR, sem biodigestão	8,91	0,00	11,81
RT com geração de CDR, com biodigestão	8,91	5,91	18,27
RT com gaseificação, sem biodigestão	8,91	0,00	22,74
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já Tabela 378 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Barueri, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 8,91 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 7,8 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 22,74 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem

biodigestão), esse benefício é de R\$ 11,81 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,78 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 379: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Barueri.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,11	2,08	-4,07
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,66	15,29	-29,89
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1,60	41,38	-80,89
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-2,31	49,42	-96,62
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,78	55,52	-108,53
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,52	96,42	-188,51
RT com gaseificação, sem biodigestão	-9,99	91,73	-179,31
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 379 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a

promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 55,52 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Barueri emitiu 424 mil tCO<sub>2eq.</sub> apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 108,53 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (25,61%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 380). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Barueri, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 173,76 milhões, 74,57% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 25,43% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,03 vezes.

Tabela 380: Custos sociais nas RT da solução individual de Barueri.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-29,73	-1,03	-21,16	-51,92
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-100,60	-1,07	-52,84	-154,50
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-207,55	-1,07	-77,69	-286,31
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-218,97	-33,87	-65,26	-318,10
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-129,57	-1,07	-43,12	-173,76
RT com geração de CDR, com biodigestão	-236,53	-1,07	-67,79	-305,39
RT com gaseificação, sem biodigestão	-357,00	-1,07	-168,48	-526,55
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 2. Município de Diadema

### 2.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Diadema aponta para a coleta de 106,87 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 478,72 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 34 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 226,62 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 5,4 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 7,9 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 8,89 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 705,34 milhões em VPL, compensados em 2,03% pelo total de R\$ 14,29 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 70,45 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 659,17 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 171,12 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 1,07 mil t/ano, efetivamente desviando 0,59 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 5 caminhões baú e com o trabalho de 34 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 381 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Diadema não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

*Tabela 381: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Diadema.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-6,41	3,53	3,3
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 2	-6,41	13,72	12,8
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-6,41	37,46	35,1
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-27,79	45,63	42,7
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-6,41	49,95	46,7
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-6,41	73,69	69,0
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-6,41	91,64	85,8
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 21,37 mil t/ano e permite a geração de 4,14 mil t/ano de digestato (composto orgânico da

biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 12,33 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 0,31. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 45,63 mil t/ano, equivalente a 42,7% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 46,7% e 69%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,8%, ou seja, 91,64 mil toneladas anuais.

A Tabela 382 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Diadema quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 382: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Diadema.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	3,53	0,00	0,00	-0,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	13,72	0,00	0,00	-0,36
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	13,72	12,02	0,00	-1,78
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	13,72	16,16	0,00	-2,26
RT com geração de CDR, sem biodigestão	13,72	0,00	35,19	-2,99

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT com geração de CDR, com biodigestão	13,72	12,02	35,19	-4,40
RT com gaseificação, sem biodigestão	13,72	0,00	0,00	65,69
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 65,69 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para a solução individual.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 6,41 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,3% do total, requerendo para tal a contratação de 205 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 39,33 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 8,97% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 120 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 325 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 32,63% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Diadema possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 98 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,38 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 7 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 29,51 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 1,8 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 53 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 32,4 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 49,58, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 12,87.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 10,19 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 3,53 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 0,59 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 13,72 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,84% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 34,88%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 41 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 101,15 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 89,52 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 93,61 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 32,4 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 126,01 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 63,53, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 16,49.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Diadema apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 383 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 383: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Diadema.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-29,51	-1,80	-53,00	-84,32
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-101,15	-1,53	-89,52	-192,20
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-203,26	-0,88	-117,36	-321,50
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-212,69	-13,20	-96,31	-322,21
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-129,23	-0,54	-79,54	-209,30

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT com geração de CDR, com biodigestão	-231,33	0,11	-107,38	-338,60
RT com gaseificação, sem biodigestão	-349,78	0,60	-218,48	-567,66
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 383 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 129,3 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 17,1 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 126,01 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite

adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Diadema, representa a adição de R\$ 24,44 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 384: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Diadema.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	32,40	-0,06	0,00	32,34
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	126,01	-0,41	0,00	125,60
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	126,01	-2,00	0,00	124,01
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	126,01	-2,54	0,00	123,47
RT com geração de CDR, sem biodigestão	126,01	-3,37	24,44	147,09
RT com geração de CDR, com biodigestão	126,01	-4,95	24,44	145,50
RT com gaseificação, sem biodigestão	126,01	73,93	0,00	199,94
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 384 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 199,94 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,2 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 147,09 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$

52,85 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Diadema.

A Tabela 385 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 51,98 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 385: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Diadema.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-51,98	-5,30	49,58	12,87
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-66,60	-6,79	63,53	16,49
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-197,49	-20,13	188,38	48,90
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-198,74	-20,26	189,57	49,21
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-62,21	-6,34	59,34	15,40
RT com geração de CDR, com biodigestão	-193,10	-19,68	184,19	47,82

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT com gaseificação, sem biodigestão	-367,72	-37,49	350,75	91,06
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 12,87 por ano, ou ainda R\$ 1,07 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 49,58/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado nos apêndices que análise socioeconômica, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 2.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Diadema aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ VSP positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 386 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 386: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Diadema.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	109,97	11,21	43,74	2,57
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	493,66	50,32	52,06	3,81
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	401,73	40,95	28,93	2,34
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	411,16	41,91	28,52	2,37
RT com geração de CDR, sem biodigestão	522,97	53,31	45,41	3,68
RT com geração de CDR, com biodigestão	444,15	45,28	28,17	2,40
RT com gaseificação, sem biodigestão	213,61	21,78	15,64	1,40
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Diadema proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,52 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 53,31 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 45,41%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um

empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Diadema na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,68 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,49 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 50,32 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 52,06%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 29,31 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,6% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 50,32 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 11,21 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 43,74%.

Tabela 387: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Diadema.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	58,39	98,53	4,42	1,62
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	227,11	383,24	17,19	6,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	227,11	383,24	17,19	6,29

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	227,11	383,24	17,19	6,29
RT com geração de CDR, sem biodigestão	227,11	383,24	17,19	6,29
RT com geração de CDR, com biodigestão	227,11	383,24	17,19	6,29
RT com gaseificação, sem biodigestão	227,11	383,24	17,19	6,29
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 387 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,63 bilhões. Este resultado representa 94,65% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 388: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Diadema.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	11,87	0,00	0,81
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	14,24	0,00	3,15
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	14,24	4,99	8,61
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	14,24	6,71	10,49
RT com geração de CDR, sem biodigestão	14,24	0,00	11,48
RT com geração de CDR, com biodigestão	14,24	4,99	16,94
RT com gaseificação, sem biodigestão	14,24	0,00	21,07
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 388 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Diadema, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 14,24 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 6,71 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 21,07 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem

biodigestão), esse benefício é de R\$ 11,48 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,71 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 389: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Diadema.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,21	4,18	-8,17
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,76	17,64	-34,48
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1,15	40,27	-78,68
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1,80	47,78	-93,35
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,71	56,09	-109,60
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,80	91,57	-178,95
RT com gaseificação, sem biodigestão	-8,89	87,44	-170,84
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 389 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a

promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 56,09 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Diadema emitiu 289 mil tCO<sub>2eq</sub>. apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 109,6 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (37,87%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 390). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Diadema, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 195,39 milhões, 63,16% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 36,84% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,96 vezes.

Tabela 390: Custos sociais nas RT da solução individual de Diadema.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-27,56	-1,60	-40,89	-70,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-96,18	-1,67	-78,12	-175,98
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-193,34	-1,67	-104,06	-299,07
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-202,25	-12,68	-85,17	-300,09
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-123,41	-1,67	-70,31	-195,39
RT com geração de CDR, com biodigestão	-220,56	-1,67	-96,00	-318,23
RT com gaseificação, sem biodigestão	-335,77	-1,67	-196,65	-534,09
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

### 3. Município de Embu das Artes

#### 3.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

##### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Embu das Artes aponta para a coleta de 114,68 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU de R\$ 230,14 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 1,24 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 8,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 9,77 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 230,14 milhões em VPL, compensados em 4,78% pelo total de R\$ 11 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 22,34 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 194,78 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 85,08 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 0,23 mil t/ano, efetivamente desviando 0,13 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 1 caminhão baú e com o trabalho de 7 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

##### Resumo dos quantitativos das RT

A Tabela 391 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Embu das Artes não apresenta escala para a tecnologia

de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 391: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Embu das Artes.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-7,80	4,29	3,7
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 2	-7,80	14,29	12,5
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-7,80	41,68	36,3
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-30,74	50,45	44,0
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-7,80	52,59	45,9
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-7,80	79,98	69,7
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-7,80	98,97	86,3
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 22,94 mil t/ano e permite a geração de 4,44 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 9,79 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 3,54. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse

custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 50,45 mil t/ano, equivalente a 44% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 45,9% e 69,7%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,3%, ou seja, 98,97 mil toneladas anuais.

A Tabela 392 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Embu das Artes quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 392: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Embu das Artes.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	4,29	0,00	0,00	-0,03
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	14,29	0,00	0,00	-0,30
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	14,29	13,87	0,00	-1,93
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	14,29	18,31	0,00	-2,45
RT com geração de CDR, sem biodigestão	14,29	0,00	37,20	-3,10
RT com geração de CDR, com biodigestão	14,29	13,87	37,20	-4,72
RT com gaseificação, sem biodigestão	14,29	0,00	0,00	69,32

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 69,32 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para a solução individual.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 7,8 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,74% do total, requerendo para tal a contratação de 249 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 39,29 mil

toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 10,92% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 146 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 395 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 43,47% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Embu das Artes possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 120 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 4,57 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 9 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 31,21 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 2,88 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 69,61 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 42,06 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 54,82, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 23,94.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 10,01 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 4,29 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 0,13 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 14,29 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,46% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 36,38%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 38 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 104,54 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 104,09 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 98,11 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 42,06 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 140,17 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 63,7, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 27,82.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Embu das Artes apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 393 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 393: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Embu das Artes.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-31,21	-2,88	-69,61	-103,69
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-104,54	-2,88	-104,09	-211,50
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-214,89	-2,88	-131,30	-349,06
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-227,19	-12,67	-117,75	-357,60
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-133,84	-2,88	-92,85	-229,57

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT com geração de CDR, com biodigestão	-244,19	-2,88	-120,06	-367,13
RT com gaseificação, sem biodigestão	-366,38	-2,88	-231,49	-600,75
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 393 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 137,56 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 18,07 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 140,17 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite

adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Embu das Artes, representa a adição de R\$ 25,84 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 394: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Embu das Artes.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	42,06	-0,04	0,00	42,02
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	140,17	-0,34	0,00	139,84
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	140,17	-2,17	0,00	138,01
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	140,17	-2,75	0,00	137,42
RT com geração de CDR, sem biodigestão	140,17	-3,48	25,84	162,53
RT com geração de CDR, com biodigestão	140,17	-5,31	25,84	160,70
RT com gaseificação, sem biodigestão	140,17	78,01	0,00	218,18
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 394 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 218,18 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 5,2 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 162,53 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$

55,66 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Embu das Artes.

A Tabela 395 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 61,67 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 395: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Embu das Artes.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-61,67	-6,29	54,82	23,94
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-71,67	-7,31	63,70	27,82
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-211,06	-21,51	187,60	81,94
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-220,18	-22,45	195,71	85,49
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-67,04	-6,83	59,59	26,03
RT com geração de CDR, com biodigestão	-206,43	-21,04	183,49	80,15

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT com gaseificação, sem biodigestão	-382,56	-39,00	340,05	148,53
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 23,94 por ano, ou ainda R\$ 2 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 54,82/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

### 3.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Embu das Artes aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 396 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 396: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Embu das Artes.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	141,92	14,47	50,01	2,66
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	534,83	54,52	53,81	3,78
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	439,49	44,80	29,55	2,36
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	442,29	45,09	28,65	2,33
RT com geração de CDR, sem biodigestão	565,18	57,61	46,78	3,66
RT com geração de CDR, com biodigestão	484,65	49,40	28,76	2,41
RT com gaseificação, sem biodigestão	248,56	25,34	16,36	1,44
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Embu das Artes proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,57 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 57,61 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga

os 8,5% da TSD, pois é de 46,78%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Embu das Artes na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,66 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,53 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 54,52 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 53,81%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 30,36 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,37% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 54,52 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 14,47 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 50,01%.

*Tabela 397: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Embu das Artes.*

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	75,03	125,23	4,74	1,70

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	250,04	417,36	15,81	5,68
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	250,04	417,36	15,81	5,68
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	250,04	417,36	15,81	5,68
RT com geração de CDR, sem biodigestão	250,04	417,36	15,81	5,68
RT com geração de CDR, com biodigestão	250,04	417,36	15,81	5,68
RT com gaseificação, sem biodigestão	250,04	417,36	15,81	5,68
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 397 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,69 bilhões. Este resultado representa 94,71% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 398: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Embu das Artes.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	14,41	0,00	0,99
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	16,61	0,00	3,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	16,61	5,76	9,58
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	16,61	7,60	11,60
RT com geração de CDR, sem biodigestão	16,61	0,00	12,09
RT com geração de CDR, com biodigestão	16,61	5,76	18,39
RT com gaseificação, sem biodigestão	16,61	0,00	22,76
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 398 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Embu das Artes, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 16,61 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 7,6 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 22,76 milhões, na

rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta VSPL$  (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 12,09 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local (Tabela 399), nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,86 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 399: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Embu das Artes.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,25	4,93	-9,65
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,79	17,80	-34,82
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1,41	43,22	-84,53
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-2,11	51,06	-99,87
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,86	57,00	-111,49
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,65	96,86	-189,47
RT com gaseificação, sem biodigestão	-9,59	92,27	-180,49
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 399 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 57 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Embu das Artes emitiu 200 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 111,49 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (55,74%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 400). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Embu das Artes, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 212,26 milhões, 60,21% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 39,79% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,97 vezes.

Tabela 400: Custos sociais nas RT da solução individual de Embu das Artes.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-29,14	-2,52	-53,71	-85,37
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-99,39	-2,52	-90,64	-192,55
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-204,38	-2,52	-116,25	-323,15
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-216,05	-11,11	-104,19	-331,35
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-127,80	-2,52	-81,93	-212,26
RT com geração de CDR, com biodigestão	-232,79	-2,52	-107,20	-342,51
RT com gaseificação, sem biodigestão	-351,71	-2,52	-208,15	-562,38
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 4. Município de Itapecerica da Serra

### 4.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Itapecerica da Serra aponta para a coleta de 51,69 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 373,57 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 54 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 114,89 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 5,3 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 3,91 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 4,4 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 488,46 milhões em VPL, compensados em 1,98% pelo total de R\$ 9,69 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 48,8 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 944,24 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 293,95 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 0,98 mil t/ano, efetivamente desviando 0,54 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 4 caminhões baú e com o trabalho de 31 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 401 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Itapeperica da Serra não apresenta escala para a tecnologia de incineração e tampouco para a instalação de triagem mecânica biológica (TMB) e biodigestor. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 1 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

*Tabela 401: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Itapeperica da Serra.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 2	-2,64	1,45	2,8
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 1	-2,64	5,96	11,5
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-12,97	22,26	43,1
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 1	-2,64	23,22	44,9
RT com geração de CDR, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 1	-2,64	44,12	85,4
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 10,34 mil t/ano e permite a geração de 2 mil t/ano de digestato (composto orgânico da

biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 8,6 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 64,91. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 22,26 mil t/ano, equivalente a 43,1% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 44,9% e 68,8%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 85,4%, ou seja, 44,12 mil toneladas anuais.

A Tabela 402 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Itapeverica da Serra quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias.

*Tabela 402: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias RT da solução individual de Itapeverica da Serra.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1,45	0,00	0,00	-0,01
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	5,96	0,00	0,00	-0,13
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	5,96	8,25	0,00	-1,10
RT com geração de CDR, sem biodigestão	5,96	0,00	16,77	-1,39

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	5,96	0,00	0,00	31,24
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. O tratamento térmico, que têm como subproduto a geração de energia elétrica, mais do que compensa a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 31,24 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 2,64 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,81% do total, requerendo para tal a contratação de 84 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 17,71 mil

toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 8,19% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 49 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 133 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 35,98% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Itapeverica da Serra possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 40 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,41 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 3 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 20,73 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 0,72 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 21,84 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 14,22 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 57,37, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 17,86.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 4,51 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 1,45 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 0,54 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 5,96 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,53% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,65%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 19 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 75,82 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 72,14 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 44,22 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 14,22 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 58,43 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 177,88, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 55,38.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Itapeperica da Serra apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 403 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 403: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Itapeperica da Serra.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-20,73	-0,72	-21,84	-43,29
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-75,82	-0,52	-72,14	-148,48
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-151,85	-8,59	-95,52	-255,96

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-87,93	0,23	-70,27	-157,97
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	-180,29	1,13	-169,96	-349,12
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 403 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 9,49 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 58,43 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Itapecerica da Serra, representa a adição de R\$ 11,64 milhões em VPL. Estas receitas já

são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 404: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Itapeverica da Serra.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	14,22	-0,01	0,00	14,20
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	58,43	-0,15	0,00	58,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	58,43	-1,24	0,00	57,20
RT com geração de CDR, sem biodigestão	58,43	-1,57	11,64	68,51
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	58,43	35,16	0,00	93,60
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 404 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 93,6 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,6 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 68,51 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 25,08 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Itapeverica da Serra.

A Tabela 405 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 29,09 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 405: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Itapeverica da Serra.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-29,09	-2,97	57,37	17,86
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-90,19	-9,19	177,88	55,38
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-198,76	-20,26	392,01	122,04
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-89,46	-9,12	176,44	54,93
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	-255,52	-26,05	503,95	156,88
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada município tem de arcar com a diferença de R\$ 17,86 por ano, ou ainda R\$ 1,49 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 57,37/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 4.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Itapeverica da Serra aponta resultados promissores: todas as 5 rotas que apresentam escala têm  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 406 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 406: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Itapepecrica da Serra.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	40,04	4,08	28,83	2,09
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	165,38	16,86	30,84	2,21
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	84,31	8,59	15,16	1,35
RT com geração de CDR, sem biodigestão	177,35	18,08	29,15	2,20
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	12,53	1,28	9,40	1,04
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Itapepecrica da Serra proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,18 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 18,08 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 29,15%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Itapepecrica da Serra na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 2,2 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,17 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 16,86 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 30,84%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 11,97 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 6,75% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 16,86 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 4,08 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 28,83%.

Tabela 407: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Itapeverica da Serra.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	25,36	42,33	1,60	0,58
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	104,23	173,99	6,59	2,37
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	104,23	173,99	6,59	2,37
RT com geração de CDR, sem biodigestão	104,23	173,99	6,59	2,37
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	104,23	173,99	6,59	2,37
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 407 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,29 bilhões. Este resultado representa 94,99% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos

da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 408: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Itapequerica da Serra.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	4,86	0,00	0,33
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	5,96	0,00	1,37
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	5,96	3,43	5,12
RT com geração de CDR, sem biodigestão	5,96	0,00	5,34
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	5,96	0,00	10,14
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 408 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Itapequerica da Serra, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 5,96 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais

orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 3,43 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 10,14 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 5,34 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 1,26 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 409: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Itapequerica da Serra.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,09	1,67	-3,26
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,33	7,48	-14,61
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-0,98	22,50	-43,92
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1,26	25,17	-49,16
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	-4,35	41,11	-80,26

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 409 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 25,17 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Itapecerica da Serra emitiu 304 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 49,16 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento representativo (16,18%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o ΔVSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 410). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Itapecerica da Serra, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 147,57 milhões, 56,84% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 43,16% aos custos de

operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,18 vezes.

Tabela 410: Custos sociais nas RT da solução individual de Itapecerica da Serra.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-19,36	-0,57	-16,85	-36,78
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-72,13	-0,69	-64,13	-136,94
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-	-	-	-
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-144,45	-8,38	-86,06	-238,89
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-83,87	-0,69	-63,01	-147,57
RT com geração de CDR, com biodigestão	-	-	-	-
RT com gaseificação, sem biodigestão	-172,68	-0,69	-154,15	-327,52
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 5. Município de Itapevi

### 5.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Itapevi aponta para a coleta de 57,59 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 115,75 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de nenhuma receita acessória da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 4,36 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 4,91 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 115,75 milhões em VPL, compensados em 4,24% pelo total de R\$ 4,91 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 11,3 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 196,18 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 46,4 por habitante. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

#### Resumo dos quantitativos das RT

A Tabela 411 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Itapevi não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 1 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 411: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Itapevi.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 2	-4,03	2,22	3,9
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 1	-4,03	7,24	12,6
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-4,03	21,00	36,5
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-15,55	25,40	44,1
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 1	-4,03	26,47	46,0
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-4,03	40,23	69,8
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 1	-4,03	49,77	86,4
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 11,52 mil t/ano e permite a geração de 2,23 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 4,25 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 4,45. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 25,4 mil t/ano, equivalente a 44,1% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 46% e 69,8%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,4%, ou seja, 49,77 mil toneladas anuais.

A Tabela 412 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Itapevi quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 412: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Itapevi.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	2,22	0,00	0,00	-0,02
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	7,24	0,00	0,00	-0,15
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	7,24	6,96	0,00	-0,97
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	7,24	9,19	0,00	-1,23
RT com geração de CDR, sem biodigestão	7,24	0,00	18,68	-1,55
RT com geração de CDR, com biodigestão	7,24	6,96	18,68	-2,37
RT com gaseificação, sem biodigestão	7,24	0,00	0,00	34,81
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 34,81 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para a solução individual.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 4,03 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,85% do total, requerendo para tal a contratação de 129 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 19,73 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 11,24% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 75 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 204 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 85,71% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Itapevi possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 62 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,55 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 4 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 22,46 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 1,49 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 36,19 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 21,74 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 67,99, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 16,08.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 5,02 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 2,22 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva), lembrando que atualmente (linha de base) o município não promove a recuperação de materiais.

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 7,24 mil t/ano, atingindo a taxa de 12,57% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 36,7%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,7% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,57% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 19 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 78,82 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 84,2 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 49,27 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 21,74 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 71,02 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 165,76, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 39,20.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Itapevi apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 413 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 413: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Itapevi.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-22,46	-1,49	-36,19	-60,14
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-78,82	-1,49	-84,20	-164,50
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-149,05	-1,49	-112,79	-263,33
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-161,05	-5,74	-106,88	-273,67
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-92,10	-1,49	-81,13	-174,72
RT com geração de CDR, com biodigestão	-162,33	-1,49	-109,73	-273,55
RT com gaseificação, sem biodigestão	-244,81	-1,49	-218,11	-464,40
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 413 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 98,83 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 10,22 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 71,02 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Itapevi, representa a adição de R\$ 12,98 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 414: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Itapevi.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	21,74	-0,02	0,00	21,72
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	71,02	-0,17	0,00	70,85
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	71,02	-1,09	0,00	69,93
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	71,02	-1,38	0,00	69,63

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	71,02	-1,75	12,98	82,24
RT com geração de CDR, com biodigestão	71,02	-2,67	12,98	81,32
RT com gaseificação, sem biodigestão	71,02	39,18	0,00	110,19
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 414 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 110,19 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 5,1 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 82,24 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 27,95 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Itapevi.

A Tabela 415 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que

o resultado líquido de negativos R\$ 38,41 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 415: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Itapevi.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-38,41	-3,92	67,99	16,08
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-93,65	-9,55	165,76	39,20
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-193,40	-19,72	342,31	80,96
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-204,03	-20,80	361,13	85,41
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-92,48	-9,43	163,68	38,71
RT com geração de CDR, com biodigestão	-192,23	-19,60	340,23	80,47
RT com gaseificação, sem biodigestão	-354,21	-36,11	626,93	148,27
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 16,08 por ano, ou ainda R\$ 1,34 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 67,99/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 5.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Itapevi aponta resultados promissores: 6 das 7 RT apresentam  $\Delta$ VSPL positivo, ou seja, para estas, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE de 6 das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das 6 RT positivas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 416 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas, respeitando-se as mesmas restrições de escala das tecnologias que se verificou na análise financeira.

Tabela 416: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Itapevi.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimen_sional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	67,32	6,86	37,93	2,34
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	217,78	22,20	35,77	2,44
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	141,90	14,47	19,34	1,58
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	137,63	14,03	18,34	1,54
RT com geração de CDR, sem biodigestão	232,10	23,66	33,44	2,44
RT com geração de CDR, com biodigestão	163,62	16,68	19,76	1,64
RT com gaseificação, sem biodigestão	-23,38	-2,38	7,21	0,95

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 86% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Itapevi proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,23 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 23,66 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 33,44%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Itapevi na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 2,44 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,22 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 22,2 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 35,77%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 14,31 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 6,17% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os

níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 22,2 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 6,86 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 37,93%.

Tabela 417: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Itapevi.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	38,79	64,74	2,45	0,88
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	126,68	211,45	8,01	2,88
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	126,68	211,45	8,01	2,88
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	126,68	211,45	8,01	2,88
RT com geração de CDR, sem biodigestão	126,68	211,45	8,01	2,88
RT com geração de CDR, com biodigestão	126,68	211,45	8,01	2,88
RT com gaseificação, sem biodigestão	126,68	211,45	8,01	2,88
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 417 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na

primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,35 bilhões. Este resultado representa 94,67% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (61% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 418: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Itapevi.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	7,47	0,00	0,51
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	8,57	0,00	1,67
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	8,57	2,89	4,83
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	8,57	3,82	5,84
RT com geração de CDR, sem biodigestão	8,57	0,00	6,09
RT com geração de CDR, com biodigestão	8,57	2,89	9,25
RT com gaseificação, sem biodigestão	8,57	0,00	11,44
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 418 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes

perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Itapevi, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 8,57 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 3,82 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 11,44 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 6,09 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 1,44 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 419: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Itapevi.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,13	2,55	-4,99
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,40	9,01	-17,63
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-0,70	21,78	-42,60
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1,05	25,71	-50,30

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1,44	28,70	-56,13
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,33	48,72	-95,29
RT com gaseificação, sem biodigestão	-4,81	46,41	-90,79
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 419 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 28,7 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Itapevi emitiu 104 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 56,13 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (54%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o ΔVSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da

ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 420). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Itapevi, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 161,71 milhões, 54,32% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 45,68% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,31 vezes.

Tabela 420: Custos sociais nas RT da solução individual de Itapevi.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-20,97	-1,30	-27,93	-50,20
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-74,96	-1,30	-74,61	-150,87
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-141,78	-1,30	-101,38	-244,47
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-153,18	-5,03	-96,06	-254,27
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-87,84	-1,30	-72,56	-161,71
RT com geração de CDR, com biodigestão	-154,66	-1,30	-99,18	-255,14
RT com gaseificação, sem biodigestão	-234,89	-1,30	-197,81	-434,00
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 6. Município de Itaquaquecetuba

### 6.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Itaquaquecetuba aponta para a coleta de 90,84 mil toneladas médias de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 510,58 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 46 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 182,56 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de zero receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 6,72 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 7,56 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 693,14 milhões em VPL, compensados em 1,09% pelo total de R\$ 7,56 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 69,89 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 769,34 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 180,46 por habitante. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

#### Resumo dos quantitativos das RT

A Tabela 421 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Itaquaquecetuba não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 421: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Itaquaquecetuba.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-6,36	3,50	3,9
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 2	-6,36	12,16	13,4
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-6,36	32,34	35,6
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-24,53	39,29	43,2
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-6,36	42,96	47,3
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-6,36	63,14	69,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-6,36	78,40	86,3
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 18,17 mil t/ano e permite a geração de 3,52 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 6,44 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ -0,60. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 39,29 mil t/ano, equivalente a 43,2% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 47,3% e 69,5%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,3%, ou seja, 78,4 mil toneladas anuais.

A Tabela 422 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Itaquaquecetuba quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

Tabela 422: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias RT da solução individual de Itaquaquecetuba.

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	3,50	0,00	0,00	-0,05
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	12,16	0,00	0,00	-0,32
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	12,16	10,22	0,00	-1,52
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	12,16	13,73	0,00	-1,93
RT com geração de CDR, sem biodigestão	12,16	0,00	29,92	-2,55
RT com geração de CDR, com biodigestão	12,16	10,22	29,92	-3,75
RT com gaseificação, sem biodigestão	12,16	0,00	0,00	55,83
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 55,83 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para a solução individual.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 6,36 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,85% do total, requerendo para tal a contratação de 203 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 33,43 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 10,46% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 119 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 322 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 73,72% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Itaquaquecetuba possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 98 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,53 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 7 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 26 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 2,22 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 55,76 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 32,13 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 58,25, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 13,66.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 8,66 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 3,5 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na

coleta seletiva), lembrando que atualmente (linha de base) o município não promove a recuperação de materiais.

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 12,16 mil t/ano, atingindo a taxa de 13,39% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 36,38%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 33 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 94,17 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 98,79 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 79,57 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 32,13 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 111,7 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de R\$ 93,71, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 21,98.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Itaquaquecetuba apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 423 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 423: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Itaquaquecetuba.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-26,00	-2,22	-55,76	-83,98
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-94,17	-1,90	-98,79	-194,85
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-186,12	-1,15	-127,06	-314,33
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-195,82	-7,59	-108,15	-311,57
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-119,02	-0,76	-92,09	-211,86
RT com geração de CDR, com biodigestão	-210,97	-0,01	-120,36	-331,34
RT com gaseificação, sem biodigestão	-319,50	0,55	-231,05	-550,00
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 423 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 119,48 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 17,01 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 111,7 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Itaquaquecetuba, representa a adição de R\$ 20,78 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 424: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Itaquaquetuba.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	32,13	-0,06	0,00	32,07
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	111,70	-0,36	0,00	111,34
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	111,70	-1,71	0,00	109,99
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	111,70	-2,17	0,00	109,53
RT com geração de CDR, sem biodigestão	111,70	-2,87	20,78	129,61
RT com geração de CDR, com biodigestão	111,70	-4,22	20,78	128,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	111,70	62,83	0,00	174,53
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 424 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 174,53 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 5,4 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 129,61 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 44,92 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual

equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Itaquaquecetuba.

A Tabela 425 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de negativos R\$ 51,91 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 425: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Itaquaquecetuba.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-51,91	-5,29	58,25	13,66
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-83,51	-8,51	93,71	21,98
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-204,34	-20,83	229,30	53,79
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-202,04	-20,60	226,72	53,18
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-82,25	-8,38	92,30	21,65
RT com geração de CDR, com biodigestão	-203,08	-20,70	227,89	53,46
RT com gaseificação, sem biodigestão	-375,47	-38,28	421,34	98,83
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 13,66 por ano, ou ainda R\$ 1,14 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 58,25/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 6.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Itaquaquecetuba aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 426 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 426: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Itaquaquetuba.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSP (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	109,24	11,14	47,36	2,58
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	416,30	42,44	48,67	3,34
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	328,82	33,52	27,06	2,13
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	339,75	34,63	26,75	2,17
RT com geração de CDR, sem biodigestão	438,54	44,70	42,65	3,22
RT com geração de CDR, com biodigestão	362,23	36,93	26,38	2,16
RT com gaseificação, sem biodigestão	143,75	14,65	13,89	1,28
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Itaquaquetuba proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,44 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 44,7 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 42,65%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Itaquaquetuba na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,22 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,42 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 42,44 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 48,67%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 22,23 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,07% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 42,44 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 11,14 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 47,36%.

Tabela 427: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Itaquaquecetuba.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	57,90	97,71	4,38	1,60
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	201,32	339,72	15,24	5,58
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	201,32	339,72	15,24	5,58
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	201,32	339,72	15,24	5,58

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com geração de CDR, sem biodigestão	201,32	339,72	15,24	5,58
RT com geração de CDR, com biodigestão	201,32	339,72	15,24	5,58
RT com gaseificação, sem biodigestão	201,32	339,72	15,24	5,58
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 427 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,56 bilhões. Este resultado representa 94,5% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 428: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Itaquaquetuba.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	11,75	0,00	0,80
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	13,66	0,00	2,80
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	13,66	4,24	7,44
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	13,66	5,70	9,03
RT com geração de CDR, sem biodigestão	13,66	0,00	9,88
RT com geração de CDR, com biodigestão	13,66	4,24	14,52
RT com gaseificação, sem biodigestão	13,66	0,00	18,02
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 428 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Itaquaquetuba, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 13,66 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 5,7 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 18,02 milhões, na

rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta VSPL$  (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 9,88 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,33 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 429: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Itaquaquecetuba.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,21	4,15	-8,10
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,67	15,59	-30,47
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-0,95	34,83	-68,03
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1,50	41,22	-80,51
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,33	48,28	-94,31
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,71	78,45	-153,27
RT com gaseificação, sem biodigestão	-7,52	74,95	-146,37
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 429 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 48,28 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Itaquaquecetuba emitiu 194 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 94,31 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (48,7%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 430). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Itaquaquecetuba, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 197,47 milhões, 57,57% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 42,43% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,72 vezes.

Tabela 430: Custos sociais nas RT da solução individual de Itaquaquecetuba.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-24,27	-1,96	-43,03	-69,26
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-89,58	-2,06	-86,64	-178,27
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-177,07	-2,06	-113,12	-292,25
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-186,24	-7,94	-96,04	-290,21
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-113,68	-2,06	-81,73	-197,47
RT com geração de CDR, com biodigestão	-201,17	-2,06	-107,98	-311,20
RT com gaseificação, sem biodigestão	-306,71	-2,06	-208,45	-517,22
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 7. Município de Osasco

### 7.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Osasco aponta para a coleta de 299,33 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) com o tratamento e a disposição de RSU de R\$ 620,34 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 9,07 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 22,13 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 24,91 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 620,34 milhões em VPL, compensados em 5,48% pelo total de R\$ 33,98 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 59,77 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 199,69 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 78,23 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 1,8 mil t/ano, efetivamente desviando 0,99 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 8 caminhões baú e com o trabalho de 57 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

#### Resumo dos quantitativos das RT

A Tabela 431 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Osasco apresenta escala suficiente para a instalação de

quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 1 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

Tabela 431: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Osasco.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-19,16	10,54	3,5
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 3	-19,16	39,08	13,1
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 2	-19,16	105,57	35,3
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 3	-79,02	128,47	42,9
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-19,16	140,55	47,0
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 2	-19,16	207,05	69,2
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 4	-19,16	257,34	86,0
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 1	-19,16	190,84	63,8
RT com incineração, com biodigestão	Grau 1	-19,16	257,34	86,0

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 59,87 mil t/ano e permite a geração de 11,59 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 32,52 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 8,49. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse

custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 128,47 mil t/ano, equivalente a 42,9% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 47% e 69,2%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86%, ou seja, 257,34 mil toneladas anuais.

A Tabela 432 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Osasco quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 432: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Osasco.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/a)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	10,54	0,00	0,00	-0,16
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	39,08	0,00	0,00	-1,03
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	39,08	33,66	0,00	-4,98
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	39,08	45,25	0,00	-6,34
RT com geração de CDR, sem biodigestão	39,08	0,00	98,57	-8,39
RT com geração de CDR, com biodigestão	39,08	33,66	98,57	-12,34
RT com gaseificação, sem biodigestão	39,08	0,00	0,00	183,97

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/a)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT com incineração, sem biodigestão	39,08	0,00	0,00	90,51
RT com incineração, com biodigestão	39,08	33,66	0,00	86,56

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 183,97 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 86,56 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 19,16 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,52% do total, requerendo para tal a contratação de 611 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 110,15 mil

toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 9,57% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 358 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 969 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 186,71% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Osasco possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 294 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 3,85 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 21 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 63,96 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 7,06 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 158,1 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 96,79 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 45,13, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 17,68.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 28,54 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 10,54 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 0,99 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 39,08 mil t/ano, atingindo a taxa de 13,06% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 35,48%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 112 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantêm esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 190,73 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 128,61 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 262,2 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 96,79 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 358,98 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 10,7, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 4,19 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Osasco apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 433 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 433: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Osasco.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-63,96	-7,06	-158,10	-229,12
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-190,73	-7,06	-128,61	-326,40
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-393,18	-7,06	-152,68	-552,93
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-436,49	-39,58	-138,98	-615,06

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-290,26	-7,06	-95,40	-392,73
RT com geração de CDR, com biodigestão	-492,71	-7,06	-119,47	-619,25
RT com gaseificação, sem biodigestão	-682,28	-7,06	-252,09	-941,43
RT com incineração, sem biodigestão	-1.204,26	-7,06	-437,63	-1.648,95
RT com incineração, com biodigestão	-1.406,71	-7,06	-461,70	-1.875,47

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 433 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 226,52 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 66,32 milhões (em VPL). A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 358,98 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se

adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Osasco, representa a adição de R\$ 68,46 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 434: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Osasco.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	96,79	-0,18	0,00	96,60
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	358,98	-1,16	0,00	357,82
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	358,98	-5,61	0,00	353,38
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	358,98	-7,14	0,00	351,85
RT com geração de CDR, sem biodigestão	358,98	-9,44	68,46	418,01
RT com geração de CDR, com biodigestão	358,98	-13,88	68,46	413,56
RT com gaseificação, sem biodigestão	358,98	207,05	0,00	566,03
RT com incineração, sem biodigestão	358,98	101,86	0,00	460,84
RT com incineração, com biodigestão	358,98	97,41	0,00	456,40

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 434 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 566,03 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 5,9 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 460,84 milhões (em VPL). A variação

entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 105,19 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Osasco.

A Tabela 435 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 31,42 milhões (VPL) da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 435: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Osasco.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-132,52	-13,51	45,13	17,68
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	31,42	3,20	-10,70	-4,19
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-199,55	-20,34	67,96	26,63
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-263,21	-26,83	89,64	35,12
RT com geração de CDR, sem biodigestão	25,28	2,58	-8,61	-3,37
RT com geração de CDR, com biodigestão	-205,69	-20,97	70,05	27,44

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT com gaseificação, sem biodigestão	-375,39	-38,27	127,85	50,09
RT com incineração, sem biodigestão	-1.188,10	-121,11	404,62	158,52
RT com incineração, com biodigestão	-1.419,07	-144,66	483,28	189,34

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 4,19 por ano por habitante (R\$ 10,7/t). Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 7.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Osasco aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ VSP positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 436 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 436: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Osasco.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	349,82	35,66	56,68	2,86
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	1.612,05	164,33	75,86	6,43
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.483,51	151,23	43,64	3,89
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	1.454,64	148,28	40,16	3,55
RT com geração de CDR, sem biodigestão	1.678,43	171,10	57,72	5,58
RT com geração de CDR, com biodigestão	1.586,75	161,75	38,87	3,73
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.242,07	126,62	27,21	2,40
RT com incineração, sem biodigestão	397,65	40,54	12,52	1,25
RT com incineração, com biodigestão	269,11	27,43	10,90	1,15

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Osasco proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 1,68 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 171,1 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 57,72%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um

empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Osasco na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 5,58 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 1,61 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 164,33 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 75,86%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 66,38 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 3,95% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 164,33 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 35,66 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 56,68%.

Tabela 437: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Osasco.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	174,44	294,36	13,20	4,83
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	647,01	1.091,79	48,97	17,93
RT com geração de CDR, sem biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93
RT com geração de CDR, com biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93
RT com gaseificação, sem biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93
RT com incineração, sem biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93
RT com incineração, com biodigestão	647,01	1.091,79	48,97	17,93

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 437 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 1,81 bilhões. Este resultado representa 94,6% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 35% do total.

Tabela 438: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Osasco.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	35,36	0,00	2,42
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	41,85	0,00	8,98
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	41,85	13,98	24,27
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	41,85	18,79	29,54
RT com geração de CDR, sem biodigestão	41,85	0,00	32,31
RT com geração de CDR, com biodigestão	41,85	13,98	47,60
RT com gaseificação, sem biodigestão	41,85	0,00	59,16
RT com incineração, sem biodigestão	41,85	0,00	43,88
RT com incineração, com biodigestão	41,85	13,98	59,16

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 438 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Osasco, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 41,85 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 18,79 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 59,16 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR,

sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 32,31 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 7,63 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta VSPL$  seja positivo.

Tabela 439: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Osasco.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,62	12,47	-24,40
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	2,16	50,15	-98,10
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-3,19	113,44	-221,89
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-5,00	134,45	-262,98
RT com geração de CDR, sem biodigestão	7,63	157,71	-308,49
RT com geração de CDR, com biodigestão	2,28	257,02	-502,74
RT com gaseificação, sem biodigestão	-24,85	245,40	-480,02
RT com incineração, sem biodigestão	-79,18	157,95	-308,95
RT com incineração, com biodigestão	-84,54	221,23	-432,74

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 439 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a

promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 157,71 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Osasco emitiu 542 mil tCO<sub>2eq.</sub> apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 308,49 mil tCO<sub>2eq.</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (56,88%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o ΔVSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 440). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Osasco, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 366,78 milhões, 75,71% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 24,29% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 2,98 vezes.

Tabela 440: Custos sociais nas RT da solução individual de Osasco.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-59,71	-6,20	-121,99	-187,90

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-181,16	-6,20	-109,45	-296,80
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-373,78	-6,20	-132,56	-512,54
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-414,87	-34,72	-121,09	-570,68
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-277,69	-6,20	-82,89	-366,78
RT com geração de CDR, com biodigestão	-470,31	-6,20	-105,17	-581,68
RT com gaseificação, sem biodigestão	-654,86	-6,20	-224,14	-885,20
RT com incineração, sem biodigestão	-1.170,49	-6,20	-395,86	-1.572,54
RT com incineração, com biodigestão	-1.363,13	-6,20	-418,95	-1.788,28

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 8. Município de São Paulo

### 8.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de São Paulo aponta para a coleta de 3.850,75 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 9.261,06 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 18 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 8.169,18 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de R\$ 250,09 milhões em receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 300,71 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 338,42 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 17.430,23 milhões em VPL, compensados em 3,38% pelo total de R\$ 588,51 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 1.705,24 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 442,83 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 144,51 por habitante.

A coleta seletiva formal na RT Contrafactual é responsável pelo recolhimento de 69,31 mil t/ano, efetivamente desviando 36,97 mil toneladas de recicláveis. Para tanto, conta-se com o emprego de 308 caminhões baú e com o trabalho de 2.145 triadores formais que atuam com os proventos da coleta seletiva. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

### **Resumo dos quantitativos das RT**

A Tabela 441 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de São Paulo apresenta escala suficiente para a instalação de quaisquer das rotas simuladas. Ou seja, não há restrição de escala, mesmo para a tecnologia mais complexa (incineração, com Grau 5 de escala, sendo 1 a menor e 5 a maior).

*Tabela 441: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de São Paulo.*

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 5	-200,24	106,79	2,8
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 5	-200,24	454,16	11,8
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 5	-200,24	1.443,04	37,5
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 5	-970,39	1.737,54	45,1
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 5	-200,24	1.671,60	43,4
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 5	-200,24	2.660,47	69,1
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 5	-200,24	3.267,28	84,8
RT com incineração, sem biodigestão	Grau 5	-200,24	2.278,41	59,2
RT com incineração, com biodigestão	Grau 5	-200,24	3.267,28	84,8

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 770,15 mil t/ano e permite a geração de 149,1 mil t/ano de digestato (composto orgânico da

biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 626,97 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ 4,31. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 1.737,54 mil t/ano, equivalente a 45,1% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 43,4% e 69,1%) do aterro sanitário. Os tratamentos térmicos são os que conseguem atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 84,8%, ou seja, 3.267,28 mil toneladas anuais.

A Tabela 442 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de São Paulo quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 442: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de São Paulo.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	106,79	0,00	0,00	-0,30
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	454,16	0,00	0,00	-8,74
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	454,16	500,64	0,00	-67,49
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	454,16	649,74	0,00	-84,99
RT com geração de CDR, sem biodigestão	454,16	0,00	1.182,65	-99,22

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT com geração de CDR, com biodigestão	454,16	500,64	1.182,65	-157,97
RT com gaseificação, sem biodigestão	454,16	0,00	0,00	2.194,60
RT com incineração, sem biodigestão	454,16	0,00	0,00	1.113,20
RT com incineração, com biodigestão	454,16	500,64	0,00	1.054,45

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 2.194,6 MWh/ano; já quanto a incineração, o potencial é de 1.054,45 MWh/ano.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 200,24 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 2,77% do total, requerendo para tal a contratação de 4261 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 1.355,08 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 7,88% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 3.741 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 8.002 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite formalizar a atuação de 37,2% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de São Paulo possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 3.072 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 2,6 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 222 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 536,75 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 57,8 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 1031,2 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 722,47 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 15,23, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 4,97.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 347,37 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 106,79 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva) e também incremental as 36,97 mil t/ano que são recuperadas atualmente (na RT de linha de base).

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 454,16 mil t/ano, atingindo a taxa de 11,79% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 33,52%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,24% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 12,75% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 1.587 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantêm esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 1.613,32 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ -308,9 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 3.746,56 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 722,47 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 4469,03 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada passa a ser de negativos R\$ 82,12, ou seja, ao invés de um incremento de custos, há uma redução (uma economia) oriunda das melhorias da rota. Essa melhora no balanço financeiro se traduz em um saldo positivo de R\$ 26,8 por habitante por ano.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de São Paulo apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 443 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 443: Resultados para as despesas das RT da solução individual de São Paulo.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-536,75	-57,80	-1.031,20	-1.625,76
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-1.613,32	-52,78	308,90	-1.357,19
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-3.514,94	-38,47	522,41	-3.030,99
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-3.840,33	-665,44	995,60	-3.510,17

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-2.212,85	-35,16	1.069,80	-1.178,21
RT com geração de CDR, com biodigestão	-4.114,47	-20,85	1.283,31	-2.852,01
RT com gaseificação, sem biodigestão	-6.755,42	-12,07	1.193,40	-5.574,09
RT com incineração, sem biodigestão	-10.105,98	-26,38	-1.695,82	-11.828,18
RT com incineração, com biodigestão	-12.007,60	-12,07	-1.482,31	-13.501,98

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 443 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 1.673,8 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A RT com incineração, com biodigestão, é a mais custosa de todas, enquanto a RT com geração de CDR, sem biodigestão é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 4.469,03 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite

adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de São Paulo, representa a adição de R\$ 821,4 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

Tabela 444: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de São Paulo.

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1.050,87	-0,34	0,00	1.050,54
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	4.469,03	-9,84	0,00	4.459,20
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	4.469,03	-75,95	0,00	4.393,08
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	4.469,03	-95,64	0,00	4.373,39
RT com geração de CDR, sem biodigestão	4.469,03	-111,67	821,40	5.178,77
RT com geração de CDR, com biodigestão	4.469,03	-177,78	821,40	5.112,65
RT com gaseificação, sem biodigestão	4.469,03	2.469,84	0,00	6.938,87
RT com incineração, sem biodigestão	4.469,03	1.252,82	0,00	5.721,85
RT com incineração, com biodigestão	4.469,03	1.186,70	0,00	5.655,73

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 444 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 6.938,87 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 6,6 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com incineração, sem biodigestão, com o total de R\$ 5.721,85 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$

1.217,02 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de São Paulo.

A Tabela 445 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que o resultado líquido de positivos R\$ 4.000,56 milhões (VPL) da RT com geração de CDR, sem biodigestão, representa a melhor opção em termos financeiros. Em resumo, tem-se a possibilidade de agregar R\$ 4 bilhões com uma gestão de resíduos melhor.

Tabela 445: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de São Paulo.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-575,22	-58,64	15,23	4,97
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	3.102,01	316,22	-82,12	-26,80
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	1.362,09	138,85	-36,06	-11,77
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	863,22	88,00	-22,85	-7,46
RT com geração de CDR, sem biodigestão	4.000,56	407,81	-105,90	-34,56
RT com geração de CDR, com biodigestão	2.260,64	230,45	-59,84	-19,53

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT com gaseificação, sem biodigestão	1.364,78	139,12	-36,13	-11,79
RT com incineração, sem biodigestão	-6.106,33	-622,47	161,65	52,75
RT com incineração, com biodigestão	-7.846,25	-799,84	207,71	67,78

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é positivo, tem-se uma redução de custos em relação à RT atual. Ou seja, além de aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade e do cumprimento das metas setoriais, a opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, se traduz em economia de custos da ordem de R\$ 34,56 por ano por habitante (R\$ 105,9/t). Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 8.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de São Paulo aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta$ VSPL positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, a TRE das RT supera a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 446 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 446: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de São Paulo.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSP (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	4.229,65	431,17	72,87	4,11
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	21.790,86	2.221,34	104,89	17,46
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	21.485,95	2.190,25	60,45	8,31
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	21.418,23	2.183,35	56,65	7,32
RT com geração de CDR, sem biodigestão	23.437,05	2.389,15	87,90	19,90
RT com geração de CDR, com biodigestão	23.663,54	2.412,24	57,32	9,33
RT com gaseificação, sem biodigestão	20.501,79	2.089,93	37,27	4,74
RT com incineração, sem biodigestão	12.418,02	1.265,88	21,79	2,09
RT com incineração, com biodigestão	12.106,72	1.234,15	19,65	1,93

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, com biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de São Paulo proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 23,66 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 2.412,24 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 57,32%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um

empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por São Paulo na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 9,33 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 23,44 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 2.389,15 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 87,9%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 226,49 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 0,96% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, com biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, é a que traz a menor complexidade dentre todas as que fazem uso de novas tecnologias frente ao processo de gestão atual. Mesmo assim, observa-se que é capaz de agregar valores significativos para a sociedade, com um  $\Delta$ VSPL de R\$ 21,79 bilhões e um índice Benefício/Custo bastante elevado (17,46, que demonstra que os benefícios superam os custos em 1646%). Essa RT simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 2,22 bilhões milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 431,17 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 72,87%.

Tabela 447: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de São Paulo.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	1.909,14	3.132,55	111,23	39,10
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com geração de CDR, sem biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com geração de CDR, com biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com gaseificação, sem biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com incineração, sem biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29
RT com incineração, com biodigestão	8.118,99	13.321,75	473,05	166,29

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 447 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 22,08 bilhões. Este resultado representa 95,52% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção

(60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 37% do total.

Tabela 448: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de São Paulo.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	246,62	0,00	24,55
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	338,47	0,00	104,42
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	338,47	207,88	331,77
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	338,47	269,79	399,48
RT com geração de CDR, sem biodigestão	338,47	0,00	384,32
RT com geração de CDR, com biodigestão	338,47	207,88	611,67
RT com gaseificação, sem biodigestão	338,47	0,00	751,19
RT com incineração, sem biodigestão	338,47	0,00	523,83
RT com incineração, com biodigestão	338,47	207,88	751,19

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já a Tabela 448 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de São Paulo, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 338,47 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 269,79 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 751,19 milhões, nas rotas com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, com biodigestão), esse benefício é de R\$ 611,67 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 11,09 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 449: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de São Paulo.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	6,34	121,75	-238,03
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	25,06	566,60	-1.107,77
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-54,52	1.520,79	-2.973,03
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-77,84	1.794,92	-3.508,89
RT com geração de CDR, sem biodigestão	90,68	1.783,27	-3.486,18
RT com geração de CDR, com biodigestão	11,09	3.256,52	-6.366,78
RT com gaseificação, sem biodigestão	-314,91	3.135,66	-6.129,66
RT com incineração, sem biodigestão	-952,74	1.840,89	-3.598,19
RT com incineração, com biodigestão	-1.032,33	2.795,08	-5.463,46

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 449 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 3.256,52 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de São Paulo emitiu 10.328 mil tCO<sub>2eq</sub>, apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, com biodigestão, é de 6.366,78 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (61,65%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o  $\Delta$ VSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 450). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de São Paulo, a RT com geração de CDR, com biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 2.842,19 milhões. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 4,69 vezes.

Tabela 450: Custos sociais nas RT da solução individual de São Paulo.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-502,94	-52,02	-806,67	-1.361,64
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-1.534,27	-52,06	262,55	-1.323,78
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-3.342,25	-52,06	455,79	-2.938,52
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-3.650,00	-605,80	869,13	-3.386,68
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-2.115,69	-52,06	927,99	-1.239,77
RT com geração de CDR, com biodigestão	-3.923,61	-52,06	1.133,49	-2.842,19
RT com gaseificação, sem biodigestão	-6.496,97	-52,06	1.060,32	-5.488,71
RT com incineração, sem biodigestão	-9.824,35	-52,06	-1.536,10	-11.412,51
RT com incineração, com biodigestão	-11.632,26	-52,06	-1.349,33	-13.033,65

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

## 9. Município de Suzano

### 9.1. Modelagem de Viabilidade Técnico-Financeira

#### RT Contrafactual (linha de base)

A modelagem técnico-financeira para a linha de base da solução individual de Suzano aponta para a coleta de 103,87 mil toneladas médios de RSU ao custo operacional e de manutenção (Opex) de R\$ 1.115,73 milhões, sendo que a distância máxima até a destinação final é de 83 km.

O Opex com o tratamento e a disposição de RSU monta em R\$ 208,74 milhões. A continuidade do índice atual de recuperação de materiais recicláveis aponta para a realização de zero receitas acessórias da triagem manual. Já a geração de energia elétrica, que monta em 7,68 MWh/ano por meio da recuperação do biogás em aterro sanitário, adiciona R\$ 8,65 milhões em receitas acessórias (também em VPL).

Caso nos 20 próximos anos se mantenham nas condições atuais, os custos totais previstos (em valor presente líquido) são de R\$ 1.324,47 milhões em VPL, compensados em 0,65% pelo total de R\$ 8,65 milhões em VPL de receitas acessórias. O Valor Anual Equivalente (VAE) aponta despesas de R\$ 134,13 milhões, que espelha um custo por tonelada de RSU de R\$ 1.291,41 por ano, ou ainda o custo anual de R\$ 416,02 por habitante. Todos os resultados apresentados na sequência são incrementais aos resultados desta RT Contrafactual.

#### Resumo dos quantitativos das RT

A Tabela 451 apresenta o grau de escala da tecnologia de cada rota e os resultados incrementais (variações sobre os resultados da RT Contrafactual). Observa-se que a solução individual de Suzano não apresenta escala para a tecnologia de incineração, mas tem escala para a instalação de todas as demais. Para a tecnologia de gaseificação, que é a mais complexa dentre as possíveis, observa-se Grau 2 (sendo 1 o de menor escala e 5 o de maior).

Tabela 451: Grau de escala e resultados das RT da solução individual de Suzano.

Rota Tecnológica	Grau de escala da RT	Varição na coleta de mistos (mil t/ano)	Massa desviada do aterro (mil t/ano)	Fração do desvio (%)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	Grau 3	-7,27	4,00	3,9
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	Grau 2	-7,27	13,90	13,4
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	Grau 1	-7,27	36,98	35,6
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	Grau 1	-28,04	44,92	43,2
RT com geração de CDR, sem biodigestão	Grau 2	-7,27	49,11	47,3
RT com geração de CDR, com biodigestão	Grau 1	-7,27	72,19	69,5
RT com gaseificação, sem biodigestão	Grau 2	-7,27	89,64	86,3
RT com incineração, sem biodigestão	Sem Escala	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	Sem Escala	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A rota que promove a maior redução da quantidade de RSU coletados de forma indiferenciada é a RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos, devido à coleta segregada de 20% da fração orgânica gerada. Essa coleta monta em 20,77 mil t/ano e permite a geração de 4,02 mil t/ano de digestato (composto orgânico da biodigestão). Os custos com a coleta de resíduos orgânicos, no entanto, se elevam em R\$ 5,63 milhões (VPL), o que representa um custo adicional por habitante por ano de R\$ -1,56. Nota-se que o uso de dispositivos legais municipais pode fazer com que esse custo seja assumido diretamente pelos grandes geradores de resíduos orgânicos (hotéis, restaurantes, feiras, hospitais, mercados etc.).

A adição da triagem mecanizada de mistos permite conceder um salto bastante representativo quanto ao desvio de massa da destinação final. Quando combinado com a coleta de orgânicos e encaminhamento dessa fração para a biodigestão, em

conjunto com a fração orgânica triada de forma mecanizada, pode-se obter um desvio de 44,92 mil t/ano, equivalente a 43,2% da massa total da rota. A tecnologia de produção de combustível derivado de resíduos (CDR) também permite obter desvios significativos (entre 47,3% e 69,5%) do aterro sanitário. O tratamento térmico é o que consegue atingir os mais altos índices de desvio de massa ao aterro sanitário, podendo chegar a 86,3%, ou seja, 89,64 mil toneladas anuais.

A Tabela 452 apresenta os desdobramentos quantitativos das RT para a solução individual de Suzano quanto aos potenciais geradores de receitas acessórias, quais sejam: materiais recicláveis, compostos orgânicos, CDR e energia elétrica.

*Tabela 452: Resultados quantitativos para cálculo das receitas acessórias das RT da solução individual de Suzano.*

Rota Tecnológica	Materiais reciclados (mil t/ano)	Composto orgânico (mil t/ano)	CDR (mil t/ano)	Energia elétrica (MWh/ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	4,00	0,00	0,00	-0,06
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	13,90	0,00	0,00	-0,36
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	13,90	11,68	0,00	-1,73
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	13,90	15,70	0,00	-2,21
RT com geração de CDR, sem biodigestão	13,90	0,00	34,21	-2,92
RT com geração de CDR, com biodigestão	13,90	11,68	34,21	-4,29
RT com gaseificação, sem biodigestão	13,90	0,00	0,00	63,83
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Observam-se os conflitos de escolha em relação as RT no quesito de geração de energia elétrica: o desvio de resíduos do aterro sanitário reduz a capacidade deste em

gerar energia elétrica por meio da recuperação de biogás de aterro - embora o faça de maneira apenas marginal. A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, por exemplo, reduz em 0,02% a geração da RT Contrafactual. Por outro lado, os tratamentos térmicos têm como subproduto a geração de energia elétrica que mais do que compensam a redução da geração de energia no aterro sanitário: no caso da gaseificação, geram adicionais 63,83 MWh/ano; já quanto a incineração, não se verifica escala para aplicação dessa tecnologia para a solução individual.

### **Melhorias na coleta seletiva**

A RT de melhorias na coleta seletiva simula o incremento desta frente à linha de base, além da adoção de formas alternativas de realização da coleta seletiva. Todas as demais oito Rotas Tecnológicas também incorporam estas mesmas melhorias e, portanto, cabe comentar os resultados obtidos por essa modificação essencial à linha de base. Com os pressupostos adotados, a coleta seletiva passa a ser de 7,27 mil toneladas anuais e atinge 7% sobre o total de RSU disponibilizados para a coleta pública. Essa mesma massa de RSU, portanto, deixa de ser coletada pela coleta convencional de resíduos mistos (indiferenciados).

Essa modificação permite aumentar a fração de desvio de recicláveis ao aterro sanitário em 3,85% do total, requerendo para tal a contratação de 232 triadores de resíduos para atuarem nas centrais de triagem que recebem os proventos da coleta seletiva formal. Com base nas análises gravimétricas, estima-se haver 38,22 mil toneladas de resíduos recicláveis adentrando a rota, o que permite concluir que a taxa efetiva de recuperação destes materiais passa a ser incrementada em 10,46% (recicláveis recuperados sobre o total de recicláveis coletados).

Conforme os pressupostos delineados acerca da necessidade de se ter formas alternativas de coleta seletiva, estima-se que também haja a necessidade de se contar com a atuação de 136 catadores formais para a coleta de recicláveis. O total de 368 triadores e catadores autônomos significa que a adoção das melhorias apostas permite

formalizar a atuação de 22,8% dos catadores autônomos existentes atualmente na solução individual municipal.

Para se incrementar a abrangência e eficiência da coleta seletiva, é também pressuposto que se faça uso de PEVs. Para que a solução individual de Suzano possa atingir os 7% de coleta seletiva formal, estima-se a necessidade de instalação de cerca de 112 PEVs, o que equivale a uma quantidade de 3,47 unidades por 10 mil habitantes. Finalmente, estima-se que o incremento na coleta seletiva demande o uso de 8 caminhões baú adicionais para a realização da coleta porta-a-porta.

Os investimentos (Capex) nas centrais de triagem montam em R\$ 28,86 milhões em VPL, bem como adicionam custos operacionais (Opex) de coleta de R\$ 1,89 milhões. Já em relação aos custos de tratamento e disposição, tem-se um incremento de R\$ 63,14 milhões sobre a linha de base (também em VPL). Em contrapartida, a geração de receitas acessórias com a comercialização de materiais recicláveis passa a ser incrementada em R\$ 36,73 milhões. No balanço entre incrementos de despesas e receitas, o custo adicional por tonelada é de R\$ 56,16, o que representa um incremento por ano por habitante de R\$ 18,09.

### **Triagem mecanizada de resíduos mistos**

A segunda rota simulada, além da linha de base, é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A adição da triagem mecanizada de resíduos mistos (com ou sem a segregação da fração orgânica) é adotada em todas as RT subsequentes, pois trata-se de uma das mais eficientes formas de se aumentar a quantidade de materiais reciclados e desviá-los do aterro sanitário. Sob o pressuposto que 80% da coleta de mistos terá como destino a triagem mecanizada, é possível promover a recuperação de 9,9 mil t/ano. Essa quantidade é adicional à recuperação de 4 mil t/ano promovido pelo incremento nas taxas da coleta seletiva formal (RT de melhorias na coleta seletiva), lembrando que atualmente (linha de base) o município não promove a recuperação de materiais.

O resultado na recuperação de materiais recicláveis promovido tanto pelo aumento na coleta seletiva (RT de melhorias na coleta seletiva) como pela implementação da triagem mecanizada de resíduos mistos (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão) permite alcançar a marca incremental de 13,9 mil t/ano, atingindo a taxa de 13,39% em relação ao total de resíduos da rota. Em relação aos resíduos recicláveis que se estima adentrar na rota, a taxa de recuperação é incrementada em 36,38%, resultado bastante expressivo. Somando-se a quantidade que já é reciclada na linha de base com a quantidade incremental desta rota (com maior triagem manual e, agora, com a triagem mecanizada), atinge-se a taxa de 36,38% de recuperação sobre o total de recicláveis gerados. Esse mesmo indicador é de 13,39% de recuperação sobre todo o resíduo coletado.

Adicionalmente, a triagem mecanizada de resíduos mistos requer a contratação de 38 triadores que fazem a seleção final e mais refinada dos resíduos, gerando assim novos benefícios sociais. Todas as demais sete RT mantém esse incremento na coleta seletiva e a adição de triagem mecanizada de resíduos mistos com vistas à recuperação de recicláveis (independentemente da triagem da fração orgânica).

Os investimentos (Capex) totais dessa RT, que agrupam os incrementos na coleta seletiva com os da triagem mecanizada de mistos, montam em R\$ 99,85 milhões em VPL e requerem custos de operação e manutenção (Opex) com o tratamento dos resíduos da ordem de R\$ 100,88 milhões. Em contrapartida, adicionam-se R\$ 90,98 milhões (VPL) em receitas acessórias oriundas exclusivamente da comercialização de materiais recicláveis da triagem mecanizada. Essa receita se soma aos R\$ 36,73 milhões (VPL) obtidos pela comercialização dos materiais recicláveis da coleta seletiva triados manualmente, totalizando R\$ 127,72 milhões.

No balanço entre incrementos de despesas e receitas da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, o custo adicional (à linha de base) por tonelada

passa a ser de R\$ 73,27, o que representa um incremento por ano por habitante da ordem de R\$ 23,6.

### **Investimentos e despesas operacionais das rotas tecnológicas**

As nove rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Suzano apresentam necessidades distintas de recursos de investimento e requerem estruturas também distintas de custos operacionais. A Tabela 453 apresenta as estimativas, em valor presente líquido (VPL), do Capex e Opex de cada rota, em milhões de reais.

*Tabela 453: Resultados para as despesas das RT da solução individual de Suzano.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Investimento (Capex)	Coleta de RSU (Opex)	Tratamento e Disp. Final (Opex)	Despesas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-28,86	-1,89	-63,14	-93,89
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-99,85	-1,23	-100,88	-201,96
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-199,61	0,31	-128,82	-328,12
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-209,16	-5,32	-108,18	-322,65
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-127,32	1,12	-91,52	-217,71
RT com geração de CDR, com biodigestão	-227,08	2,66	-119,45	-343,87
RT com gaseificação, sem biodigestão	-343,76	3,83	-230,49	-570,43
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A última coluna da Tabela 453 apresenta a somatória das despesas, pela qual fica claro que a adição de complexidade tecnológica se traduz em maiores despesas. A adição da tecnologia de biodigestão, que também requer a triagem mecanizada da fração orgânica, é particularmente custosa: comparando-se a RT com adição da

triagem de mistos, com biodigestão, com a mesma rota sem biodigestão, observa-se um acréscimo de R\$ 126,16 milhões. Por outro lado, é notável que a tecnologia trazida pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, não apresenta um salto tão significativo em relação à RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. A diferença de despesas entre estas é de R\$ 15,75 milhões (em VPL). A RT com gaseificação, é a mais custosa de todas, enquanto a RT de melhorias na coleta seletiva é a de menor custo (embora também seja a de menor complexidade e a que mais se distancia das metas setoriais).

Da mesma forma que as tecnologias apresentam um diferente balanço entre Capex e Opex, as receitas acessórias que são geradas em cada uma também apresentam grandes diferenças. A maior estabilidade das receitas acessórias entre as RT advém da comercialização de resíduos recicláveis, que a partir da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, se mantém constante em R\$ 127,72 milhões. A geração de energia, como já fora comentado, varia em ordens de grandeza quando se adicionam tratamentos térmicos. De forma análoga, a produção de CDR permite adicionar outra relevante fonte de receita acessória: para a solução individual de Suzano, representa a adição de R\$ 23,76 milhões em VPL. Estas receitas já são líquidas da apropriação da fração correspondente ao lucro e risco do operador privado que as promovem.

*Tabela 454: Resultados para as receitas acessórias das RT da solução individual de Suzano.*

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	36,73	-0,07	0,00	36,66
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	127,72	-0,41	0,00	127,31
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	127,72	-1,95	0,00	125,76
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	127,72	-2,48	0,00	125,23

Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	Materiais reciclados	Energia elétrica	CDR	Receitas Totais
RT com geração de CDR, sem biodigestão	127,72	-3,28	23,76	148,19
RT com geração de CDR, com biodigestão	127,72	-4,82	23,76	146,65
RT com gaseificação, sem biodigestão	127,72	71,84	0,00	199,55
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 454 apresenta o resultado em valor presente líquido das receitas acessórias de cada rota, sendo que na última coluna está a somatória obtida pelo conjunto delas. A RT com gaseificação, é a que gera as maiores receitas acessórias (R\$ 199,55 milhões), superando a rota de menor complexidade, a RT de melhorias na coleta seletiva, em 5,4 vezes. A segunda opção que mais gera receitas acessórias é a RT com geração de CDR, sem biodigestão, com o total de R\$ 148,19 milhões (em VPL). A variação entre as duas rotas que mais geram receitas é significativa, e monta em R\$ 51,36 milhões. Resta investigar se o diferencial em receitas acessórias compensa as despesas.

O balanço entre receitas e despesas das rotas tecnológicas, expressos em valor presente líquido, permite calcular o resultado líquido entre as despesas e receitas, produzindo uma métrica adequada de comparação. Calcula-se também o valor anual equivalente (VAE). Ainda, os custos unitários (por tonelada e por habitante) podem ser auferidos. Estas métricas, por consequente, podem ser utilizadas para comparar as diferentes alternativas e identificar qual agrega o maior *Value for Money* para a solução individual de Suzano.

A Tabela 455 apresenta os resultados consolidados da avaliação financeira para a solução individual municipal. Uma vez que o resultado de todas as RT é apresentado de forma comparativa ao resultado da RT Contrafactual (linha de base), conclui-se que

o resultado líquido de negativos R\$ 57,22 milhões (VPL) da RT de melhorias na coleta seletiva, representa a melhor opção em termos financeiros.

Tabela 455: Resultados de viabilidade financeira das RT da solução individual de Suzano.

	Resultado líquido (despesas e receitas)	Valor Anual Equivalente	Custo por tonelada	Custo unitário por habitante
	(VPL, R\$, milhões)		(R\$/t.ano)	(R\$/hab.ano)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-57,22	-5,83	56,16	18,09
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-74,65	-7,61	73,27	23,60
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-202,36	-20,63	198,60	63,98
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-197,42	-20,12	193,76	62,42
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-69,52	-7,09	68,23	21,98
RT com geração de CDR, com biodigestão	-197,22	-20,10	193,56	62,35
RT com gaseificação, sem biodigestão	-370,87	-37,81	363,99	117,26
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Uma vez que o resultado final do VPL da melhor rota financeira é negativo, significa que cada munícipe tem de arcar com a diferença de R\$ 18,09 por ano, ou ainda R\$ 1,51 por mês para que a rota seja realizada. Em uma métrica unitária por tonelada de RSU gerido, o incremento é equivalente a R\$ 56,16/t. Inobstante o relativamente baixo custo adicional, trata-se da necessidade de atender às metas setoriais e aproximar a gestão dos resíduos da almejada sustentabilidade. Como será demonstrado no capítulo abaixo, não necessariamente esse resultado é equiparado à rota de melhor relação benefício-custo.

## 9.2. Análise Socioeconômica de Custo Benefício

A análise socioeconômica de custo-benefício (ACB) das rotas tecnológicas simuladas para a solução individual de Suzano aponta resultados promissores: todas apresentam  $\Delta VSPL$  positivo, ou seja, a totalidade dos benefícios supera a totalidade dos custos, incluindo o balanço (positivo ou negativo) das externalidades. De forma análoga, todas as RT apresentam TRE superiores a TSD, ou seja, demonstram que há plena cobertura do custo de oportunidade de uso alternativo do investimento público. Uma vez que os resultados apresentados são incrementais ao que se espera obter de custos, benefícios e externalidades na RT Contrafactual (linha de base), significa que optar por qualquer uma das RT alternativas é desejável frente à manutenção do status quo.

A Tabela 456 apresenta o resultado dos quatro indicadores de viabilidade socioeconômica para as rotas simuladas.

Tabela 456: Indicadores de viabilidade da ACB para as RT da solução individual de Suzano.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta VSPL$ (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimen_sional)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	126,72	12,92	48,79	2,64
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	494,90	50,45	52,60	3,68
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	404,11	41,19	29,36	2,32
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	418,44	42,66	29,12	2,39
RT com geração de CDR, sem biodigestão	522,83	53,30	45,85	3,56
RT com geração de CDR, com biodigestão	444,83	45,35	28,51	2,37
RT com gaseificação, sem biodigestão	216,42	22,06	15,84	1,40

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido Comparativo (R\$, milhões)	Valor Anual Equivalente do $\Delta$ VSPL (R\$, milhões)	Taxa de Retorno Econômica (TRE) (%)	Índice Benefício/Custo (adimensional)
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Embora 100% das RT apresente resultado socioeconômico positivo, nota-se uma grande diferença entre elas. Dentre todas, a que agrega maior valor líquido para a sociedade - e se configura, portanto, na melhor escolha - é a RT com geração de CDR, sem biodigestão. Ao se optar por esta RT, o município de Suzano proporciona um ganho líquido para a sociedade (principalmente local, mas também global pela redução das emissões de GEE) de R\$ 0,52 bilhões em valor presente do fluxo de 22 anos (2 de investimentos e 20 de operação). O VAE revela que se tem a geração de R\$ 53,3 milhões de ganhos a cada ano durante 22 anos. A TRE supera com muita folga os 8,5% da TSD, pois é de 45,85%. O índice Benefício/Custo, por sua vez, revela um empolgante resultado: a cada R\$ 1,00 investido por Suzano na melhoria da gestão de seus resíduos sólidos urbanos, R\$ 3,56 retornam em benefícios.

A rota que agrega o segundo maior retorno líquido é a RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Essa opção gera R\$ 0,49 bilhões em  $\Delta$ VSPL, ou seja, R\$ 50,45 milhões a cada ano por 22 anos. Sua TRE, de 52,6%, é inclusive superior à TRE da opção de maior  $\Delta$ VSPL. A diferença no  $\Delta$ VSPL entre as duas melhores opções é de R\$ 27,93 milhões e, embora considerável em valor absoluto, representa 5,34% em relação ao  $\Delta$ VSPL da opção pela RT com geração de CDR, sem biodigestão. Isso demonstra que tanto uma como a outra são opções ótimas para o município.

A RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão, simula “apenas” a adição da segregação (manual e mecanizada) de resíduos recicláveis, e assim seu resultado se revela importante termômetro para o sentido de urgência que se tem em aumentar os

níveis de recuperação destes materiais. Em outras palavras, não adotar ao menos essa RT é continuar a “jogar fora” (entre aspas pois não existe “fora” sob os preceitos da economia circular) R\$ 50,45 milhões por ano, pelos próximos 22 anos. De fato, a chance de se aprimorar a situação atual é tamanha que até a opção que promove melhorias na RT atual e não agrega nenhuma nova tecnologia (RT de melhorias na coleta seletiva) é capaz de retornar R\$ 12,92 milhões anuais, a uma taxa de retorno socioeconômica de 48,79%.

Tabela 457: Benefícios da recuperação de materiais nas RT da solução individual de Suzano.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Redução do custo de insumos de produção	Redução do consumo de energia na produção	Redução do consumo de água na produção	Redução da pressão por desmatamento
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	66,21	111,72	5,01	1,84
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	230,19	388,43	17,42	6,38
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	230,19	388,43	17,42	6,38
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	230,19	388,43	17,42	6,38
RT com geração de CDR, sem biodigestão	230,19	388,43	17,42	6,38
RT com geração de CDR, com biodigestão	230,19	388,43	17,42	6,38
RT com gaseificação, sem biodigestão	230,19	388,43	17,42	6,38
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 457 apresenta o valor econômico dos benefícios da recuperação de materiais recicláveis, em milhões de reais (valor social presente líquido). Observa-se que, conforme o conceito de complexidade incremental das RT, a variação se dá na

primeira (RT de melhorias na coleta seletiva) e na segunda (RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão), pois a partir desta há manutenção das estratégias de melhoria na coleta seletiva e na implantação da triagem mecanizada de mistos. Os benefícios gerados pelas RT com triagem mecanizada atingem um total de R\$ 0,64 bilhões. Este resultado representa 94,49% dos benefícios e externalidades totais da RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão. Dentre os quatro efeitos positivos da reciclagem, o maior deles é quanto à redução do consumo de energia na produção (60% do total). O efeito de redução no custo de insumos de produção é o segundo maior, representando 36% do total.

Tabela 458: Demais benefícios socioeconômicos nas RT da solução individual de Suzano.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		
	Redução da Fragilidade Social de Catadores	Ciclagem da matéria orgânica	Redução da Disposição em Aterro Sanitário
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	13,43	0,00	0,92
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	15,63	0,00	3,20
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	15,63	4,85	8,50
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	15,63	6,52	10,33
RT com geração de CDR, sem biodigestão	15,63	0,00	11,29
RT com geração de CDR, com biodigestão	15,63	4,85	16,60
RT com gaseificação, sem biodigestão	15,63	0,00	20,61
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

Já Tabela 458 apresenta o valor econômico dos demais benefícios de cada uma das RT, também em milhões de reais (VSPL). De forma geral, se observa que estes

perfazem valores menos expressivos que os da recuperação de materiais recicláveis. Na solução individual de Suzano, a redução da fragilidade dos catadores autônomos monta em R\$ 15,63 milhões de VSPL, demonstrando a *proxy* conservadora adotada para balizar, minimamente, esse multifacetado aspecto que se entrelaça com a gestão de resíduos. Observa-se também que o benefício da ciclagem de materiais orgânicos só ocorre nas rotas que promovem a biodigestão, e pode atingir R\$ 6,52 milhões na RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos.

Os benefícios sociais da redução da disposição em aterro sanitário variam de acordo com a massa total que é desviada, atingindo seu ápice, de R\$ 20,61 milhões, na rota com tratamento térmico. Na opção de maior  $\Delta$ VSPL (RT com geração de CDR, sem biodigestão), esse benefício é de R\$ 11,29 milhões. Já em relação à variação na poluição atmosférica de âmbito local nota-se que essa mesma RT traz uma externalidade positiva entre reduções e incrementos de emissão da ordem de R\$ 2,67 milhões. Algumas rotas do município trazem balanço positivo para essa externalidade, enquanto outras apresentam balanço negativo. O resultado reforça que a opção pela rota ideal, sob o ponto de vista socioeconômico, deve ser aquela com o maior balanço global dentre todos os benefícios, externalidades e custos. Essa lógica é suportada pela capacidade de compensação que se tem, caso o  $\Delta$ VSPL seja positivo.

Tabela 459: Externalidades de emissões atmosféricas nas RT da solução individual de Suzano.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Local	Varição na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	0,24	4,75	-9,26
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	0,77	17,85	-34,84
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-1,09	39,87	-77,79
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-1,72	47,18	-92,05

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)		mil tCO <sub>2eq</sub>
	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Local	Variação na Poluição Atm. de Âmbito Global	Emissões Líquidas de GEE
RT com geração de CDR, sem biodigestão	2,67	55,27	-107,84
RT com geração de CDR, com biodigestão	0,81	89,79	-175,24
RT com gaseificação, sem biodigestão	-8,60	85,81	-167,36
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).

A Tabela 459 apresenta o valor econômico das externalidades de emissões com efeitos locais e globais. Na última coluna, apresenta-se o resultado líquido das emissões em mil tCO<sub>2eq</sub>, na qual o sinal negativo implica sequestro. O balanço entre a promoção de sequestros e emissões de gases de efeito estufa da melhor rota para o arranjo é claramente positiva: são gerados expressivos R\$ 55,27 milhões em benefícios líquidos. O balanço positivo dessa externalidade comprova que a gestão de RSU pode ser utilizada como estratégia de mitigação das emissões antrópicas, contribuindo, assim, para os esforços sabidamente necessários de descarbonização. Com base nos cálculos do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Observatório do Clima (2024), em 2022 o município de Suzano emitiu 222 mil tCO<sub>2eq</sub>. apenas no setor de energia. Uma vez que o sequestro de GEE promovido pela RT com geração de CDR, sem biodigestão, é de 107,84 mil tCO<sub>2eq</sub>, tem-se um abatimento bastante representativo (48,56%) destas emissões devido ao aprimoramento na gestão de RSU.

Já se sabe que os benefícios e externalidades das rotas superam os custos sociais das mesmas, haja vista os resultados positivos para o ΔVSPL. Cabe, no entanto, apresentar os resultados de cada alternativa, permitindo uma avaliação completa da

ACB e de seus resultados a preços sociais (Tabela 460). A opção de maior resultado líquido para a solução individual de Suzano, a RT com geração de CDR, sem biodigestão, apresenta custos totais de R\$ 204,44 milhões, 59,47% destes sendo referentes aos custos de instalação (Capex) e os restantes 40,53% aos custos de operação e manutenção. É notável que apenas o benefício da reciclagem de redução do consumo de energia na produção seja suficiente para superar o total dos custos sociais da RT em 1,9 vezes.

Tabela 460: Custos sociais nas RT da solução individual de Suzano.

Rota Tecnológica	Valor Social Presente Líquido (R\$, milhões)			
	Custos de Investimento (Capex)	Operação e Manutenção (Opex) da Coleta	Operação e Manutenção (Opex) do Trat. e Disp. Final	Custos Totais (Capex e Opex)
RT de melhorias na coleta seletiva (replicada em todas as demais RT)	-26,94	-1,72	-48,72	-77,38
RT com adição da triagem de mistos, sem biodigestão	-94,95	-1,89	-88,11	-184,96
RT com adição da triagem de mistos, com biodigestão	-189,87	-1,89	-114,30	-306,06
RT com triagem de mistos, biodigestão e coleta de orgânicos	-198,89	-7,29	-95,73	-301,91
RT com geração de CDR, sem biodigestão	-121,59	-1,89	-80,96	-204,44
RT com geração de CDR, com biodigestão	-216,51	-1,89	-106,86	-325,26
RT com gaseificação, sem biodigestão	-329,99	-1,89	-207,55	-539,43
RT com incineração, sem biodigestão	-	-	-	-
RT com incineração, com biodigestão	-	-	-	-

Fonte: Elaborado por EnvEx Engenharia e Consultoria (2024).