

RELATÓRIO TÉCNICO

176.600 205

FABHAT

03 de setembro de 2025

Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba,
no Município de São Paulo - Relatório Parcial 4 (RP4)

CLIENTE

Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT

FINANCIAMENTO

Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FEHIDRO

UNIDADE RESPONSÁVEL

Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente - CIMA

Seção de Planejamento Territorial, Recursos Hídricos, Saneamento e
Florestas – SPRSF

RESPONSÁVEL ADMINISTRATIVO FINANCEIRO

Fundação de Apoio ao IPT – FIPT

RESUMO

Apresenta-se neste documento técnico o Relatório Parcial 4 (RP4) do Empreendimento financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) enumerado de FEHIDRO 2021-AT_COB-136, intitulado “*Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba no município de São Paulo*”, o qual foi priorizado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê por meio da Deliberação CBH-AT nº 130/2021. Esse empreendimento está sendo desenvolvido por IPT/FIPT (no âmbito do Termo de Cooperação Técnico-Científica FIPT/IPT), a partir da assinatura do Contrato nº 003/2023 (Processo FABHAT nº 013/2021 – Prov. 2) com a FABHAT (Tomadora dos recursos financeiros). Dessa forma, este relatório se refere a um dos produtos previstos no Plano de Trabalho apresentado à FABHAT em 08/02/2024 (Relatório Parcial 1 - RP1), bem como atende aos termos readequados de conteúdo e prazo estabelecidos no cronograma de atividades constantes da Carta CIMA/SPRSF – 021/24 (17/07/2024) e compreende o item 3.4 (*Consolidação dos resultados, elaboração dos produtos temáticos principais*), com a “*Elaboração e atualização do modelo conceitual de Fluxos subterrâneos*”, “*Balanco hídrico*” e “*Caracterização da qualidade das águas subterrâneas*”. Além disso, este relatório apresenta resultados complementares executados em relação aos itens 3.3.2 (*Campanhas de amostragem de água subterrânea*), 3.3.3 (*Perfilagem Geofísica*) e 3.3.4 (*Amostragem estratificada*). A finalização da presente etapa constitui subsídios fundamentais para consubstanciar o Relatório Final do projeto compreendendo uma síntese dos resultados apresentados nos relatórios parciais, bem como a proposição do “Modelo de Gestão da ARC - Jurubatuba” (item 3.5) e estabelecimento das “Diretrizes para o Programa de Monitoramento” (item 3.6) e, também, a realização da divulgação, apresentações e cartilha sobre o estudo.

Palavras-chave – UGRHI 06; Bacia do Alto Tietê; Área de Restrição e Controle de Jurubatuba; estudos hidrogeológicos; áreas contaminadas; Sistema Aquífero Cristalino; Sistema Aquífero Sedimentar; compostos organoclorados; amostragem de águas subterrâneas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO	1
3. OBJETIVOS.....	9
4. BASE DE DADOS DE POÇOS	10
5. CADASTRAMENTO DE POÇOS TUBULARES.....	14
6. CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	22
6.1. Situação observada na ARC-Jurubatuba no estudo anterior.....	22
6.2. Situação observada no estudo atual	25
6.3. Evolução Histórica de Uso e Ocupação	27
7. SITUAÇÃO DAS ÁREAS DECLARADAS CONTAMINADAS E REABILITADAS	46
7.1. Situação da Contaminação na Área de Estudo	46
7.2. Situação observada no estudo atual	55
7.2.1. Situação das Áreas Contaminadas observadas conforme bancos de dados.....	56
7.2.2. Situação observada das Áreas Contaminadas conforme os processos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas	65
7.3. Análise da evolução ocorrida.....	69
8. CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO NA ARC-JURUBATUBA	74
8.1. Situação observada no estudo DAEE/SERVMAR.....	74
8.2. Situação observada no estudo atual a partir do SIPOL	79
8.3. Aplicação do Método POSH	80
9. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	84
9.1. Histórico de monitoramentos efetuados	84
9.1.1. Dados obtidos do estudo DAEE/SERVMAR.....	84
9.1.2. Dados obtidos do monitoramento COVISA	89
9.2. Estudo atual da qualidade das águas subterrâneas ARC-Jurubatuba	95
9.2.1. Etapa de Campo	96
9.2.2. Resultados analíticos.....	104

9.3. Evolução histórica da ocorrência de compostos organoclorados na ARC- Jurubatuba.....	119
10. MODELO CONCEITUAL DE FLUXOS SUBTERRÂNEOS.....	122
11. BALANÇO HÍDRICO.....	169
11.1.Demandas em águas subterrâneas	170
11.2.Balanço hídrico das águas subterrâneas na ARC-Jurubatuba	175
12CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	178
EQUIPE TÉCNICA.....	179
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182

ANEXOS

Anexo 1 - Base Geral de Poços.....	191
Anexo 2 - Poços Cadastrados em Campo.....	197
Anexo 3 - Mapa do Zoneamento urbano.....	204
Anexo 4 - Uso e Ocupação do Solo nas Regiões Prioritárias 3 (Chácara Santo Antônio) e 4 (Jurubatuba).....	206
Anexo 5 - Áreas Contaminadas observadas conforme informações disponíveis nos bancos de dados.....	218
Anexo 6 - Principais documentos consultados por meio de vistas aos processos administrativos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	221
Anexo 7 - Detalhamento dos Processos Administrativos Consultados.....	223
Anexo 8 - Principais dados obtidos por meio de vistas aos processos administrativos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	233
Anexo 9 - Relatórios de análises químicas.....	236
Anexo 10 - Certificados de Acreditação.....	455
Anexo 11 - Cadeias de Custódia e Laudos Analíticos.....	458
Anexo 12 - Dados de Poços para balanço hídrico na ARC-Jurubatuba e entorno.....	951

1. INTRODUÇÃO

Este relatório foi elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, em parceria com a Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas - FIPT, por meio da Seção de Planejamento Territorial, Recursos Hídricos, Saneamento e Florestas – SPRSF, pertencente à unidade técnica Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente – CIMA e corresponde ao Relatório Parcial 4, relativo à execução do Empreendimento FEHIDRO 2021-AT_COB-136 intitulado “*Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba, no município de São Paulo*”.

O Empreendimento FEHIDRO 2021-AT-COB-136 foi indicado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT) por meio da Deliberação CBH-AT nº 130/2021, sendo a Tomadora dos recursos financeiros a Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – FABHAT, que assinou o Contrato nº 003/2023 na data de 21/12/2023 (Processo FABHAT nº 013/2021 – Prov. 2) com o IPT/FIPT para o desenvolvimento dos trabalhos estabelecidos no Termo de Referência do projeto, a partir da submissão do Orçamento nº 87.560/23 da IPT/FIPT, datado de 29 de setembro de 2023, atendendo ao escopo das Especificações Técnicas da FABHAT de 21/12/2022.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

O empreendimento compreende estudo na denominada “*Área de Restrição e Controle para a Captação e Uso das Águas Subterrâneas no município de São Paulo (ARC – Jurubatuba)*”, estabelecida pela Deliberação CBH-AT nº 01, de 16 de fevereiro de 2011 (rerratificada pela Deliberação CBH-AT, nº 139 de 15 de dezembro de 2021 e referendada pela CRH nº 265, de 28 de abril de 2022).

Quanto aos limites da área de interesse, pode-se definir o quadrilátero compreendido entre as coordenadas UTM 7376 km-Sul e 7388 km - Sul e 320 km-Leste e 330 km - Leste totalizando superfície de cerca de 120 km² e englobando a ARC – Jurubatuba, constituindo objeto deste estudo devido ao seu histórico de contaminação do solo e das águas subterrâneas, associada principalmente à atividades industriais e comerciais na região **(Figura 1)**.

É importante ressaltar que, na área de estudo compreendida pelo empreendimento, estão incluídas 02 (duas) das 04 (quatro) regiões definidas como prioritárias para identificação de áreas contaminadas, conforme Resolução SMA nº11, de 08 de fevereiro de 2017, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (São Paulo, 2017b), as quais, por sua vez, estão localizadas na ARC – Jurubatuba.

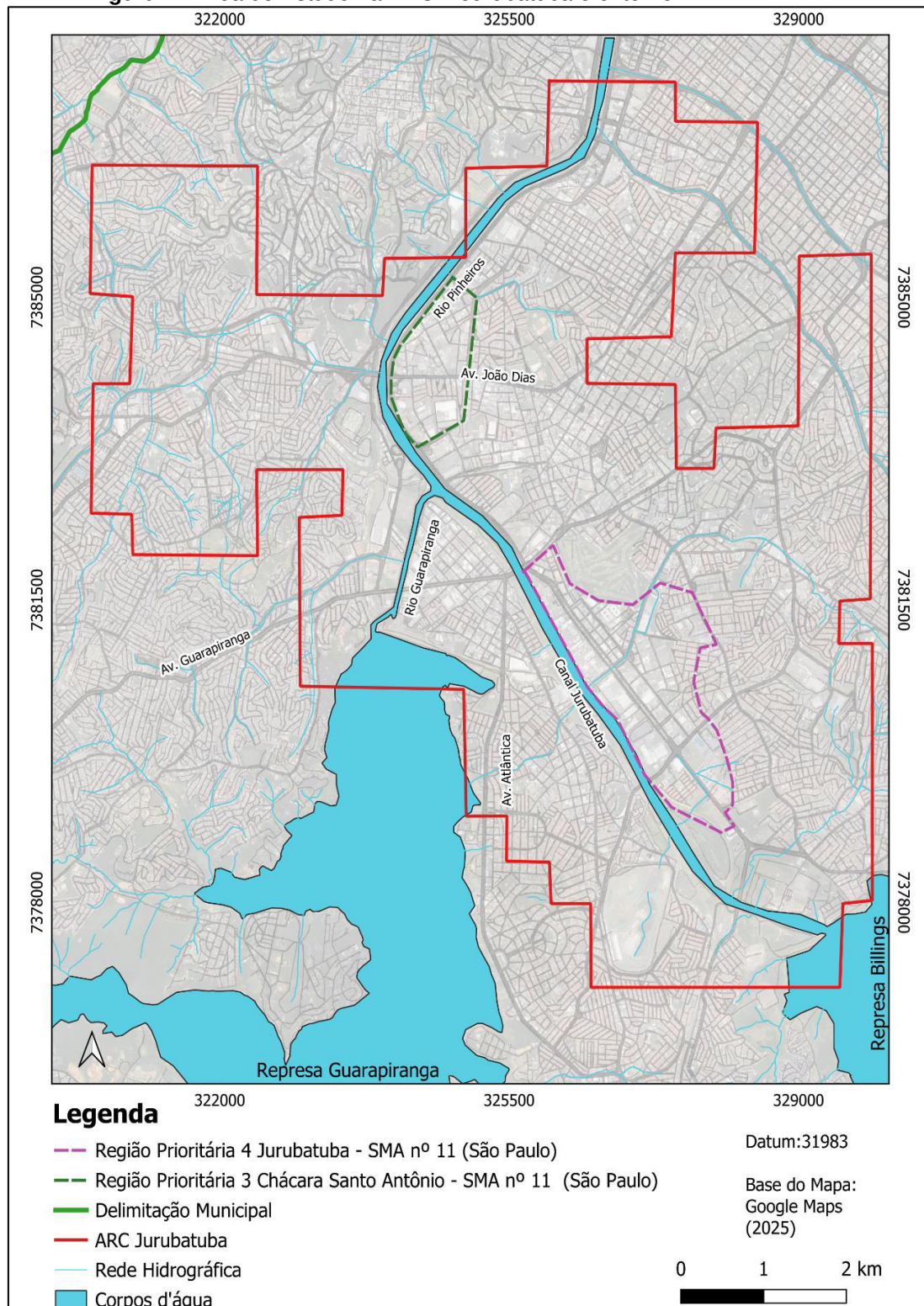
Isso significa que as intervenções ali existentes, enquadradas como *“atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas”*, tal como preconizadas na Resolução SMA nº 10, de 08 de fevereiro de 2017 (São Paulo, 2017a), independentemente dos resultados da presente pesquisa, devem realizar estudos diagnósticos de identificação de áreas contaminadas e respectivas atividades de investigação e remediação.

Dentre as substâncias químicas de interesse (SQI) suscetíveis à contaminação ambiental, destacam-se os compostos orgânicos voláteis (VOCs). Tais compostos caracterizam-se por apresentarem elevada pressão de vapor sob condições ambientais de temperatura e pressão, o que lhes confere uma notável capacidade de volatilização. Esse processo corresponde à transição do estado líquido ou sólido para a fase gasosa, favorecendo sua mobilidade no ambiente e potencializando os riscos de dispersão e exposição.

Mesmo após o encerramento das atividades fonte de contaminação, concentrações residuais significativas desses compostos podem persistir na zona não saturada e no ar por períodos prolongados. Devido à sua toxicidade, mobilidade e persistência no ambiente, os VOCs são classificados como

substâncias perigosas, exigindo controle rigoroso em seu armazenamento, transporte, manuseio e disposição final.

Figura 1 - Área de Estudo na ARC – Jurubatuba e entorno



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

O uso e descarte inadequados desses compostos podem acarretar impactos adversos substanciais à saúde humana, incluindo riscos de exposição por inalação, contaminação de aquíferos e bioacumulação.

No contexto da contaminação observada na região, destaca-se a presença de compostos clorados dos grupos dos etenos e etanos, conhecidos como EEC (Etenos Clorados) e EAC (Etanos Clorados). Esses compostos pertencem ao grupo dos hidrocarbonetos alifáticos halogenados, comumente utilizados como solventes industriais.

Essas substâncias foram selecionadas como compostos de interesse para delimitação da área de restrição, com base na frequência e nas concentrações detectadas nos poços amostrados na oportunidade dos estudos realizados por DAEE/Servmar (2008). A distribuição espacial dos resultados permite caracterizar essa contaminação como de natureza regional, abrangendo toda a área de estudo.

Diante do exposto, e buscando explicitar o conjunto de compostos organoclorados considerados na pesquisa ora realizada na ARC-Jurubatuba, apresenta-se, a seguir, a caracterização dos EEC e EAC pesquisados, quais sejam:

- **PCE** (Tetracloroetano): é utilizado na limpeza a seco de tecidos, desengraxante de metais e como matéria prima para produção de compostos químicos artificiais. Devido a sua volatilidade, o tipo de exposição mais comum é através da inalação.

A exposição humana às altas concentrações no ar pode afetar o sistema nervoso central (SNC) e causar tonturas, dores de cabeça, náuseas e até a morte. Além disso, é considerado carcinogênico pelo Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos e Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC, acrônimo em inglês de *International Agency for Research on Cancer*) (Salgado e Marona, 2004).

- **TCE** (Tricloroeteno): é utilizado como removedor de graxas. A exposição humana às altas concentrações apresenta sintomas semelhantes quando expostas ao PCE, além de apresentar danos aos rins e fígado (Salgado e Marona, 2004).

- **DCE** (Dicloroeteno):

1,1 DCE: é utilizado como intermediário químico na síntese de organoclorados e produção de embalagens.

Outras fontes industriais potenciais de emissão de 1,1-DCE são as indústrias metalúrgicas, fabricantes de sabão e detergente, de cabos elétricos e de bateria, minas de carvão, lavanderias, bem como as indústrias que envolvem pintura e formulação de tinta.

As exposições ocupacionais deste composto podem ocorrer por inalação ou contato dérmico (Salgado e Marona, 2004).

1,2 DCE: é utilizado como intermediário químico na síntese de organoclorados e outros compostos, como solvente de ceras, resinas, perfumes, corantes etc. É empregado na manufatura de produtos farmacêuticos, extração de óleo e gorduras de peixes e carnes. Este composto é altamente inflamável e extremamente corrosivo (HSDB, 1995 *apud* Salgado e Marona, 2004).

A inalação do vapor do DCE resulta em dor de cabeça, fadiga com alterações nervosas, irritação nos olhos; em contato com a pele, leva à secura e fissura da área atingida; e quando ingerido, causa danos ao sistema gastrointestinal (Salgado e Marona, 2004).

- **CV** (Cloreto de Vinila): é utilizado quase exclusivamente na produção do plástico PVC (Policloreto de Vinila) e copolímeros. Este composto é comprovado carcinógeno em humanos, sendo o câncer de fígado o mais estudado (Salgado e Marona, 2004).

- **DCA (Dicloroetano):**

1,1 DCA: é utilizado como intermediário químico na produção de CV, 1,1,1-TCA e, em menor quantidade, na fabricação de borracha a alto vácuo. Outros usos incluem removedores de verniz e produtos de polimento, síntese orgânica, flotação de minério e aerossol de inseticidas. A exposição aguda em humanos causa depressão do SNC (Sistema Nervoso Central) e irritação do trato respiratório e do tecido cutâneo (Salgado e Marona, 2004).

1,2 DCA: não existem fontes naturais conhecidas deste composto. É utilizado na síntese de outros compostos químicos envolvidos na produção de plásticos, borrachas e fibras têxteis sintéticas. A maior utilização é na síntese de CV, para a produção de materiais plásticos, como tubagens de PVC e outros materiais de construção. A exposição aguda ao 1,2 DCA em seres humanos pode causar danos ao SNC, pulmões, rins, fígado e sangue. A exposição crônica pode causar aparecimento de cancro (Águas Livres, 2003).

- **1,1,1-TCA (Tricloroetano):** não existem fontes naturais conhecidas deste composto. Em 1995, o Protocolo de Montreal restringiu o uso dessa substância química em razão do potencial de depleção da camada de ozônio. Este composto era utilizado na limpeza de metais, em aerossóis, adesivos, revestimentos, limpeza a seco e em processos têxteis e eletrônicos. O 1,1,1-TCA é rapidamente absorvido pelos pulmões, pele e trato gastrointestinal de humanos e animais e pode causar náuseas, vômito, diarreia, queimaduras na pele, depressão respiratória e arritmia cardíaca (Salgado e Marona, 2004).

Em razão da elevada volatilidade deste composto, a inalação constitui a principal via de exposição humana. Contudo, a exposição também pode ocorrer por meio do contato dérmico ou da ingestão de água contaminada.

Para compreender a situação da área de interesse, é necessário considerar não apenas a ocupação em superfície, ou seja, as intervenções antrópicas ali estabelecidas, mas também as características do meio físico subterrâneo - incluindo o substrato geológico e seu comportamento hidrogeológico associado.

Isso posto, observa-se que o local de estudo compreende domínio das rochas cristalinas do Complexo Embu, recobertas pelas rochas sedimentares terciárias e sedimentos mais recentes da Bacia Sedimentar de São Paulo.

Como decorrência dessa composição de substrato geológico, nota-se que a área de estudo contempla meio heterogêneo, com aquífero fraturado e regiões intensamente contaminadas, o que contribui para a complexidade da condição hidrogeológica e da contaminação regional.

Por esse motivo, houve a necessidade da aquisição e compilação de base de dados dos poços de produção e de monitoramento localizados na área de interesse, bem como a utilização de diferentes técnicas de investigação geológica, hidrogeológica e geofísica, dentre outros campos de pesquisa de interesse aos objetivos do estudo.

Os levantamentos de dados e informações efetuados tiveram como objetivo atualizar o modelo conceitual geológico/hidrogeológico regional e contribuir para o aprimoramento do entendimento das características hidrogeológicas, hidroquímicas e hidráulicas das formações aquíferas inferiores (aquífero cristalino) e camadas suprajacentes permitindo, assim, uma maior compreensão da circulação hidráulica regional, suas interconexões e o potencial de transporte de contaminantes nesses meios.

Esses resultados são fundamentais para ações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT) vinculadas às políticas públicas, seus planos de implementação e programas permanentes, bem como às revisões dos instrumentos de gestão da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo estabelecidos segundo diversas normativas, como por

exemplo: a Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, a Deliberação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) nº 052, de 15 de abril de 2005; e as Deliberações CBH-AT nº 01/2011 nº 139/2021.

3. OBJETIVOS

O Termo de Referência para constituir o empreendimento FEHIDRO que caracteriza este estudo foi idealizado e estruturado com base em conhecimentos anteriores que datam de cerca de 20 anos. Portanto, o presente projeto tem por objetivo geral o levantamento de dados e a realização de trabalhos visando à atualização e ampliação do conhecimento acerca dos passivos ambientais, da geologia e hidrogeologia na Área de Restrição e Controle para a Captação e Uso das Águas Subterrâneas, no município de São Paulo (ARC – Jurubatuba).

Por sua vez, este relatório constitui produto técnico que busca atender ao objetivo geral do projeto, nos termos das *Especificações Técnicas* estabelecidas pela Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e conforme o Contrato nº 003/2023 (21/12/2023), bem como de acordo com a carta emitida pelo IPT enumerada de CIMA/SPRSF – 021/24 (17/07/2024), cumprindo os seguintes objetivos específicos:

- Continuidade das atividades de campo e escritório para consolidação da base de dados de poços e composição de rede de monitoramento de águas subterrâneas e, também, para obtenção de poços para execução das perfilagens geofísicas e coleta de amostras discretas nos poços perfilados;
- Complementação da realização de visitas técnicas e cadastramento de poços, com a finalidade da atualização de dados pré-cadastrados, dedicando especial atenção à profundidade dos poços, à profundidade do nível d'água subterrânea (níveis estático e dinâmico), à vazão extraída e períodos de bombeamento (diários, ao longo do ano), bem como ao tipo do uso da água captada;

- Execução da amostragem de águas subterrâneas para análise em laboratório acreditado, segundo a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 17.025 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017), para varredura de VOC (*Volatile Organic Compounds* ou Compostos Orgânicos Voláteis);
- Idealização, estruturação e elaboração da proposta de modelo conceitual de fluxos subterrâneos, compreendendo a demonstração das parcelas de infiltração, recarga e padrão de circulação das águas subterrâneas;
- Cálculo do balanço hídrico considerando a disponibilidade versus a demanda, sendo a demanda relativa aos poços tubulares ativos na área e a oferta de água, aqueles valores estimados pela SP Águas, segundo o modelo de regionalização (Liazi *et al.*, 1988);
- Situação atual da caracterização da qualidade da água subterrânea e cenários de uso, a qual está sendo efetivada com base nas informações dos estudos anteriores, bem como nos resultados obtidos em análises laboratoriais realizadas presente estudo; e
- Avaliação e classificação das cargas potenciais de contaminação, adotando-se o modelo POSH (*pollutant origin, surcharge hydraulically*) proposto por Foster *et al.* (2006), com os dados provenientes do cadastro SIPOL (Sistema de Fontes de Poluição), fornecido pela CETESB (2025).

4. BASE DE DADOS DE POÇOS

A base de dados de poços do projeto se encontra concluída, totalizando 755 poços cadastrados. Essa base vem sendo constituída desde o início dos trabalhos, tal como descrito em IPT (2024b e 2024c).

Inicialmente, a base de dados tinha 513 poços obtidos no estudo da Servmar Serviços Técnicos Ambientais (2008).

Em seguida, a COVISA (Coordenadoria de Vigilância em Saúde) disponibilizou informações acerca de 265 poços, dos quais 104 não haviam sido, ainda, incluídos no banco de dados. A FABHAT, por sua vez, disponibilizou informações sobre 260 poços, dos quais 98 foram incluídos na base de poços.

Posteriormente, a COVISA disponibilizou dados de 80 poços, referentes aos monitoramentos realizados para compostos organoclorados entre os anos de 2014 e 2022 e, como resultado da consistência efetuada com o banco de dados já construído, foram adicionados 9 (nove) novos poços dos dados fornecidos. Vale ressaltar que, nos dados fornecidos, não constam análises químicas correspondentes aos anos de 2014 e 2015.

Posteriormente, foram disponibilizados pela SP Águas, em resposta ao Ofício FABHAT nº 0133/2024, dados de 168 poços, dos quais 31 ainda não constavam do pré-cadastro e, portanto, passaram a compor a base de dados do projeto.

Por fim, em 2025, a COVISA forneceu dados adicionais referentes ao monitoramento realizado em 71 poços para compostos organoclorados dos anos de 2023 e 2024. No entanto, esses poços já estavam incluídos na base previamente constituída.

A partir dos trabalhos realizados para consistência e composição da base de dados de poços para o projeto, foi totalizado o número de 755 poços, conforme sintetizado no **Quadro 1 – Base de dados de Poços obtidas para a ARC – Jurubatuba**, a seguir. Ressalta-se que os números relativos à COVISA se referem a totalização dos dados fornecidos.

Com base nesse resultado, observa-se que o cadastro final obtido no projeto totalizou número expressivo de poços e, ainda assim, acredita-se na possibilidade da existência de poços não cadastrados, inclusive não regularizados junto aos órgãos competentes.

Quadro 1 – Base de dados de Poços obtidas para a ARC – Jurubatuba.

Fonte	Pré-Cadastro (nº de poços)	Cadastro Consistido (nº de poços)
SERVMAR	513	513
COVISA	345	113
FABHAT	260	98
SP-Águas (antigo DAEE)	168	31
Total na base atual	1286	755

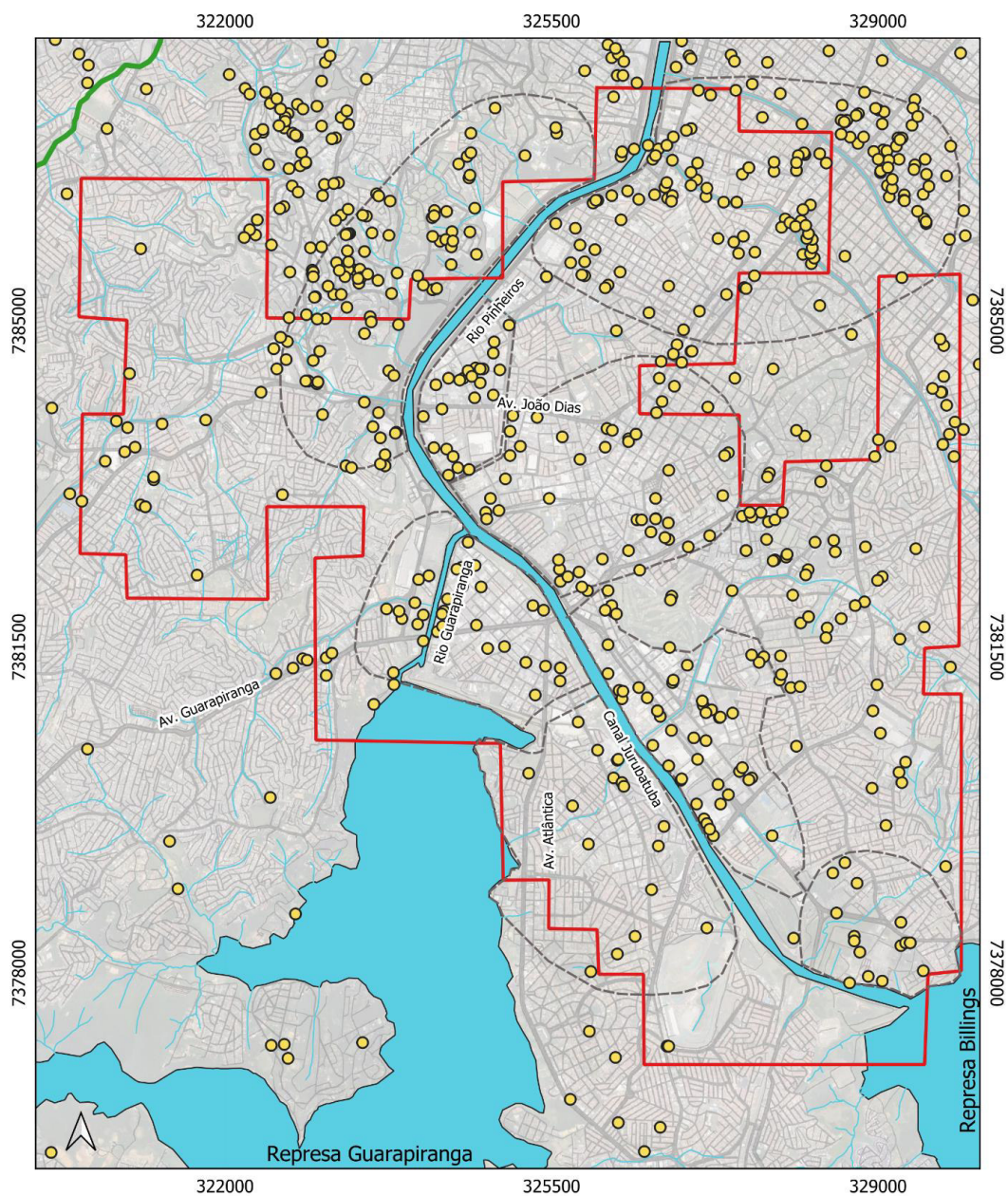
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

A **Figura 1** apresenta os 755 poços do cadastro. Ressalta-se que o banco de dados geoespaciais, com as informações dos poços cadastrados, encontra-se no **Anexo 1**.

É importante registrar como experiência vivenciada e, também, como subsídio para projetos similares, que venham a ser subsequentemente desenvolvidos, que a construção da base de dados de poços no projeto enfrentou diversos desafios, tais como: dificuldade de acessar dados relevantes em órgãos públicos e privados; necessidade de garantir a consistência, organização e georreferenciamento dessas informações; imprecisão nas coordenadas geográficas, endereços, informações de proprietários e dados técnicos.

Acredita-se que a adoção de estratégia de comunicação interna (ao projeto) e externa (junto a órgãos, empresas e à população da área), poderá contribuir significativamente na superação dessas dificuldades.

Figura 1 - Distribuição geral de poços cadastrados na área de estudo.



Legenda

- Poços Tubulares (755)
- Áreas Priorizadas (Nº 1-8)
- Delimitação Municipal
- ARC Jurubatuba
- Rede Hidrográfica
- Corpos d'água

Datum:31983

Base do Mapa:
Google Maps (2025)

0 1 2 km

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

5. CADASTRAMENTO DE POÇOS TUBULARES

A etapa de cadastramento dos poços tubulares na ARC-Jurubatuba representou uma atividade continuada, desde o início do projeto, pois compreendeu levantamento inicial de informações bibliográficas existentes (estudos anteriores e dados disponíveis em órgãos públicos) e construção de pré-cadastro, para subsequente, atualização de dados e obtenção de autorização de proprietários, a partir de visitas de campo, com vistas à composição da Rede de Monitoramento para amostragem sistemática de águas subterrâneas e a execução de perfilagens geofísicas e, a partir das mesmas seções de trechos e coleta de amostras discretas nos poços investigados.

A equipe FIPT/IPT, com o apoio de um técnico disponibilizado pela SP Águas (antigo DAEE), realizou visitas complementares a poços selecionados, nos quais anteriormente não havia sido permitido o acesso da equipe e, também, efetuaram vistorias técnicas a um conjunto de locais já visitados, para os quais restaram dúvidas quanto à existência ou não de poços tubulares.

Assim sendo, essa etapa de cadastramento complementar foi necessária para a identificação de poços que atendessem aos requisitos necessários para a composição da rede de amostragem e às perfilagens geofísicas. Como resultado dessa atividade ficou composta uma rede de amostragem de 79 poços, nos quais foram executadas coletas de 100 amostras de águas subterrâneas (79 amostras diretas na boca do poço e 21 amostras discretas após as perfilagens geofísicas).

Os poços visitados nesta segunda etapa de trabalhos de campo estão discriminados no **Quadro 2**, a seguir.

Quadro 2 - Poços visitados na etapa de cadastramento complementar.

Nº Cadastro IPT	Endereço	Km-N	Km-E	Situação Atualizada dos Poços	Observação
19	Av. Eng. Eusebio Stevaux, 124	7382060	326060	Inexistente	não localizado
22	Av. Nações Unidas, 21612	7380980	326220	Inexistente	
43	Av. Nações Unidas, 13947	7386690	326540	Inexistente	
48	R. Amaro Alves Alvim, 59	7383301	328412	Ativo	Amostrado
53	Rua Fernandes Moreira, 1550	7385950	325710	Inexistente	
89	R. Agostinho Togneri, 421	7380780	327170	Inexistente	
104	Av. N. S. Do Sabará, 2058	7381067	327887	Lacrado	Amostrado
117	R. José Martins Coelho, 300	7378747	328668	Inexistente	
136	R. África, Do Sul, 288	7384340	324350	Inexistente	
137	R. Centro Africana, 219	7384270	324215	Inexistente	
138	Av. João Dias, 2319	7384010	324280	Sem acesso	
139	Av. Nações Unidas, 17891	7383935	324087	Inexistente	
150	R. Ada Negri, 505	7383370	324610	Desativado/Não Equipado	
171	R. Lagrange, 171	7382100	324700	Desativado/Não Equipado	
172	R. Augusto Ferreira De Moraes, 618	7381440	324770	Sem acesso	
174	R. Olivia Guedes Penteado, 375	7381230	325550	Desativado/Equipado	Amostrado
178	Av. Do Rio Bonito, 939	7380050	326120	Inexistente	
182	Av. Benedito Ferreira Da Silva, 21	7378160	326160	Ativo	Amostrado
193	Av. Roque Petroni Jr., 1000	7386470	327010	Inexistente	
241	R. Péricles, 376	7385570	328240	Sem acesso	
268	Av. Washington Luís, 1415, 04626-001	7383080	327290	Tamponado	
331	Av. Giovanni Gronchi, 7020	7384440	322876	Inexistente	
334	R. Laguna, 170	7385093	324883	Sem acesso	
347	R. Arnaldo Magniccaro, 489	7380703	327264	Tamponado	
357	Rua Peixe Vivo, N. 155	7378842	325138	Desativado/Não Equipado	Amostrado
373	Est. Da Riviera, 4742	7377175	322451	Desativado/Equipado	
374	Rua Marizeiro, 1186 - Represa Guarapiranga	7377206	323430	Ativo	Amostrado
129 A	R. Dr. Rubens Gomes Bueno, 478	7384450	324640	Tamponado	
129 B	R. Dr. Rubens Gomes Bueno, 478	7384450	324640	Tamponado	
129 C	R. Dr. Rubens Gomes Bueno, 478	7384450	324640	Tamponado	
129 D	R. Dr. Rubens Gomes Bueno, 478	7384450	324640	Tamponado	
167/168	Av. Guarapiranga, 900	7381744	324346	Aterrado	
17/144	R. Bento Branco de Andrade Filho, 621	7383370	324610	Sem acesso	
176/177	R. Trinta De Outubro, 15	7380240	326160	Sem Acesso	
179/180	Av. Rio Bonito, 1201/1109	7379960	326230	Tamponado	
192 A	R. Dr. Paschoal Imperatriz, 192	7386641	326944	Tamponado	
192 B	R. Dr. Paschoal Imperatriz, 192	7386641	326944	Tamponado	
20/21	R. Dom Aguirre, 607	7382380	327830	Desativado/Não Equipado	
251A	R. São João Alfredo, 177	7382746	326571	Ativo	Amostrado
251B	R. São João Alfredo, 177	7382746	326571	Ativo	Amostrado
320 A	Av. Major Sylvio De Magalhães Padilha, 5200	7386720	326200	Desativado/Equipado	Amostrado
320B	Av. Major Sylvio De Magalhães Padilha, 5200	7386800	326340	Desativado/Equipado	
370/371	Est. Da Riviera, 1975 (1939)	7378920	321413	Desativado/Equipado	Amostrado
84 A	Av. Interlagos, 4300	7379770	327267	Desativado/Equipado	Amostrado

Nº Cadastro IPT	Endereço	Km-N	Km-E	Situação Atualizada dos Poços	Observação
84 B	Av. Interlagos, 4300	7379770	327267	Desativado/Equipado	Amostrado
12/142	Av. Nações Unidas, 18591	7383300	324350	Desativado/Equipado	
243	Av. Vereador Jose Diniz, 1308	7385466	327615	Ativo	
244	R. São Benedito, 2498	7385414	327573	Desativado/Equipado	
282	R. Deputado Laercio Corte, 951	7385910	324180	Ativo	
343	R. Darwin, 47	7382983	326560	Tamponado	
380	R. Frederico Grotte, S/N	7381911	323671	Ativo	Amostrado
382	R. Periperi, 62	7381967	325287	Desativado/Equipado	
90	R. Das Baiadeiras, 202	7380863	327102	Desativado/Equipado	
353	Av. N.S. Do Sabara, 4900	7378508	329105	Sem Acesso	
381	R. Ptolomeu, 734	7382097	324463	Tamponado	
384	Av. Do Rio Bonito, 2222	7378843	326569	Ativo	Amostrado

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Assim sendo, o **Quadro 3** e o **Anexo 2** ilustram a situação geral dos poços cadastrados atualizada, que totalizaram 384 poços.

Quadro 3 - Situação geral atualizada dos poços cadastrados.

Situação dos Poços	Nº de poços
Ativos	108
Desativados	52
Lacrados	10
Aterrados/soterrados	15
Tamponados	35
Inexistentes	75
Sem acesso	89
Total	384

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

É importante ressaltar o significado de cada uma das situações encontradas para os poços cadastrados, sendo elas:

- **Ativos:** compreendem aqueles que estavam equipados e em operação;
- **Desativados:** sem operação de bombeamento, podendo estar tanto equipados como não equipados;
- **Lacrados:** poços inativos que possuem algum tipo de proibição de operação do poço e uso da água;
- **Aterrados/soterrados:** poços que foram desmobilizados e que, de alguma forma tiveram sua estrutura (revestimento) preenchida;

- **Tamponados:** poços que, segundo informações obtidas no local ou em documentação recebida do proprietário, foram desativados, desmobilizados e preenchidos com materiais inertes seguindo orientações técnicas;
- **Inexistentes:** casos em que não foram observados poços no endereço do pré-cadastro ou, segundo informações obtidas durante a visita, não se confirmou a existência de poços no local; e
- **Sem acesso:** locais onde não foi possível a vistoria da equipe, devido a não autorização ou a não existência de pessoas na área.

As **Fotos de 1 a 9** compreendem registros fotográficos dos poços ativos e desativados visitados nesta etapa de campo e que foram amostrados.

Foto 1 - Poço do Ponto ID IPT 48.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 2 - Poço do Ponto ID IPT 182.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 3 - Poço do Ponto ID IPT 251A.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 4 - Poço do Ponto ID IPT 251B.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 5 - Poço do Ponto ID IPT 374.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 6 - Poço do Ponto ID IPT 357.



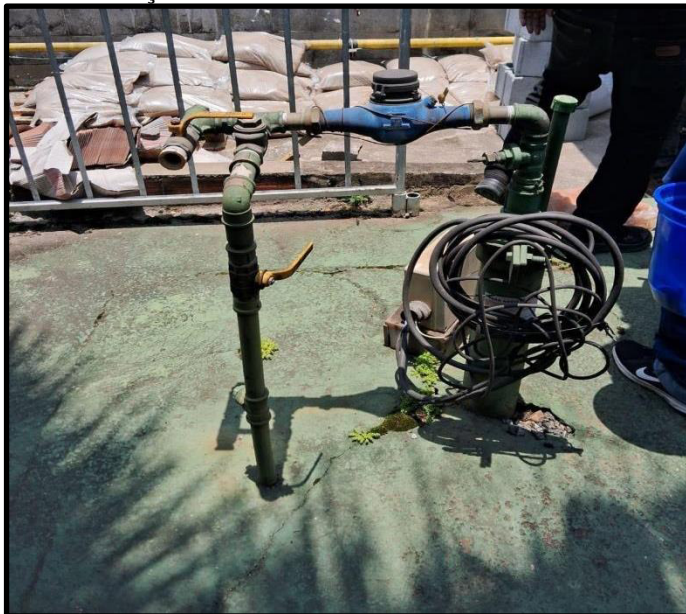
Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 7 - Poço do Ponto ID IPT 104.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 8 - Poço do Ponto ID IPT 174.



Fonte:Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Foto 9 - Poço do Ponto ID IPT 370/371.



Fonte: Foto obtida no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

6. CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Este item tem como objetivo apresentar as informações históricas referentes ao uso e ocupação do solo e atualizá-las com as informações disponíveis mais recentes.

6.1. Situação observada na ARC-Jurubatuba no estudo anterior

O estudo anterior que abrangeu toda a área de interesse, foi realizado por DAEE/Servmar (2008), o qual caracterizou os principais aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo na região, destacando a relevante presença de áreas industriais, especialmente concentradas ao longo do Canal do Jurubatuba e do rio Pinheiros.

De acordo com a Prefeitura de São Paulo *apud* DAEE/Servmar (2008), essas indústrias começaram a se instalar na região do Jurubatuba a partir da

década de 1950, incentivadas por fatores como a disponibilidade de áreas, facilidade de acesso e a abundância de água e energia elétrica.

Além disso, o citado estudo (DAEE/Servmar, 2008) constatou uma tendência significativa observada à época, de gradual diminuição do número de indústrias e o crescimento de áreas residenciais. Essa modificação se caracteriza, principalmente, pela construção de condomínios residenciais, em geral direcionados ao público de classe média-alta, e pelo processo de desindustrialização.

No ano de 2005, a antiga EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (EMPLASA, 2005), realizou um mapeamento dos diferentes usos e ocupações do solo na região. Na **Figura 3**, é possível notar que, em 2005, havia um forte adensamento de indústrias próximas aos canais do Jurubatuba, do Guarapiranga e rio Pinheiros.

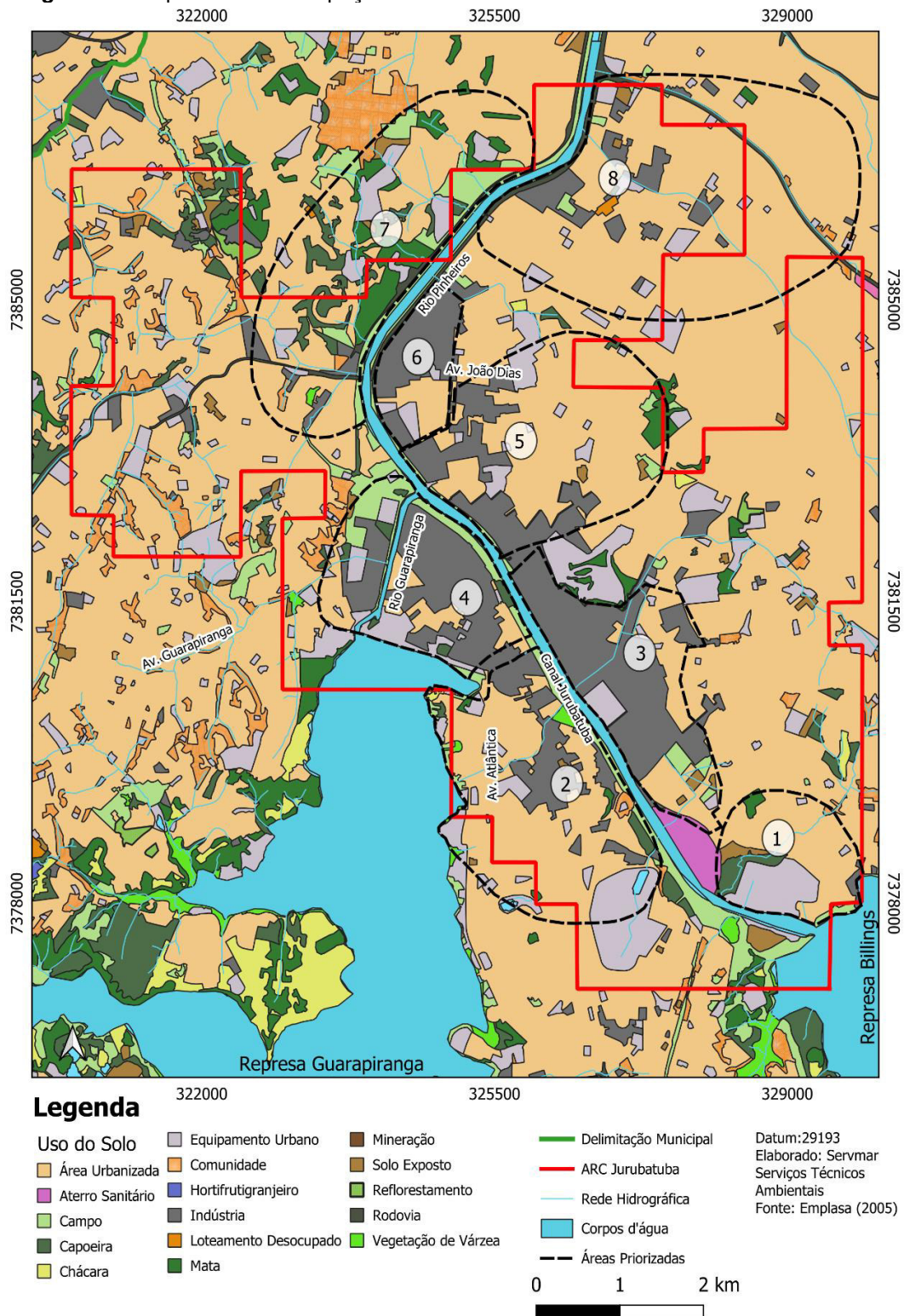
Conforme DAEE/Servmar (2008), o distrito de Socorro acomodou grande parte do crescimento urbano devido à industrialização local, apesar de estar inserido em Área de Proteção dos Mananciais.

O distrito de Campo Grande apresentou aproximadamente 30% de seu território ocupado por uso industrial (incluindo o Aterro Sanitário de Santo Amaro, que funcionou até meados de 1995). Já no distrito de Santo Amaro, o uso industrial ocupava cerca de 20% do seu território.

6.2. Situação observada no estudo atual

A partir de observações realizadas no presente estudo por meio da análise de imagens históricas aéreas e de satélite, exemplificadas nas Figuras 4 e 5 no item a seguir, é possível verificar a continuidade da tendência destacada anteriormente por DAEE/Servmar (2008), com a diminuição de áreas industriais e o incremento de áreas residenciais na região de estudo.

Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo na ARC-Jurubatuba em 2005.



Fonte: adaptado de EMPLASA (2005) e São Paulo (2009a).

Conforme DAEE/Servmar (2008), o distrito de Socorro acomodou grande parte do crescimento urbano devido à industrialização local, apesar de estar inserido em Área de Proteção dos Mananciais.

O distrito de Campo Grande apresentou aproximadamente 30% de seu território ocupado por uso industrial (incluindo o Aterro Sanitário de Santo Amaro, que funcionou até meados de 1995). Já no distrito de Santo Amaro, o uso industrial ocupava cerca de 20% do seu território.

6.2. Situação observada no estudo atual

A partir de observações realizadas no presente estudo por meio da análise de imagens históricas aéreas e de satélite, exemplificadas nas **Figuras 4 e 5** no item a seguir, é possível verificar a continuidade da tendência destacada anteriormente por DAEE/Servmar (2008), com a diminuição de áreas industriais e o incremento de áreas residenciais na região de estudo.

Nesse contexto, destacam-se especialmente os locais visitados nas áreas definidas pela SMA nº11/2017 e denominadas neste projeto como "Área Priorizada 3 (Jurubatuba)" e "Área Priorizada 6 (Chácara Santo Antônio)". O detalhamento dessas áreas pode ser observado a partir do **Quadro 4**.

Quadro 4 - Áreas priorizadas para detalhamento das investigações

Áreas priorizadas	Critérios adotados
Área 1 - Pedreira	Histórico de operação de um aterro irregular de resíduos e proximidade com a Represa Billings.
Área 2 - Socorro	Área com uso pretérito industrial significativo e proximidade de corpos d'água superficiais (Canal do Jurubatuba, Rio Guarapiranga e Represa Guarapiranga) e geologia regional. Atualmente, predominam áreas de uso residencial.
Área 3 - Jurubatuba	Corresponde à Região Prioritária 4, classificada pela CETESB conforme Resolução SMA nº 11, de 08 de fevereiro de 2017 (São Paulo, 2017b), que apresenta números expressivos de imóveis com mudança de uso industrial para residencial.
Área 4 - Guarapiranga	Área com o uso predominantemente industrial, proximidade de corpo d'água superficial (Rio Guarapiranga) e geologia regional.
Área 5 - Santo Amaro	Possui histórico de várias áreas com contaminação por organoclorados e situa-se em zona limítrofe de duas regiões prioritárias, definidas conforme Resolução SMA nº 11, de 08 de fevereiro de 2017 (São Paulo, 2017b).
Área 6 - Chácara Santo Antônio	Corresponde à Região Prioritária 3, classificada pela CETESB conforme Resolução SMA nº 11, de 08 de fevereiro de 2017 (São Paulo, 2017b), que apresenta números expressivos de imóveis com mudança de uso industrial para residencial. É importante ressaltar que em 2008 (Servmar Serviços Técnicos Ambientais, 2008) foram identificadas 05 áreas com histórico de contaminação por organoclorados e nos levantamentos efetuados no presente trabalho, foram observadas 11 áreas, demonstrando um aumento maior do que duas vezes nos registros da CETESB.
Área 7 - Vila Andrade	Área com o uso predominantemente de áreas residenciais, além de comércios e serviço e proximidade de corpo d'água superficial (Rio Pinheiros). Além disso, existe uma grande utilização de água subterrânea.
Área 8 - Itaim Bibi	Apresenta densidade elevada de ocorrência de poços e possui histórico de várias áreas com contaminação por organoclorados. É importante ressaltar que em 2008 (Servmar Serviços Técnicos Ambientais, 2008) foram identificadas 02 áreas com histórico de contaminação por organoclorados e nos levantamentos efetuados no presente trabalho, foram observadas 14 áreas, demonstrando aumento de sete vezes nos registros da CETESB.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

6.3. Evolução Histórica de Uso e Ocupação

Este item apresenta os principais dados do estudo de 2008, comparando-os com atualizações obtidas a partir de levantamentos efetuados no projeto atual, a fim de analisar a evolução do uso e ocupação do solo na região do Jurubatuba.

Essa comparação é essencial na identificação de mudanças e tendências relevantes na área de estudo ao longo do tempo, contribuindo para a compreensão das transformações que vêm ocorrendo na área.

A área de interesse está densamente urbanizada e concentra um grande número de indústrias que se instalaram a partir do intenso processo de expansão ocorrido no município de São Paulo - ocorrido entre as décadas de 1950 e 1960.

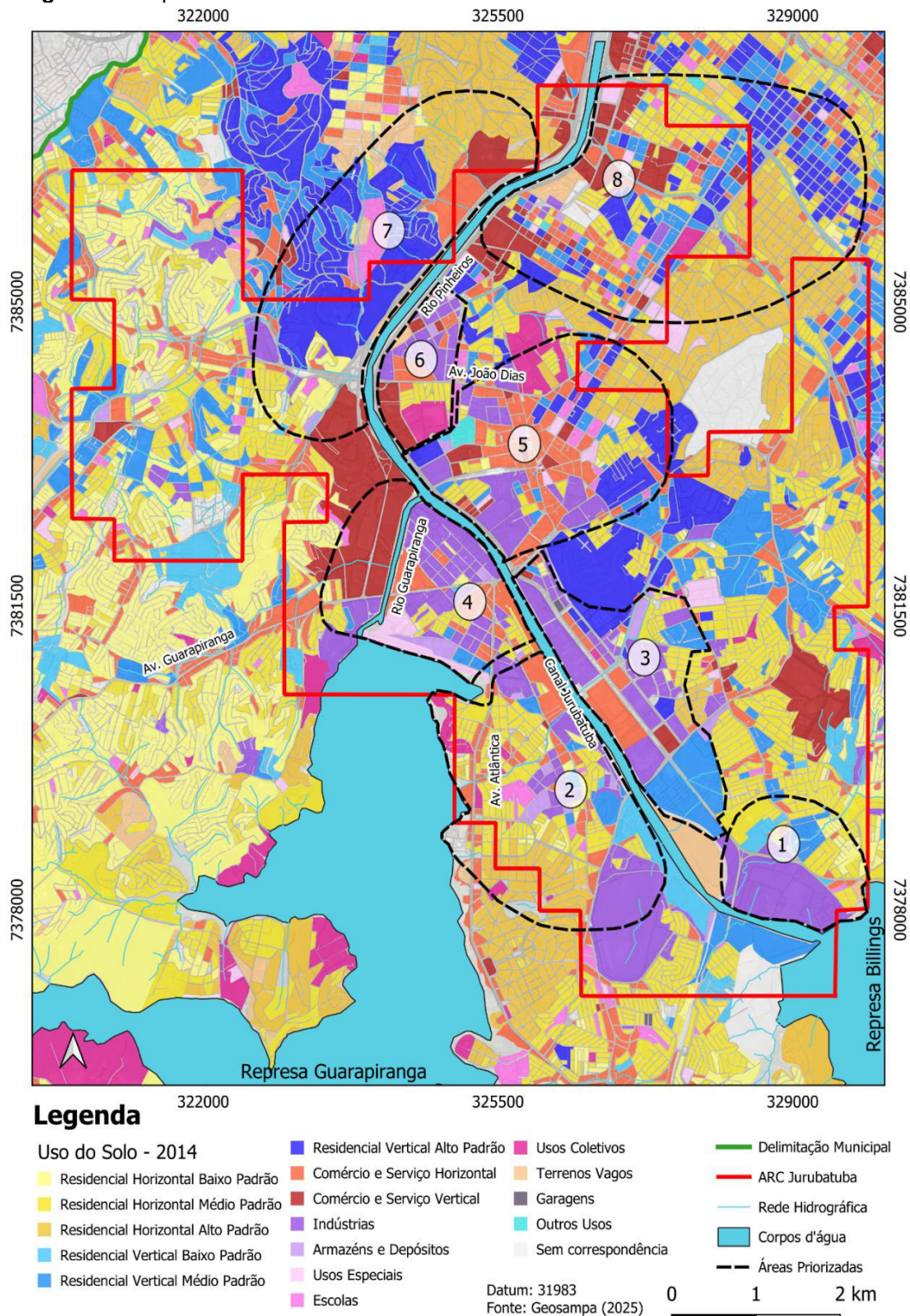
Os distritos de Socorro, Campo Grande e Santo Amaro, se encontram inteiramente inseridos na área de estudo e foram expressivamente influenciados pelo desenvolvimento industrial (DAEE/SERVMAR, 2008).

Segundo dados do ano de 2011, os quais foram publicados pela Fundação Seade, a cidade de São Paulo era a 1ª colocada no Índice de Valor de Transformação Industrial (Seade, 2024). Por sua vez, os dados referentes ao ano de 2021 (Seade, 2024) permitem verificar que o município com maior índice passou a ser Paulínia e São Paulo ficou posicionado na segunda posição, refletindo uma diminuição da participação das indústrias no município.

A partir da observação de fotos aéreas e de satélite, DAEE/SERVMAR (2008) foi destacada a diminuição das indústrias concomitantemente a um acréscimo na ocupação residencial, principalmente por condomínios verticais, de classe social média-alta na região de Jurubatuba (**Figura 4 e Figura 5**).

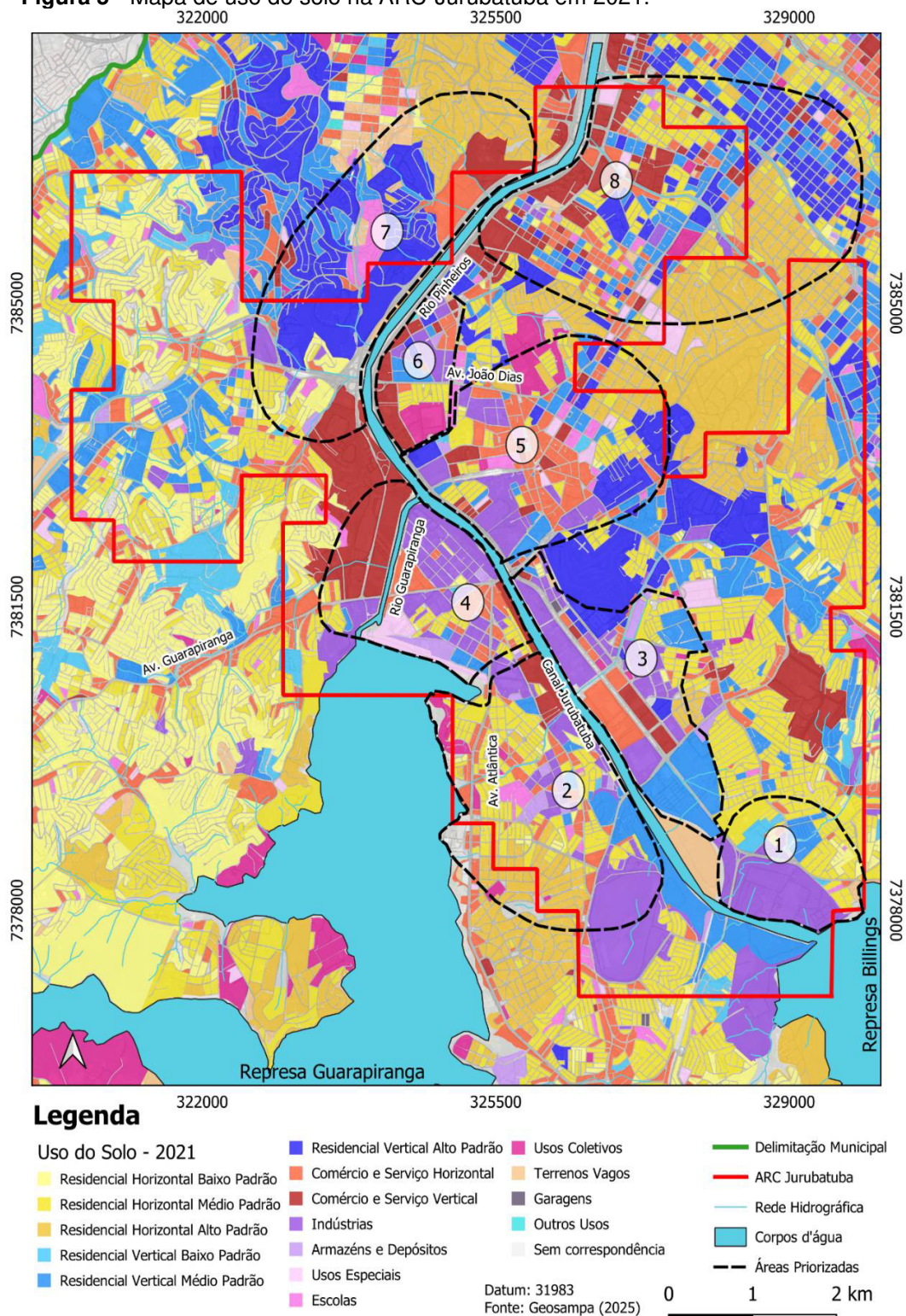
Na sequência será apresentada discussão para cada área priorizada em relação às mudanças no uso do solo, observadas com base em imagens de satélite/aéreas.

Figura 4 - Mapa de uso do solo na ARC-Jurubatuba em 2014.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 5 - Mapa de uso do solo na ARC-Jurubatuba em 2021.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Área Priorizada 1 – Pedreira

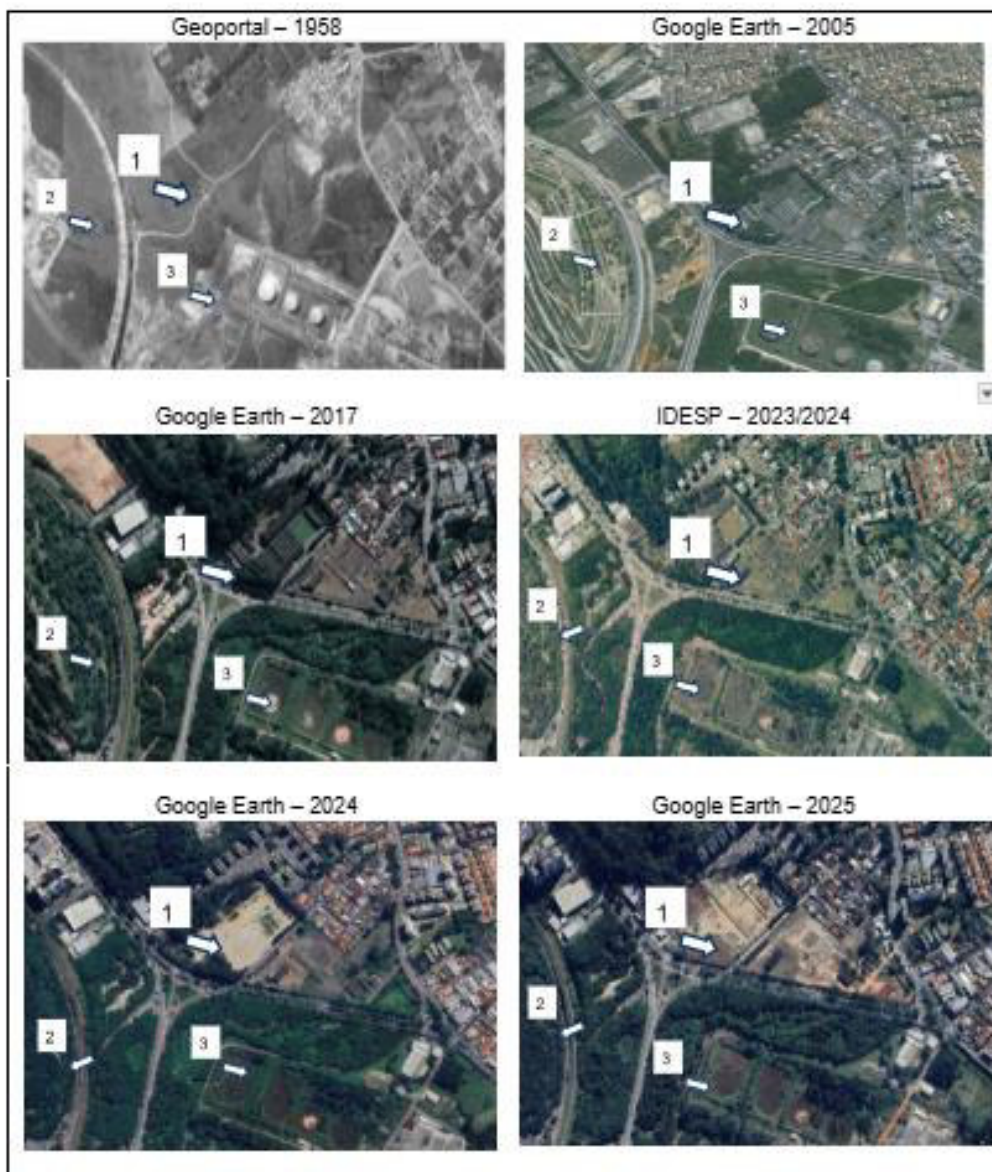
Em 2005 (**Figura 3**), predominavam na área usos classificados como aterro sanitário, equipamento urbano e área urbanizada. Já em 2014 (**Figura 4**), aproximadamente 50% da área passou a ser ocupada por indústrias, enquanto os 50% restantes foram destinados a áreas residenciais (verticais e horizontais), com predominância de padrão baixo a médio. Em 2021 (**Figura 5**), os padrões de ocupação se mantiveram semelhantes, sem alterações significativas.

A **Figura 6** apresenta a avaliação temporal com base em imagens aéreas, cujas informações corroboram os dados dos mapas de uso e ocupação do solo. Atualmente, observa-se a expansão de empreendimentos residenciais sobre terrenos anteriormente não ocupados, além da conversão de áreas industriais em áreas residenciais.

Um exemplo representativo dessa transição ocorre em (1) - Rua José Martins Coelho, 300 – Vila Emir, onde a empresa Power Transmission Industries do Brasil S.A (PTI), anteriormente voltada à indústria mecânica, teve seus prédios demolidos e, atualmente, abriga um plantão de vendas e as primeiras etapas de construção de um empreendimento residencial.

Na **Figura 6**, observa-se uma porção do antigo aterro que existia na região em (2). As imagens mais recentes indicam que o aterro deixou de operar e sua área foi predominantemente reflorestada. Nota-se ainda, ao sul da figura em (3), uma área de tancagem em funcionamento até cerca de 2005, posteriormente desativada conforme revelam as imagens seguintes.

Figura 6 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 1.



Observação: (1) Rua José Martins Coelho, 300 – Vila Emir; (2) Antigo aterro de resíduos; e (3) Área de tancagem.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Área Priorizada 2 – Socorro

Em 2005 (**Figura 3**), predominavam as áreas urbanas, industriais e de equipamento urbano. Nos mapas mais recentes (**Figuras 4 e 5**), observa-se a presença majoritária de áreas residenciais horizontais de médio e alto padrão, além de áreas industriais e residenciais verticais. Localmente, também são identificadas áreas de comércio e serviços (horizontais e verticais), armazéns e depósitos.

Nas imagens aéreas (**Figura 7**), a partir da análise do endereço (1) -Rua Olívia Guedes Penteado, 1094 – Socorro, é possível observar uma alteração no uso do solo. Onde anteriormente existia uma edificação de uso industrial, identificam-se sinais de demolição e, atualmente, o terreno encontra-se em processo de preparação para a implantação de um novo empreendimento residencial.

Área Priorizada 3 – Jurubatuba

Em 2005 (**Figura 3**), a área era amplamente ocupada por indústrias. Já em 2014 e 2021 (**Figuras 4 e 5**), observa-se uma clara redução dessas atividades. Atualmente, a região abriga também áreas de comércio e serviço (horizontais e verticais), residências de médio padrão (verticais e horizontais) e, em menor escala, de alto padrão.

As imagens aéreas (**Figura 8**) destacam 2 exemplos que ilustram a tendência de mudança no perfil de ocupação da área, com substituição de antigos empreendimentos industriais por residenciais, escolares e empresariais. Em (1) e (2) verifica-se a construção de novos condomínios residenciais de médio/alto padrão, sendo eles:

- (1) - Condomínio Terrara – Av. Miguel Yunes, 500; e
- (2) - Condomínio RIOS – Av. Miguel Yunes, 351; e

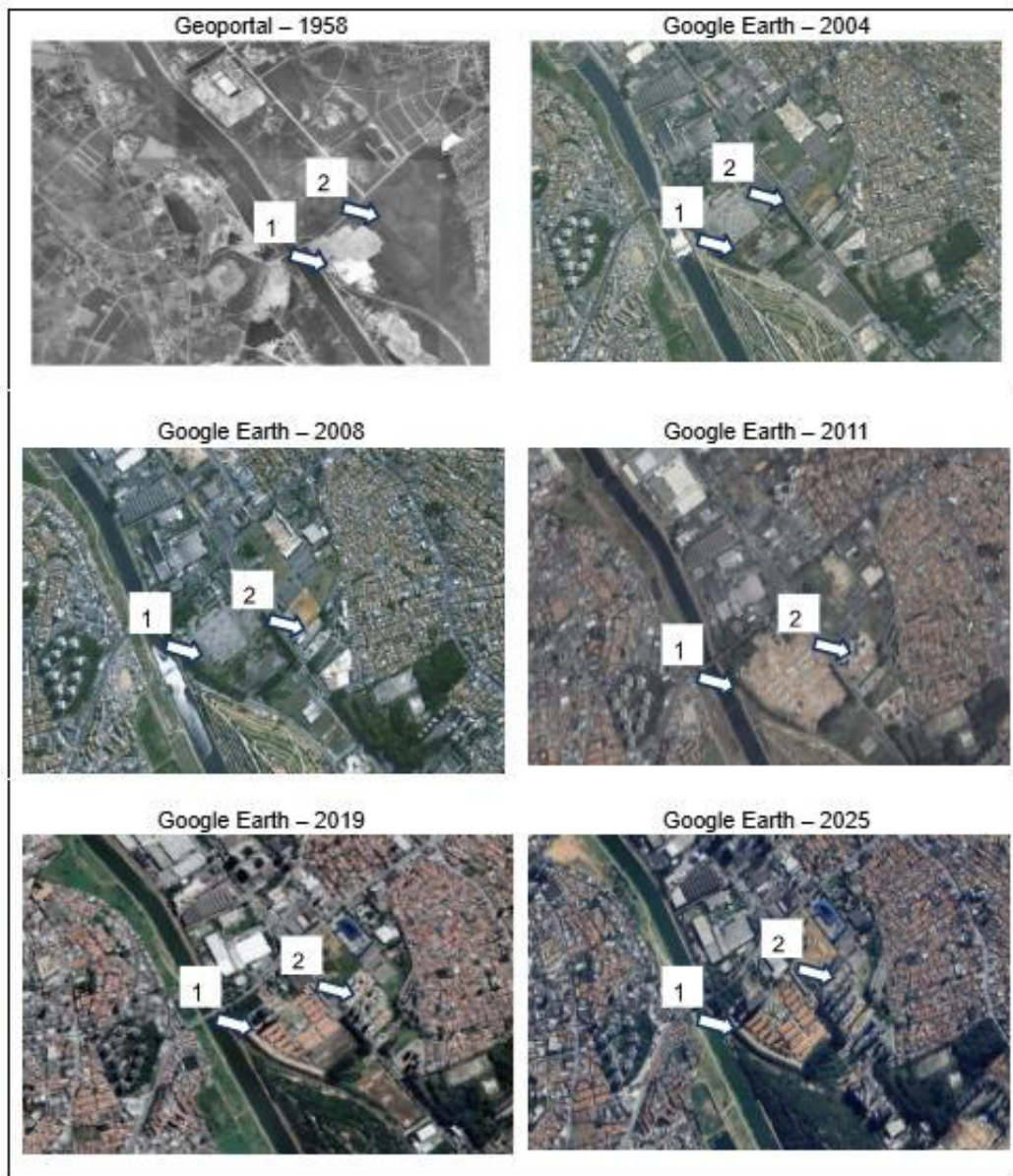
Figura 7 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 2.



Observação: (1) - Rua Olívia Guedes Penteado, 1094 – Socorro.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 8 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 3.



Observação: (1) Av. Miguel Yunes, 500 e (2) Av. Miguel Yunes, 351.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Área Priorizada 4 – Guarapiranga

Em 2005 (**Figura 3**), predominavam as áreas industriais. Atualmente, apesar de ainda representativas, essas áreas dividem espaço com usos comerciais e de serviço (horizontais e verticais), residenciais de médio padrão, armazéns, depósitos e usos especiais.

As imagens aéreas (**Figura 9**) mostram que apesar da expressiva presença de áreas industriais, há uma crescente tendência de mudança de uso para locais residenciais, principalmente condomínios verticalizados.

Com a retração da atividade industrial e a crescente verticalização, dois empreendimentos residenciais ocupam áreas anteriormente industriais:

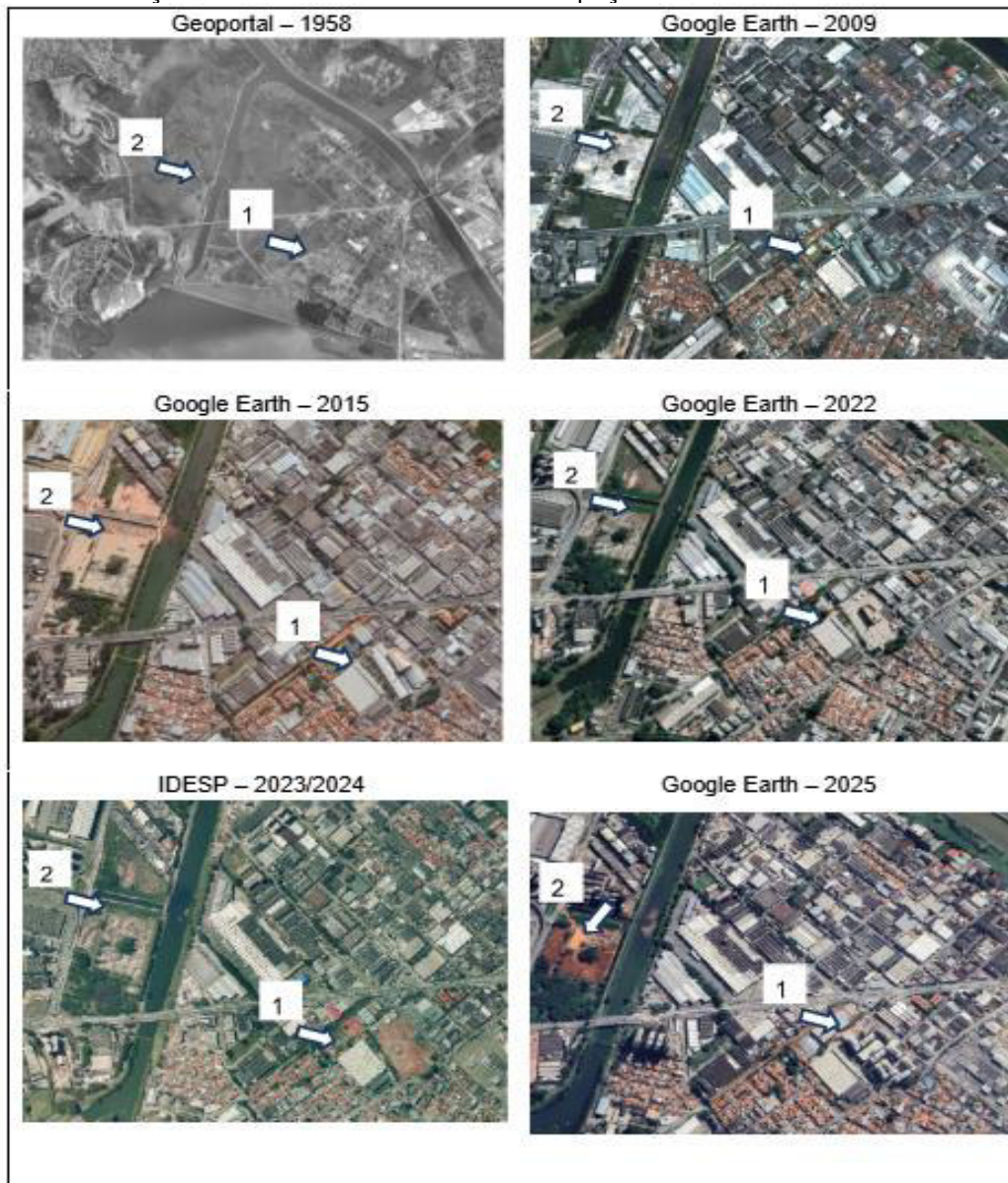
- (1) Condomínio Árbor Atlântica – Rua Augusto Ferreira de Moraes, 602; e
(2) Guido Parque Santo Amaro – Av. Guido Caloi, 1987 (em construção).

Área Priorizada 5 – Santo Amaro

Em 2005, a região era composta principalmente por áreas urbanizadas, seguidas de áreas industriais. Nos mapas mais recentes (**Figuras 4 e 5**), observa-se o predomínio de áreas de comércio e serviços, bem como a presença de residências de médio e alto padrão, áreas industriais e de uso coletivo.

- As imagens aéreas da **Figura 10** evidenciam a ocupação por empreendimentos residenciais de médio a alto padrão na porção oeste do rio Pinheiros, nas imediações da Praça Novamérica em (1). Destaca-se, ainda, a conversão de uso do solo, com a implantação de um condomínio residencial em área anteriormente caracterizada por uso industrial.

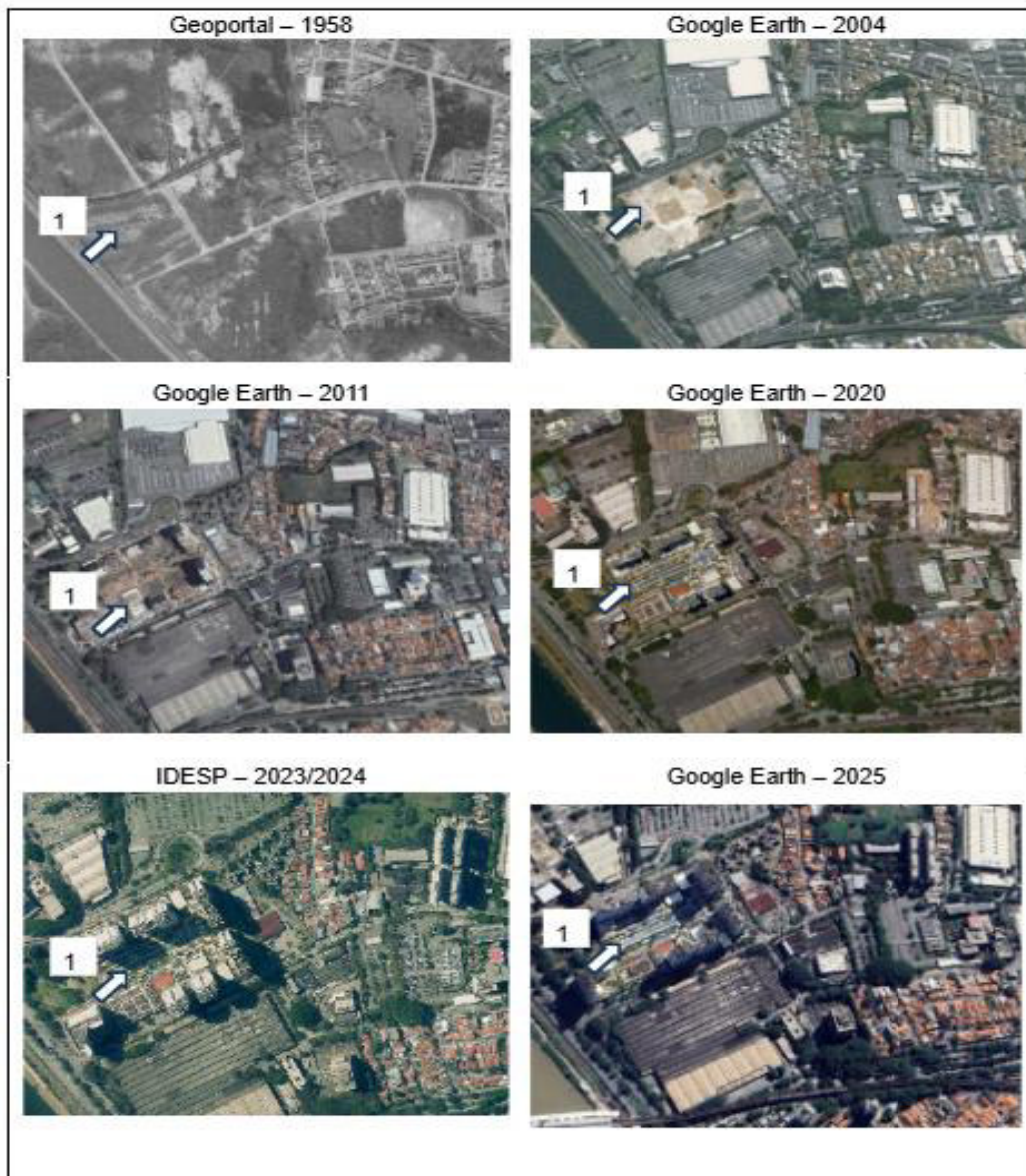
Figura 9 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 4.



Observação: (1) Rua Augusto Ferreira de Moraes, 602 e (2) Av. Guido Caloi, 1987 (em construção).

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 10 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 5.



Observações: (1) Empreendimento residencial nas imediações da Praça Novamérica.
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

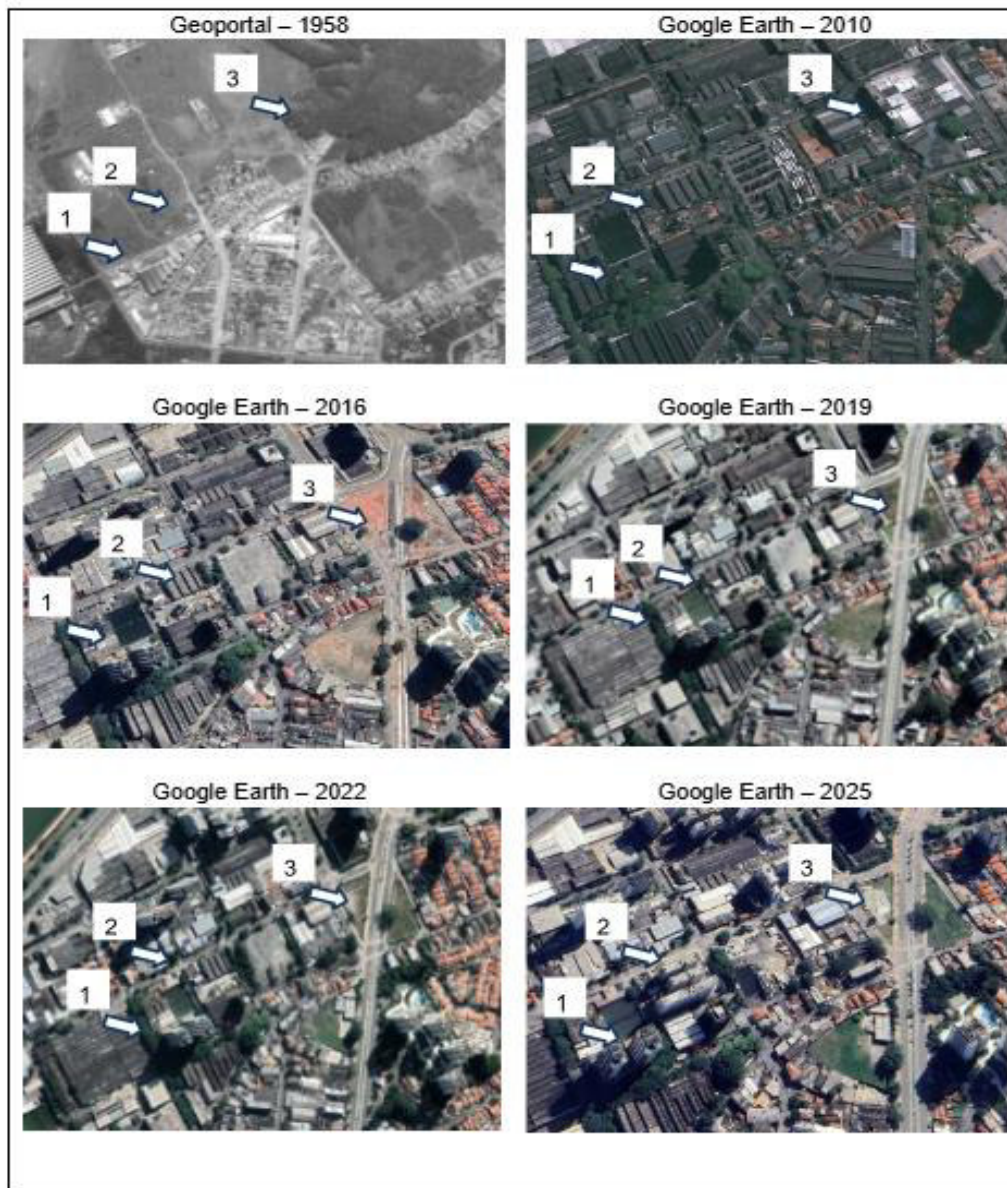
Área Priorizada 6 – Chácara Santo Antônio

Em 2005, a área era majoritariamente industrial, seguida por áreas urbanizadas (**Figura 3**). Atualmente, verifica-se uma redução expressiva das indústrias, com destaque para o aumento de áreas comerciais (horizontais e verticais), de uso coletivo e residenciais de médio e, em menor escala, alto padrão.

Ao longo da avaliação temporal, por meio das imagens aéreas apresentadas na **Figura 11**, observa-se a mudança de uso nas edificações localizadas em (1) - Rua Abílio Borin, 158, e na (2) Rua Carmo do Rio Verde, 175, bem como em uma (3) quadra inteira composta por galpões industriais/comerciais que atualmente encontram-se desocupados, mas que, possivelmente, serão futuramente convertidos para uso residencial.

A transformação do uso do solo encontra-se em andamento. Ao se analisar imagens mais recentes, de modo geral nota-se que áreas anteriormente destinadas a uso industrial/comercial passaram a ser utilizadas como espaços de recreação, e antigos galpões foram substituídos por condomínios residenciais.

Figura 11 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 6



Observações: (1) - Rua Abílio Borin, 158; (2) Rua Carmo do Rio Verde, 175; e (3) quadra inteira composta por galpões industriais/comerciais que atualmente encontram-se desocupados.
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Área Priorizada 7 – Vila Andrade

Em 2005 (**Figura 3**), além de áreas urbanizadas, havia presença significativa de áreas de mata e campo. Atualmente (**Figuras 4 e 5**), predominam áreas residenciais de alto e médio padrão, além de comércios e serviços.

As imagens aéreas (**Figura 12**) corroboram que a região em questão nunca apresentou um perfil industrial significativo, caracterizando-se predominantemente por ocupação residencial ao longo do tempo. Ainda que em menor escala, é possível identificar mudanças no uso e ocupação do solo, com a substituição de antigos galpões por condomínios residenciais, como exemplificado em (1) e (2).

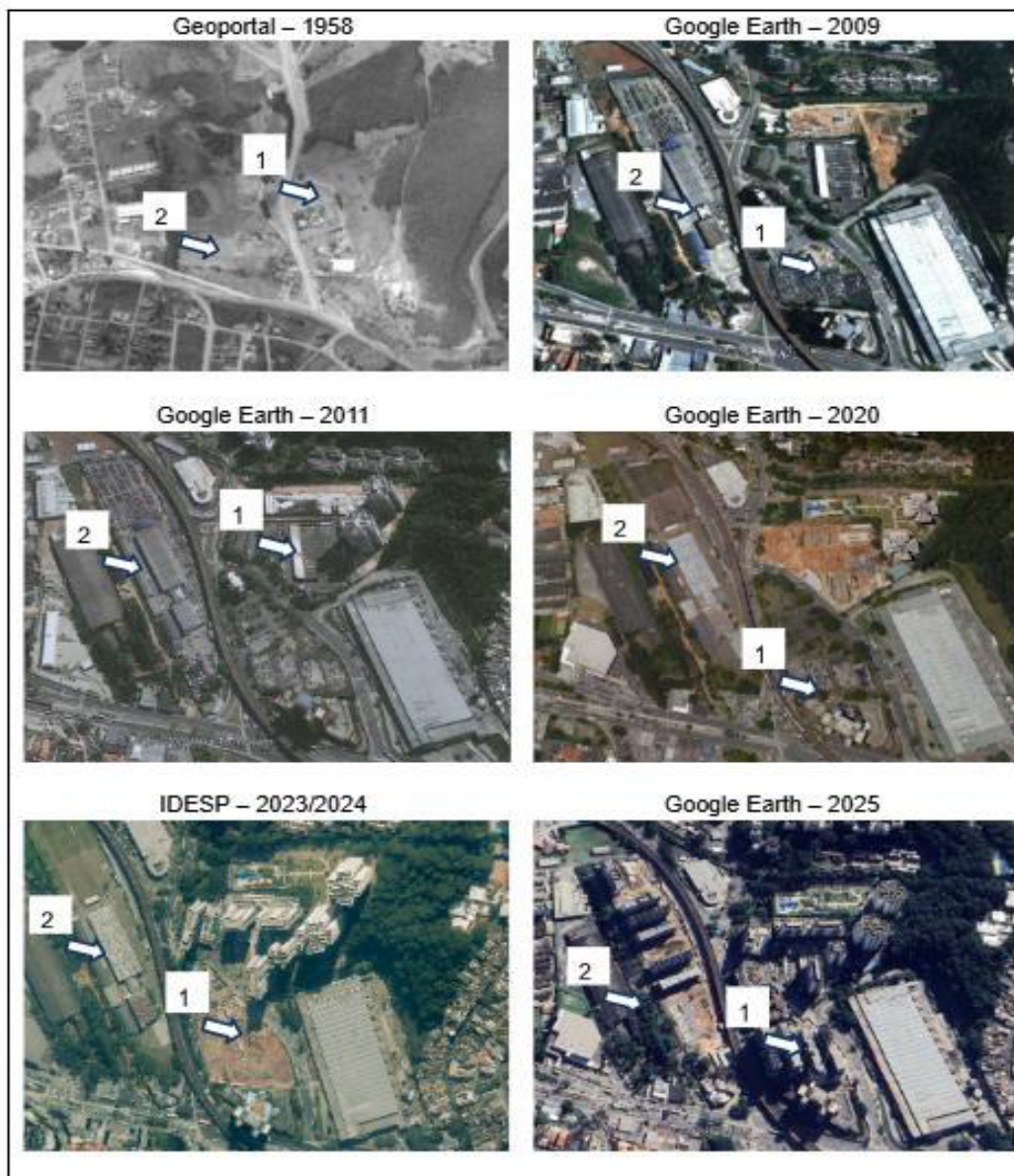
Área Priorizada 8 – Itaim Bibi

Em 2005 (**Figura 3**), predominavam áreas urbanizadas, com menor presença de indústrias. Nos mapas mais recentes (**Figuras 4 e 5**), observa-se forte presença de áreas residenciais (médio e alto padrão), comerciais e de serviços, com poucas remanescentes industriais.

A **Figura 13** ilustra uma área historicamente caracterizada pelo uso predominantemente residencial, atualmente em processo acelerado de verticalização. Observa-se a substituição de casas por condomínios verticalizados, tanto residenciais quanto comerciais.

Ainda que em menor escala, verifica-se também a transformação de antigos galpões industriais em condomínios residenciais. Um exemplo emblemático desse processo é o empreendimento em (1) Parque da Cidade, localizado na Avenida das Nações Unidas, construído sobre uma antiga área industrial. Outro caso representativo é a substituição de galpões localizados ao longo da Avenida Roque Petroni Júnior em (2), onde atualmente predominam condomínios residenciais (**Figura 13**).

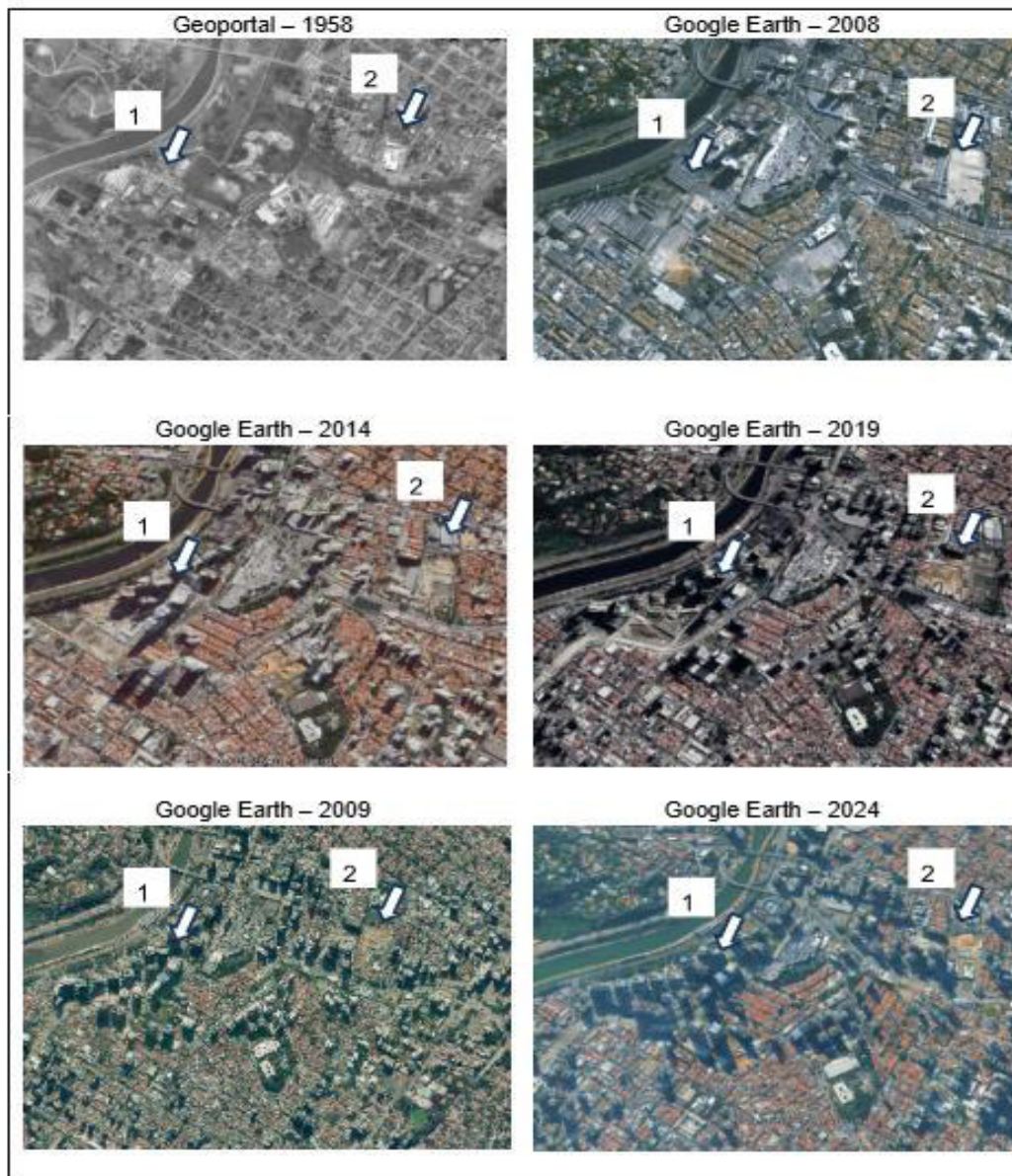
Figura 12 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 7.



Observação: (1) e (2) exemplos de substituição de antigos galpões por condomínios residenciais.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 13 - Evolução das características de uso e ocupação do solo da Área Priorizada 8.



Observação: (1) Empreendimento Parque da Cidade, localizado na Avenida das Nações Unidas e (2) substituição de galpões localizados ao longo da Avenida Roque Petroni Júnior.
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

De modo geral, as observações realizadas a partir das imagens aéreas e de satélite, permitiram verificar a tendência mencionada por DAEE/SERVMAR (2008) a respeito de uma diminuição na presença de indústrias e surgimento de novos empreendimentos residenciais. É importante ressaltar que, apesar da diminuição do uso industrial ao longo dos anos, a presença das indústrias ainda é bastante relevante na região.

Além disso, observa-se que, no contexto do desenvolvimento urbano do município de São Paulo, surgem os Planos de Intervenção Urbana (PIU) vinculados ao Plano Diretor Estratégico (PDE) e, no PIU ACJ (Arco Jurubatuba), está prevista a estruturação do programa de desenvolvimento econômico específico para a dinamização das indústrias instaladas ou que vierem a se instalar na Zona Predominantemente Industrial (ZPI - 1) do Distrito do Socorro.

De acordo com a Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (São Paulo, 2024a), o PIU Arco Jurubatuba, um dos perímetros incluídos, propõe transformar áreas industriais subutilizadas em novos centros de atividade econômica, além de requalificar infraestruturas de transporte e criar espaços públicos em zonas de preservação ambiental.

Esse projeto avançou pelas etapas de proposição dos elementos prévios em 2017, elaboração e consolidação em 2018 e, em 2023, iniciou a fase de implantação. Em 20 de junho de 2023, a Lei nº 17.965 (São Paulo, 2023) foi sancionada, aprovando o PIU Arco Jurubatuba e instituindo as Áreas de Intervenção Urbana (AIU) como Vila Andrade, Jurubatuba e Interlagos. Essa lei foi regulamentada por meio do Decreto Municipal nº 64.472 (São Paulo, 2025a).

O Zoneamento Urbano do Município de São Paulo constitui-se, também, uma ferramenta importante para compreender os principais usos e ocupações do solo, assim como a evolução das zonas industriais na região da ARC-Jurubatuba.

O **Desenho 1 (Anexo 3)** representa o Zoneamento Urbano correspondente a lei atual de Zoneamento Urbano do Município de São Paulo,

relativo a Lei Municipal nº 18.081, de 19 de janeiro de 2024 (Projeto de Lei nº 586/2023), onde observa-se que a área industrial (Zona Predominantemente Industrial 1 - ZPI-1) se concentra principalmente próximo ao Canal da Guarapiranga e a oeste do Canal do Jurubatuba (São Paulo, 2024b).

É importante ressaltar também algumas constatações que foram observadas durante as visitas aos poços presentes na área de estudo. Os trabalhos em locais situados na Região Prioritária 3 – Chácara Santo Antônio (SMA, 2017), denominada neste estudo como Área Priorizada 6, evidenciaram uma acentuada mudança ocorrida no uso e ocupação do solo.

De modo geral, constatou-se a presença de obras na maior parte das áreas vistoriadas, como pode ser observado no **ANEXO 4**. Como consequência, nesses locais, não foi possível se identificar o uso pretendido para essas áreas, o que representou o principal desafio para a equipe no cadastro de poços e na realização das amostragens nesta região, dificultando o acesso aos poços.

Outro exemplo relevante é a Região Prioritária 4 – Jurubatuba (SMA, 2017), referida neste estudo como Área Priorizada 3, onde também foram observadas mudanças no uso e ocupação em algumas das áreas visitadas, conforme indicado no **ANEXO 4**.

Entre as transformações identificadas nessa área, durante o cadastramento de poços, destacam-se: a construção de condomínios residenciais entre 2008 e 2025, a conversão de uma área industrial em zona residencial por meio de urbanização informal e a substituição de uma antiga área industrial por uma locadora de veículos, entre outros casos.

Os dados provenientes da atualização do cadastro SIPOL (Sistema de Fontes de Poluição), fornecido pela CETESB (2025), que reúne informações sobre áreas com atividades com potencial de contaminação, também contribuem para uma melhor compreensão do uso e ocupação do solo local. Na área de estudo, foram identificados 526 registros de atividades com potencial de contaminação. Após a categorização das atividades realizada com base na

metodologia POSH (*pollutant origin, surcharge hydraulically*) proposta por Foster *et al.* (2006), verificou-se a seguinte distribuição de ocorrências:

- ✓ Postos de gasolina - 154;
- ✓ Processamento de metal - 46;
- ✓ Produtos químicos - 38;
- ✓ Alimentos e bebidas - 33;
- ✓ Empresas de elétricos e eletrônicos - 29;
- ✓ Indústrias de ferro e aço - 16;
- ✓ Engenharia Mecânica - 15;
- ✓ Produtos farmacêuticos - 14;
- ✓ Produtos plásticos - 13.
- ✓ Artefatos de borracha - 9;
- ✓ Minerais não-metálicos - 9;
- ✓ Resíduos - 6;
- ✓ Têxteis - 4;
- ✓ Papel e celulose - 3;
- ✓ Sabão e detergente - 2; e
- ✓ Madeira - 1.

Assim sendo, observa-se que, dos 526 registros constantes do SIPOL, foi possível classificar 392 deles, adotando-se a metodologia POSH (Foster *et al.*, 2006), porém as demais 134 atividades não são passíveis de classificação conforme a metodologia adotada, uma vez que não se enquadram em nenhuma das categorias consideradas na técnica utilizada. A localização destas áreas pode ser verificada na **Figura 25**, correspondente à metodologia POSH.

De modo geral, considerando-se uma análise comparativa dos mapas de uso e ocupação do solo da região de Jurubatuba (**Figura 3**), com imagens remotas (**Figuras 4 e 5**) e observações de campo, pode-se constatar uma importante transformação no perfil ocupacional da área.

7. SITUAÇÃO DAS ÁREAS DECLARADAS CONTAMINADAS E REABILITADAS

Este item tem como objetivo apresentar os métodos que foram adotados para obtenção das informações sobre as áreas contaminadas e reabilitadas cadastradas pelos órgãos ambientais, bem como avaliar os resultados obtidos anteriormente por DAEE/SERVMAR (2008) acerca da contaminação do solo e águas subterrâneas. Na sequência, buscou-se consolidar o quadro atual da região para que se possa estabelecer diretrizes para a gestão da ARC-Jurubatuba. Por fim, foram incorporadas observações recentes realizadas no âmbito deste estudo, permitindo uma análise da evolução do gerenciamento de áreas contaminadas e reabilitadas na região.

7.1. Situação da Contaminação na Área de Estudo

O contexto histórico apresentado por DAEE/SERVMAR (2008) considerou os eventos de maior significância quanto aos passivos ambientais encontrados na área anterior ao ano de 2008, data de conclusão do estudo supracitado, conforme descrição apresentada a seguir:

- i) O primeiro registro de contaminação na área de estudo ocorreu em 2001, quando a empresa Gillette apresentou uma autodenúncia à CETESB após a investigação confirmatória (etapa do gerenciamento de áreas contaminadas) apontar a presença de solventes organoclorados no solo e na água subterrânea. Esses contaminantes estavam associados ao período em que a empresa Duracell ocupou o terreno, entre 1981 e 1993;
- ii) Logo em seguida, ou seja, nos anos de 2002 e 2003, a empresa Gillette intensificou suas investigações na área contaminada, identificando que a contaminação por solventes organoclorados se aprofundava consideravelmente, chegando a atingir o Sistema Aquífero Cristalino (SAC).

Essas análises revelaram a existência de 14 poços profundos outorgados pelo antigo DAEE localizados a jusante das plumas de contaminação.

Dentre esses poços, três eram utilizados para o abastecimento de água do Shopping SP Market e foram amostrados pela CETESB, cujos resultados indicaram a existência de contaminantes em todas as amostras (sendo que em um desses poços, foi detectado contaminantes acima do padrão de referência da antiga Portaria MS nº 518/2004) destacando a gravidade da situação ambiental e a necessidade de medidas urgentes de gerenciamento;

iii) Logo após esse ano, em 2004, o Centro de Vigilância Sanitária Estadual foi informado pela CETESB sobre os resultados das análises químicas realizadas, recomendando assim, a interdição dos três poços e o monitoramento mensal dos demais com a possível interdição - caso fossem observadas concentrações superiores ao estabelecido pela legislação vigente à época; e

iv) Assim sendo, a partir do ano de 2005, o antigo DAEE e a COVISA começaram a acompanhar o monitoramento analítico dos poços, considerando rígidas periodicidades nas análises químicas dos poços para solventes halogenados alifáticos na região.

A CETESB ampliou o monitoramento em 07 poços profundos, que apontaram contaminação, confirmando as suspeitas de contaminação regional, com origem em mais de uma fonte de poluição.

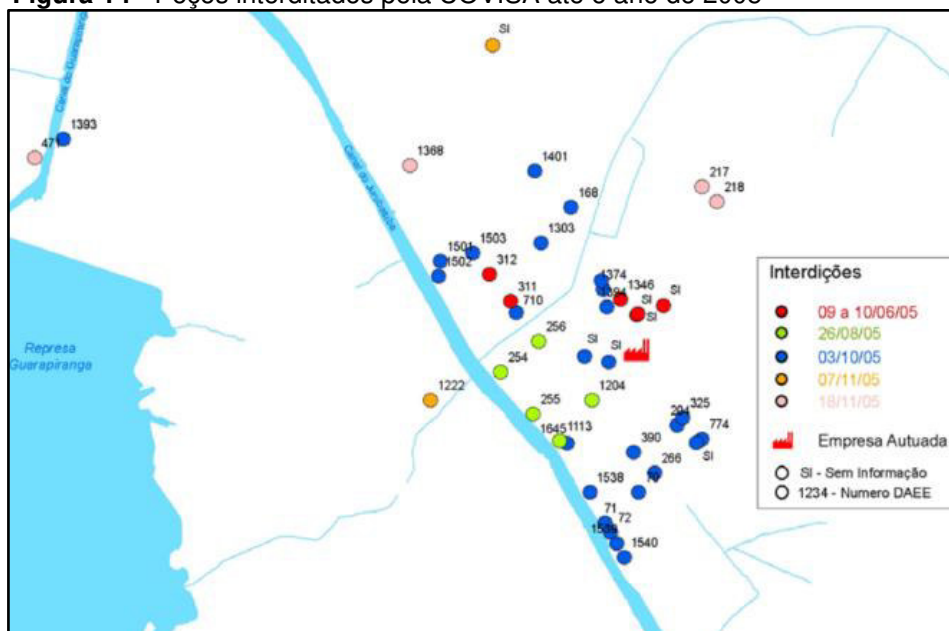
Devido a situação de emergência, a CETESB disponibilizou um contato telefônico para atendimento à população exposta, exigindo a realização de investigações confirmatórias de outras empresas distantes, primeiramente, em um raio de 500 m, e posteriormente 1 km a partir da Gillete.

Na época, a CETESB inspecionou 48 áreas e coletou amostras em 26 poços profundos e 9 poços rasos. Os resultados evidenciaram que a extensão

da contaminação não tinha origem em apenas uma área e que não haviam dados precisos sobre a extensão horizontal e vertical.

Em todos os locais onde ocorreu a confirmação da contaminação, foi solicitada a investigação detalhada. Essa constatação nas adjacências da Gillete foi informada à COVISA, que providenciou a interdição desses poços e estabeleceu a exigência de não se conceder outorgas na área até a obtenção de informações sobre a extensão da contaminação. A **Figura 14** apresenta os poços profundos existentes nas adjacências da Gillete em 2005.

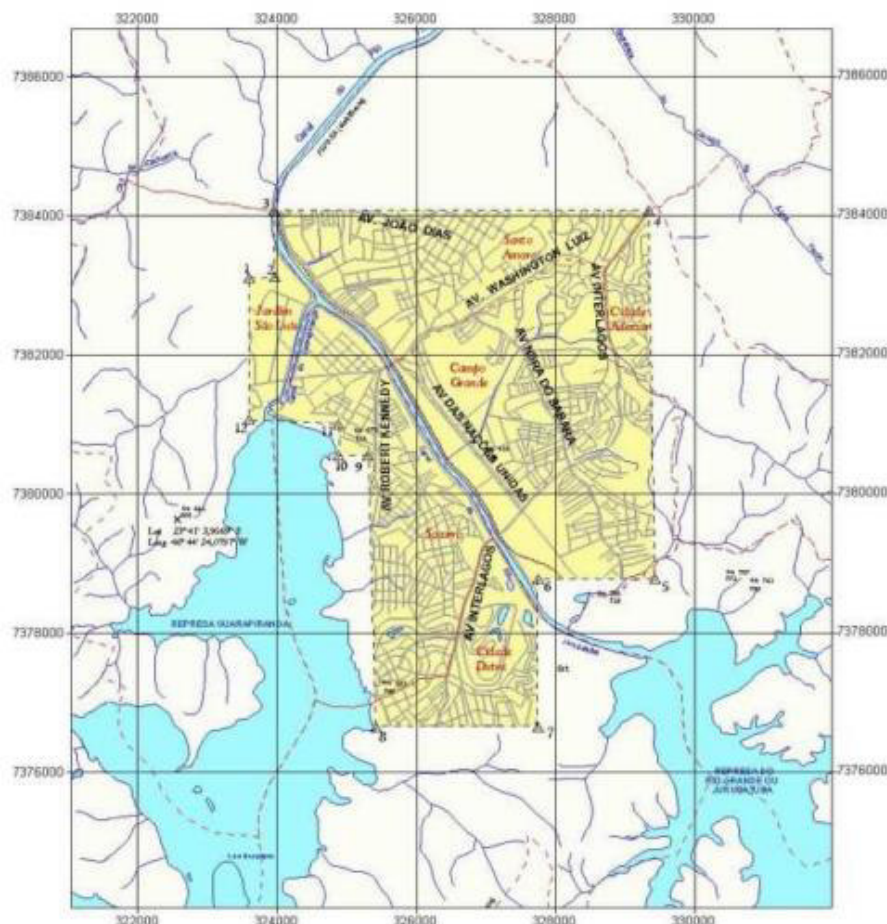
Figura 14 - Poços interditados pela COVISA até o ano de 2005



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008).

Nessa época, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) estabeleceu a Deliberação nº 52/2005 para criação de áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas em locais onde exista a necessidade de disciplinar atividades que possam causar alterações ou efeitos negativos na qualidade e quantidade de águas subterrâneas e, assim, ao final do mesmo ano, foi aprovada a Portaria nº 1594 do DAEE (DAEE, 2005) que criou a área de restrição e controle temporário na região de Jurubatuba (**Figura 15**).

Figura 15 - Área de Restrição e Controle Temporário na Região de Jurubatuba.



Fonte: Portaria n° 1594 do DAEE (DAEE, 2005)

O levantamento de áreas contaminadas declaradas pela CETESB na área de estudo, realizado pela DAEE/SERVMAR (2008), resultou em 84 áreas, das quais 29 (35%) eram áreas industriais e 55 (65%) eram postos de combustíveis.

Das 29 áreas industriais, foi observado que 14 delas (48%) apresentavam contaminantes dos grupos dos metais e dos solventes halogenados alifáticos, e em outras 12 delas (41%), ocorriam solventes halogenados aromáticos.

Dessa forma, DAEE/SERVMAR (2008) constatou que, do total de 84 áreas contaminadas na área de estudo, 14 (17%) apresentavam contaminação com solventes halogenados alifáticos - grupo de contaminantes de interesse na tipologia de contaminação regional avaliada no estudo da ARC-Jurubatuba.

No entanto, mencionou-se que essa quantidade de áreas contaminadas não refletia a realidade da contaminação regional por solventes halogenados à época, uma vez que diversas investigações ainda estavam em andamento na área de estudo e outras sequer haviam sido iniciadas.

A **Figura 16** apresenta o resumo dos tipos de áreas contaminadas cadastradas na CETESB que foram levantadas por DAEE/SERVMAR (2008), notando-se que o predomínio se referia à postos de combustíveis.

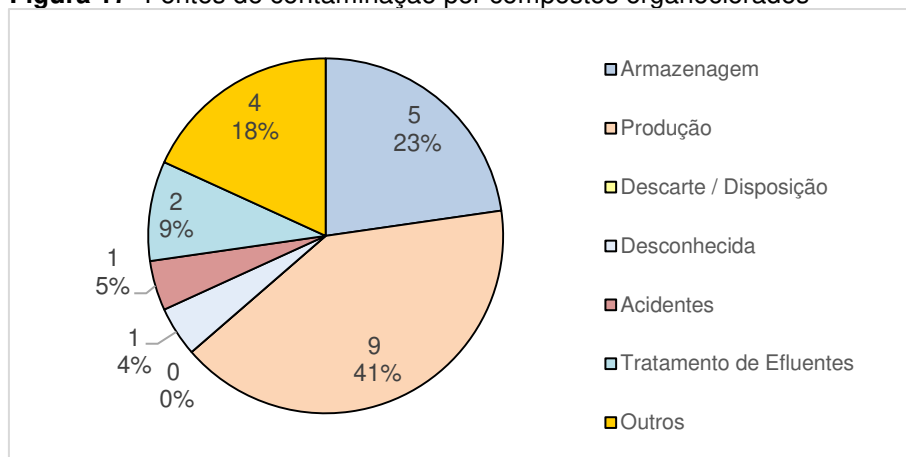
Figura 16 – Tipos de áreas contaminadas cadastradas até 2007



Fonte: adaptado de DAEE/SERVMAR (2008)

Nas indústrias, as principais fontes de contaminação levantadas por DAEE/SERVMAR (2008) foram as áreas de armazenagem (32%) e produção (31%). Quando foram consideradas as contaminações por compostos organoclorados, a área de produção correspondeu à 41%, enquanto a de armazenagem, 23%, conforme **Figura 17**.

Figura 17- Fontes de contaminação por compostos organoclorados



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008)

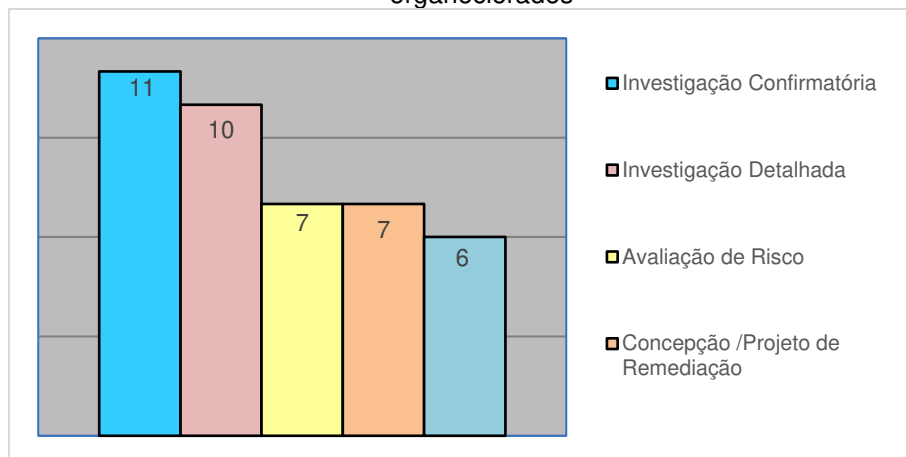
A CETESB em sua ficha de cadastramento de áreas contaminadas, identifica cinco meios impactados: solo superficial, subsolo, sedimentos, água subterrânea e águas superficiais. Nas indústrias da área estudada, os mais comuns foram água subterrânea, subsolo e solo superficial, nessa ordem.

Em relação aos meios impactados, bem quanto às ações emergenciais e às etapas do gerenciamento para o entendimento e recuperação das áreas degradadas, DAEE/SERVMAR (2008) observou que na área de estudo as ocorrências são numericamente similares entre as indústrias contaminadas em geral e aquelas contaminadas por solventes organoclorados.

Em relação às etapas desenvolvidas para o entendimento e a recuperação das 14 áreas contaminadas por solventes halogenados alifáticos levantados em 2008 por DAEE/SERVMAR na área de estudo, foi informado que ocorreram investigações confirmatórias em 11 dessas áreas e, em seguida, investigações detalhadas em 10 delas (**Figura 18**).

Foi mencionado, também, que não haviam informações disponíveis sobre avaliações preliminares e que cerca de 50% das áreas estavam em processo de remediação.

Figura 18 - Processos de gerenciamento das áreas contaminadas por compostos organoclorados



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008)

Apesar de não se dispor dos endereços das 14 áreas identificadas por DAEE/SERVMAR (2008), foram apresentadas informações correspondentes à alguns bairros e às concentrações detectadas, quais sejam:

- i) no bairro do Socorro, a concentração mais elevada e a maior concentração média de cis-DCE (140,0 µg/L) foram encontradas em uma área; e
- ii) no bairro Campo Belo, a maior concentração e a maior média também foi para o cis-DCE (210,0 µg/L), representando a mais alta concentração em poços de monitoramento em toda a área de estudo.

Na **Tabela 1** são apresentados os valores máximos e médios para cada composto em cada uma das áreas em consultas de vistas aos processos realizados por DAEE/SERVMAR (2008).

Tabela 1 - Concentrações máximas e médias para cada composto nas áreas contaminadas verificadas em vistas aos processos da CETESB

Parâmetros analisados (µg/L)	Empresa 1* (26 poços de monitoramento)		Empresa 2* (66 poços de monitoramento profundos)		Empresa 2* (33 poços de monitoramento rasos)		Empresa 3 (30 poços de monitoramento)		Empresa 4 (104 poços de monitoramento)	
	Max. (X10 ³)	Med. (X10 ³)	Max. (X10 ³)	Med. (X10 ³)	Max. (X10 ³)	Med. (X10 ³)	Max. (X10 ³)	Med. (X10 ³)	Max. (X10 ³)	Med. (X10 ³)
PCE	49,00	19,29					0,29	0,014	0,13	0,002
TCE	7,36	0,52	17,10	0,91			0,87	0,05	102,00	1,04
cis-DCE	4,91		4,92	0,43	1,03	0,07	138,00	8,61	211,00	6,91
1,1-DCE			0,75	0,04			3,45	0,15	0,39	0,01
trans-DCE							1,05	0,07	0,84	0,04
CV	0,93	0,13	7,07	0,42	1,14	0,05	65,00	4,315	42,60	2,15
1,1-DCA			0,65	0,02			3,60	0,25	0,026	0,0002

Observação: As Empresas 1 e 2 ficam localizadas no Bairro Campo Grande, enquanto a Empresa 3 situa-se no Bairro Socorro e a Empresa 4, localiza-se no Bairro Campo Belo.

Fonte: DAEE/SERVMAR (2008)

A partir das vistas realizadas aos processos, nota-se que DAEE/SERVMAR (2008) ressaltou que as plumas de contaminação em uma projeção horizontal extrapolavam os limites das propriedades de quatro empresas cujos relatórios foram consultados.

O estudo de DAEE/SERVMAR (2008) identificou que a fonte secundária de contaminação em áreas consultadas estava vinculada à ausência de rede de esgoto, especialmente na área industrial de Campo Grande e ressaltou sobre a falta de regulamentações e de práticas ambientalmente adequadas para a utilização de solventes halogenados. Dessa forma, avaliou que, junto com a ausência de coleta de esgoto, existia a possibilidade de que descartes irregulares poderiam ter ocorrido em galerias pluviais.

Esse mesmo estudo constatou que o modelo de descarte de efluentes, realizado por meio de galerias de drenagem nas propriedades conectadas às galerias pluviais da rede pública, geralmente tinha como destino final córregos e canais, como o canal do Jurubatuba.

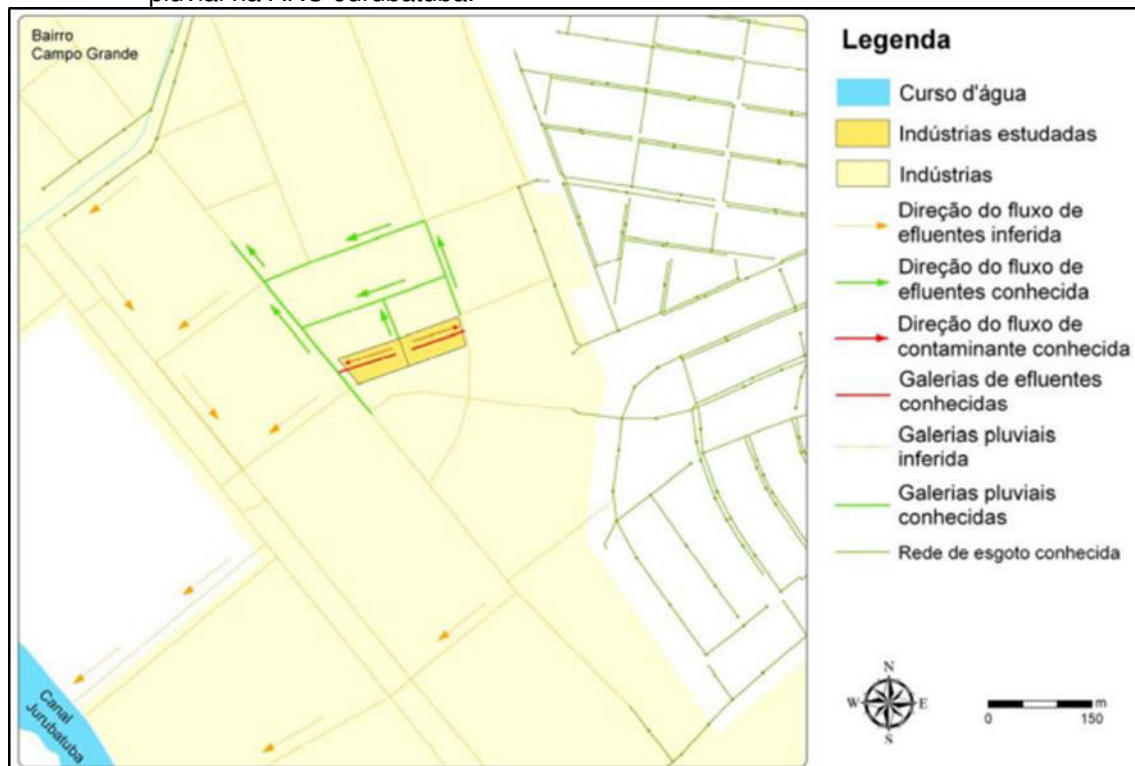
Assim sendo, patologias estruturais nessas galerias poderiam permitir a infiltração de contaminantes no aquífero. Os contaminantes EEC (etenos clorados) originais (PCE e TCE) em fase não-aquosa (DNAPL) podem penetrar até encontrar uma barreira física ou dissipar-se. Efluentes encaminhados para fossas sépticas podem causar contaminação similar.

Na área contaminada localizada no Bairro Campo Grande, a leste do canal do Jurubatuba, os sedimentos em galerias apresentaram concentração de PCE de 56 g/kg. Também foram detectadas concentrações semelhantes de TCA, 1,1-DCE e 1,1-DCA, além de produtos de degradação do PCE como TCE, cis-DCE e CV e compostos comuns na gasolina (BTXE) e mercúrio.

A **Figura 19** apresenta um modelo, a partir de uma ocorrência real de galeria contaminada, conectada à rede de galerias pluviais. O trecho de rede pluvial (em verde) é conhecido e o trecho de rede pluvial (em laranja) é inferido. A figura ilustra um modelo de disseminação da contaminação historicamente típico na região industrial.

É importante ressaltar que o estudo DAEE/SERVMAR (2008) não conseguiu acesso ao mapa da rede de esgoto junto à empresa concessionária de saneamento. Da mesma forma, o IPT/Fipt efetuou tentativas de acesso a essas informações, mas não logrou êxito na obtenção dos dados.

Figura 19 - Modelo de traçado de galerias com contaminantes conectadas à rede de galeria pluvial na ARC-Jurubatuba.



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008)

7.2. Situação observada no estudo atual

Este item apresenta as informações relativas à situação atual dos procedimentos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) na ARC – Jurubatuba e seu entorno, com o objetivo de apresentar tanto a descrição do detalhamento acerca das condições dessas áreas, quanto aos procedimentos de identificação e reabilitação com base nos dados publicados por órgãos governamentais.

Dessa forma são apresentados aspectos compreendendo as etapas desse gerenciamento com as atividades desenvolvidas na propriedade, assim como a classificação das áreas e as fontes de contaminação e, também, os meios impactados, os contaminantes identificados e as intervenções realizadas.

7.2.1. Situação das Áreas Contaminadas observadas conforme bancos de dados

A análise efetuada acerca das áreas contaminadas neste item foi elaborada a partir de informações provenientes dos seguintes bancos de dados: Datageo (2025), Geosampa (2025), Prefeitura do Município de São Paulo (2025) e CETESB (2025).

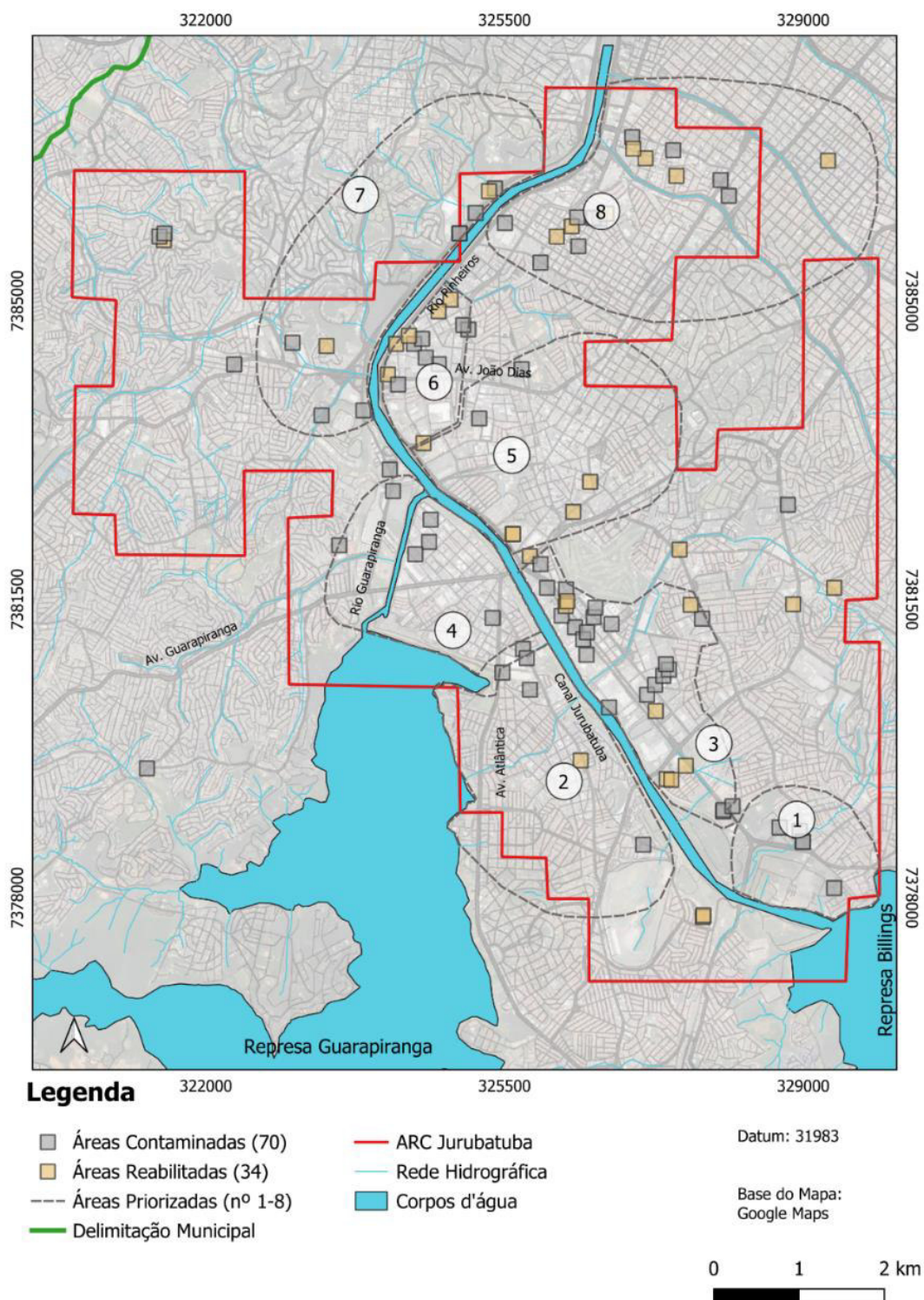
Na abrangência da área de estudo foram identificadas 376 áreas contaminadas no banco de dados do Datageo (2025) e 129 no banco de dados Geosampa (2025). Dentre essas áreas, 129 apresentavam contaminação por solventes halogenados, foco do presente estudo (sendo 94 identificadas na base do DataGeo e 35 na base do Geosampa).

Em seguida, com o objetivo de verificar e complementar as informações obtidas, foram consultados os registros existentes até o ano de 2020, relativos às fichas completas acerca de áreas contaminadas e reabilitadas que estão disponibilizadas no *site* da CETESB (CETESB, 2025). Da mesma forma, foram efetuadas consultas aos registros do *site* da Prefeitura Municipal de São Paulo relativos às listagens de áreas contaminadas (Prefeitura Municipal de São Paulo, 2025b), o que resultou em um total de 243 registros.

Após esse levantamento de dados, foi efetuada análise comparativa e a consistência de informações, constatando-se que diversas áreas estavam registradas em mais de um banco de dados.

Como resultado desse cruzamento, chegou-se à identificação final de 104 áreas contaminadas ou reabilitadas por solventes halogenados, conforme apresentado na **Figura 20** e no **Quadro 5**. O **Anexo 5** apresenta o detalhamento das informações.

Figura 20 – Áreas contaminadas ou reabilitadas



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Quadro 5 – Fontes de consulta de dados de áreas contaminadas por compostos organoclorados

Fonte	Cadastro (nº de áreas contaminadas)
Datageo (2025)	94
Geosampa (2025)	35
Prefeitura Municipal de São Paulo (2025)	32
CETESB (2025)	82
Total (antes da consistência dos dados)	243
Total (após a consistência dos dados)	104

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Esse total representa um aumento de 90 áreas em relação ao estudo realizado pela DAEE/SERVIMAR (2008), que havia identificado 14 áreas, as quais se encontram na seguinte situação de acordo com o levantamento efetuado no presente estudo:

- 5 Áreas Contaminadas em Processo de Remediação (ACRe);
- 3 Processos de Monitoramento para Encerramento (AME);
- 3 Áreas Reabilitadas para o uso declarado (AR); e
- 3 Áreas Contaminadas em Processo de Reutilização (ACRu).

A CETESB classifica as áreas contaminadas de acordo com o nível das informações obtidas, dos riscos existentes ou dos procedimentos de intervenção adotados. Assim sendo, as áreas podem ser classificadas, conforme artigo 8º do Decreto Estadual nº 59.263/2013 (São Paulo, 2013).

As áreas identificadas neste projeto foram classificadas conforme as seguintes categorias:

- i. Área Contaminada sob Investigação (ACI): área onde foram constatadas por meio de investigação confirmatória concentrações de contaminantes que colocam, ou podem colocar, em risco os bens a proteger;

- ii. Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi): área onde foi constatada, por meio de investigação detalhada e avaliação de risco, contaminação no solo ou em águas subterrâneas, a existência de risco à saúde ou à vida humana, ecológico, ou onde foram ultrapassados os padrões legais aplicáveis;
- iii. Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe): área onde estão sendo aplicadas técnicas de remediação visando a eliminação da massa de contaminantes ou, na impossibilidade técnica ou econômica, sua redução ou a execução de técnicas contenção e/ou isolamento;
- iv. Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu): área contaminada onde se pretende estabelecer um novo uso do solo, com a eliminação, ou a redução a níveis aceitáveis, dos riscos aos bens a proteger, decorrentes da contaminação;
- v. Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME): área na qual não foi constatado risco ou as metas de remediação foram atingidas após implantadas as técnicas de remediação, encontrando-se em processo de monitoramento para verificação da manutenção das concentrações em níveis aceitáveis; e
- vi. Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria anteriormente contaminada que, depois de submetida às técnicas de intervenção, ainda que não tenha sido totalmente eliminada a massa de contaminação, tem restabelecido o nível de risco aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger.

O **Quadro 6**, a seguir, apresenta a classificação das áreas na área de estudo. Verifica-se que 35 delas enquadram-se como “Reabilitadas para o Uso Declarado (AR)”, o que indica que já passaram por medidas corretivas e foram avaliadas como aptas ao uso pretendido. Em seguida, destacam-se as

“Contaminadas em Processo de Reutilização (ACRu)”, com 27 ocorrências, correspondendo a 25% do total.

Quadro 6 – Classificação da área referente à etapa do GAC

Classificação	Nº de áreas	Porcentagem (%)
Contaminada sob Investigação (ACI)	9	9
Contaminada com Risco Confirmado (ACRi)	9	9
Contaminada em Processo de Remediação (ACRe)	16	15
Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu)	27	25
Processo de Monitoramento para Encerramento (AME)	9	10
Reabilitada para o uso declarado (AR)	34	32
Total	104	100

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Por outro lado, as classificações associadas a maior risco ou incerteza, como “Contaminada com Risco Confirmado (ACRi)” e “Contaminada sob Investigação (ACI)”, somam juntas 18 áreas (18%), evidenciando a importância da continuidade dos processos de investigação e intervenção.

As categorias relacionadas a “Monitoramento para Encerramento (AME)” compreendem uma parcela menor (cerca de 9%), indicando que poucos casos estão próximos do encerramento definitivo segundo os critérios da CETESB (2025).

No **Quadro 7** observa-se que a maioria das áreas contaminadas (cerca de 69%) está relacionada a atividades industriais, o que corrobora a estreita associação entre esse tipo de uso do solo e a ocorrência de contaminações, especialmente por solventes halogenados, foco do presente projeto.

Quadro 7– Classificação quanto ao tipo de uso do solo da área contaminada.

Atividade	Nº de áreas	Porcentagem (%)
Industrial	72	69
Comércio	9	9
Resíduo	4	4
Posto de Gasolina	1	1
Sem Informação	18	17
Total I	104	100

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

As áreas de uso comercial (cerca de 9%), de disposição de resíduos (cerca de 4%) e posto de gasolina (1%), representam percentuais menores, enquanto uma parcela significativa das áreas não possui informação declarada sobre o tipo de uso (cerca de 17%).

Além dos solventes halogenados, os contaminantes mais comuns mencionados nas fontes consultadas são os metais (54,2%), os solventes aromáticos (37,2%), os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – PAHs (22,2%) e os hidrocarbonetos totais de petróleo – TPH (19,2%). Em seguida, aparecem os combustíveis automotivos (12,2%), os bifenilos policlorados – PCBs (11,2%), os ftalatos (6,2%), o metano (7,2%) e os poluentes orgânicos persistentes – POPs (6,0%) (**Anexo 5**). Conforme se observa no citado anexo, notam-se várias áreas com a presença de múltiplos compostos, caracterizando contaminação mista, enquanto outras apresentam apenas um tipo de contaminante.

De acordo com os dados acerca de áreas contaminadas da CETESB (2025), as principais fontes de contaminação na área de estudo são as áreas de produção (35 ocorrências) e de armazenagem (14 ocorrências). Em 11 áreas foram identificadas múltiplas fontes de contaminação. Já em 10 áreas, a fonte contaminante é desconhecida, e em outras 18, essa informação não foi disponibilizada (**Quadro 8**).

Quadro 8 – Fontes de contaminação do subsolo e águas subterrâneas na área de estudo

Fonte de Contaminação – Classificação CETESB	Nº de áreas	Porcentagem (%)
Armazenagem, acidentes	1	1
Armazenagem, produção, manutenção. Infiltração, descarte disposição	1	1
Armazenagem, produção, tratamento de efluentes	1	1
Descarte/Disposição, Infiltração	1	1
Manutenção, acidentes	1	1
Produção, descarte disposição	1	1
Produção, Infiltração	1	1
Armazenagem, produção, manutenção	2	2
Produção, desconhecida	2	2
Armazenagem, produção	3	3
Armazenagem, produção, infiltração	3	3

Fonte de Contaminação – Classificação CETESB	Nº de áreas	Porcentagem (%)
Manutenção	3	3
Descarte disposição	7	7
Desconhecida	10	10
Armazenagem	14	13
Produção	35	33
Não informado	18	17
Total Geral	104	100

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Considerando as áreas declaradas como contaminadas por solventes halogenados na área de estudo, os meios mais impactados são as águas subterrâneas (96 ocorrências) e o subsolo (46 ocorrências), porém são expressivos, também, outros locais afetados (**Quadro 9**).

Quadro 9 – Meios impactados na área de estudo.

Meios impactados	Nº de áreas	Porcentagem (%)
Águas Subterrâneas	96	52
Subsolo	46	25
Ar do solo	17	9
Solo Superficial	16	9
Solo	5	3
Sem Informação	3	2

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto -FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Destaca-se que 57 áreas (55%) apresentam contaminação em mais de um meio impactado, conforme apresentado no **Quadro 10**.

Quadro 10 – Meios impactados em cada área contaminada.

Meios impactados	Nº de áreas
Águas Subterrâneas	40
Águas Subterrâneas, Solo	1
Águas Subterrâneas, Ar do Solo	3
Águas Subterrâneas, Ar do Solo, Solo Superficial	4
Águas Subterrâneas, Ar do Solo, Subsolo	4
Águas Subterrâneas, Ar do Solo, Solo Superficial, Subsolo	3
Águas Subterrâneas, Solo Superficial	4
Águas Subterrâneas, Solo Superficial, Subsolo	5
Águas Subterrâneas, Subsolo	32

Meios impactados	Nº de áreas
Ar do Solo	3
Subsolo	1
Subsolo, Ar do Solo	1
Sem informação	3
Total Geral	104

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

As técnicas de remediação classificadas nas fichas de áreas contaminadas da CETESB estão apresentadas no **Quadro 11**. Na área de estudo, as principais ações adotadas foram o bombeamento e tratamento (14 ocorrências), a oxidação química (14 ocorrências) e a remoção de solo/resíduo (14 ocorrências).

Destaca-se que, das 104 áreas contaminadas, 31 adotaram mais de um tipo de técnica de remediação, conforme pode ser observado no **Quadro 12**.

Quadro 11- Principais técnicas de remediação adotadas na área de estudo.

Técnicas de Remediação	Quantidade	Porcentagem (%)
Tratamento térmico in situ	1	1,0
Redução química	1	1,0
Outras	1	1,0
Biorremediação	2	1,9
Atenuação natural monitorada	2	1,9
Descloração redutiva	3	2,9
Cobertura de resíduo/solo contaminado	3	2,9
Recuperação de fase livre	5	4,8
Barreira hidráulica	5	4,8
<i>Air sparging</i>	6	5,8
Sem adoção de medidas de remediação	10	9,6
Extração de vapores do solo (SVE)	12	11,5
Extração multifásica	11	10,6
Bombeamento e tratamento	14	13,5
Oxidação química	14	13,5
Remoção de solo/resíduo	14	13,5

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136

Quadro 12 - Técnicas de remediação adotadas para cada área contaminada na ARC-Jurubatuba e entorno.

Técnicas de Remediação	Total
Atenuação natural monitorada	1
Bombeamento e tratamento, air sparging, extração multifásica, oxidação química, barreira hidráulica, remoção de solo/resíduo, barreira hidráulica	1
Bombeamento e tratamento, barreira hidráulica, biorremediação	1
Bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo (SVE), air sparging, oxidação química	1
Bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo (SVE)	1
Bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo (SVE), air sparging, extração multifásica, oxidação química	1
Bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo (SVE), air sparging, extração multifásica, remoção de solo/resíduo, barreira hidráulica, atenuação natural monitorada	1
Bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo (SVE), oxidação química, barreira hidráulica	1
Bombeamento e tratamento, extração de vapores do solo (SVE), oxidação química, remoção de solo/resíduo	1
Bombeamento e tratamento, extração multifásica, desclorinação redutiva, recuperação fase livre	1
Bombeamento e tratamento, extração multifásica, oxidação química, recuperação fase livre	1
Bombeamento e tratamento, extração multifásica, remoção de solo/resíduo	1
Bombeamento e tratamento, extração multifásica, remoção de solo/resíduo, recuperação fase livre, barreira hidráulica	1
Bombeamento e tratamento, oxidação química, remoção de solo/resíduo	1
Bombeamento e tratamento, redução química	2
Desclorinação redutiva, oxidação química	1
Extração de vapores do solo (SVE) air sparging, oxidação química	1
Extração de vapores do solo (SVE) air sparging, remoção de solo/resíduo	1
Extração de vapores do solo (SVE), cobertura de resíduo/solo contaminado	1
Extração de vapores do solo (SVE), desclorinação redutiva, remoção de solo/resíduo, biorremediação	1
Extração de vapores do solo (SVE), oxidação química	2
Extração de vapores do solo (SVE), remoção de solo/resíduo, cobertura de resíduo/solo contaminado	1
Extração multifásica	2
Extração multifásica, oxidação química	1
Extração multifásica, oxidação química, remoção de solo/resíduo	1
Extração multifásica, tratamento térmico <i>in situ</i> , recuperação fase livre	1
Oxidação química	7
Oxidação química, remoção de solo/resíduo	2
Remoção de solo/resíduo	7
Remoção de solo/resíduo, cobertura de resíduo/solo contaminado	2
Remoção de solo/resíduo, recuperação fase livre	1
Outras	1
Sem adoção de medidas de remediação	10
Não informado	45
Total Geral	104

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

7.2.2. Situação observada das Áreas Contaminadas conforme os processos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Para a elaboração da análise acerca da situação atual, foram realizados levantamentos de dados sobre áreas contaminadas cadastradas durante os anos de 2024 e 2025 nos seguintes locais:

- relação de Áreas Cadastradas no Estado de São Paulo (CETESB, 2025);
- relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Município de São Paulo (São Paulo, 2025b);
- vistas aos autos de processos administrativos no Estado de São Paulo solicitados por meio do Sistema Integrado de Gestão Ambiental (SIGAM) da Secretaria do Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL). Os processos foram consultados em duas formas: i) em documentos físicos disponibilizados para consultas presenciais nas Agências da CETESB de Pinheiros (Sede) e de Santo Amaro; e ii) em documentos digitais disponibilizados no *Portal de Atendimento da SEMIL*. Os processos administrativos consultados encontram-se relacionados no **Anexo 6**;
- vistas aos processos disponibilizados pela Secretaria do Municipal do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura de São Paulo;
- dados disponíveis em julho de 2025 no DataGeo (2025) do Sistema Ambiental Paulista do Estado de São Paulo; e
- dados disponíveis em julho de 2025 no Geosampa (2025) pela Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL) da Prefeitura de São Paulo.

O primeiro critério utilizado no levantamento para a seleção de áreas contaminadas foi a relação de contaminação por etanos clorados (EAC) e etenos clorados (EEC) presentes na região da ARC-Jurubatuba e seu entorno.

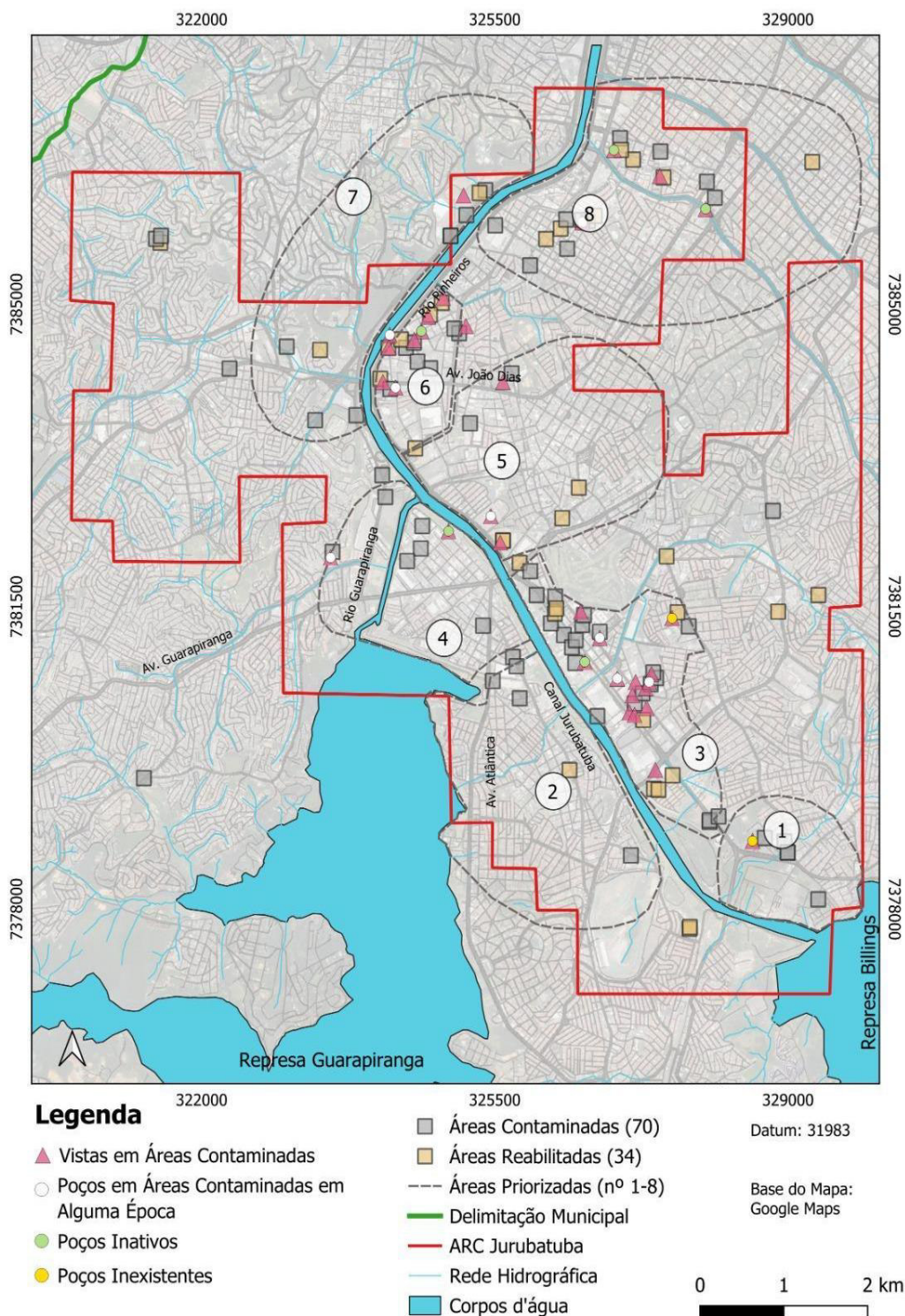
Para a seleção de áreas para consulta aos processos administrativos, além dos critérios acima, foram consideradas a distribuição espacial nas regiões prioritárias estabelecidas pela Resolução SMA nº 11/2017 (SÃO PAULO, 2017),

a evolução e criticidade quanto às etapas finais do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), o contexto histórico e atual do uso do solo, a eventual presença de poço tubular (inclusive considerando o seu entorno) e o volume potencial de informações.

Foram realizadas consultas aos documentos por meio de vistas aos processos administrativos em 41 propriedades com o objetivo de compreender sobre a contaminação por EAC e EEC. A análise buscou identificar as principais concentrações (iniciais e as últimas reportadas), as origens das fontes de contaminação, a existência de poços de produção para abastecimento na época dos estudos (incluindo dados hidráulicos e análises químicas desses poços), além de informações hidrogeológicas locais - como profundidade dos aquíferos raso e profundo, unidades hidroestratigráficas, predominância da direção do fluxo do aquífero e litologia. Também foi considerada a proximidade com poços de abastecimento nas imediações e as etapas do GAC já realizadas conforme a classificação estabelecida pelo Decreto Estadual nº 59.263 (São Paulo, 2013).

Os processos administrativos consultados e as principais informações coletadas encontram-se no **Anexo 7** e **Figura 21**.

Figura 21 – Dados de áreas contaminadas obtidas em consultas efetuadas por meio de vistas aos processos administrativos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Conforme verificado no **Anexo 7**, 17 propriedades (41%) informaram ter possuído poços tubulares para abastecimento em alguma época. Entretanto, em apenas 5 dessas propriedades observou-se que existiam uma ou mais informações detalhadas sobre esses poços (perfis litológicos/construtivos e/ou resultados de análises químicas) e 19 propriedades no entorno continham poços para abastecimento.

Em relação aos dados de interesse sobre o meio físico, foram utilizadas informações obtidas a partir de poços de monitoramento, instalados sem penetração na rocha sã. Esses poços forneceram dados de diferentes níveis do aquífero, classificados neste estudo como: A (raso), B (intermediário) e C (profundo). Dos dados analisados, verificou-se que apenas 20 propriedades apresentaram seção hidrogeológica, enquanto 25 disponibilizaram algum tipo de mapa, incluindo representações de plumas de contaminação obtidas a partir de poços de monitoramento e/ou mapas potenciométricos.

Das áreas analisadas nas vistas, observou-se que 10 não constam no cadastro da CETESB, não sendo possível, então, verificar qual a classificação correntemente adotada segundo os procedimentos GAC. Ao mesmo tempo, nota-se que 23 delas estão registradas na Prefeitura de São Paulo (São Paulo, 2025b), sendo a maioria já classificada como Área Reabilitada para o uso declarado (AR) e 12 integram o gerenciamento de Áreas Contaminadas Críticas conforme o Decreto Estadual Nº 59.263 (São Paulo, 2013).

Considerando essas últimas 12 áreas citadas acima, nota-se que 01 corresponde a Área Reabilitada para Uso Declarado, 03 Áreas se encontram em processo de monitoramento para encerramento, 02 Áreas Contaminadas em Processo de Remediação, 01 Área Contaminada sob Investigação e 05 delas não foram localizadas nos arquivos consultados da CETESB.

Em 22 áreas, os documentos registram a alteração do uso do solo, geralmente de industrial para residencial ou comercial e podem ser observadas

as seguintes quantidades de áreas classificadas, conforme Decreto Estadual nº 59.263 (São Paulo, 2013):

- 01 Área Contaminada sob Investigação (ACI);
- 05 Áreas Contaminadas em Processo de Remediação (ACRe);
- 01 Área em processo de Monitoramento para Encerramento (AME);
- 06 Áreas Contaminadas em Processo de Reutilização (ACRu);
- 08 Áreas Reabilitadas para o Uso Declarado (AR); e
- 01 não foi localizada a classificação na relação da CETESB (2025).

É importante ressaltar que 8 dessas áreas possuem Termo de Reabilitação para Uso Declarado, indicando que todas as etapas do GAC foram superadas e que essas áreas estão aptas para utilização conforme o uso pretendido. Além disso, verifica-se a presença de 01 Área Contaminada sob Investigação (ACI), 05 Áreas Contaminadas em Processo de Remediação (ACRe), 01 Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME), 06 Áreas Contaminadas em Processo de Reutilização (ACRu) e 01 área cuja classificação não foi localizada na relação divulgada pela CETESB (2025).

No que tange à Resolução SMA nº 11/2017 (São Paulo, 2017) que estabelece regiões prioritárias para a investigação de áreas contaminadas, pode ser observado que 7 áreas consultadas nas vistas integram a região prioritária Chácara Santo Antônio (sendo 2 AR, 01 ACRI, 02 ACRu, 01 ACRe, 01 ACI), enquanto 12 pertencem à região prioritária de Jurubatuba, com maioria cadastrada como AME e 04 não foram localizadas na relação de áreas contaminadas de 2020 (CETESB, 2025).

7.3. Análise da evolução ocorrida

Este item tem por objetivo apresentar o avanço do Gerenciamento de Áreas Contaminadas na região da ARC – Jurubatuba utilizando as informações dos estudos de anos anteriores consultados nas vistas e os dados de áreas

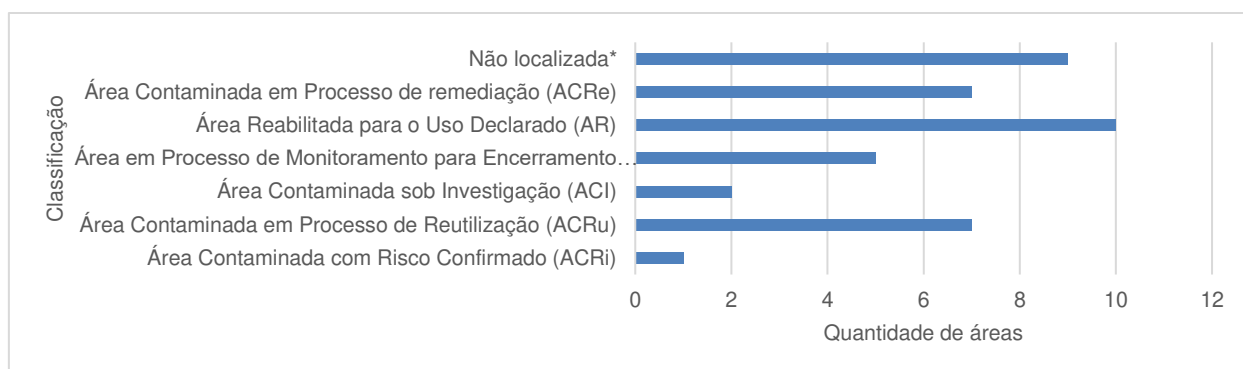
contaminadas publicados pelos órgãos de governo em relação aos dados, quanto:

- às etapas do GAC atuais;
- às fontes geradoras de contaminação por solventes clorados de interesse;
- as informações de concentrações de contaminações reportadas; e
- a dimensão, tipologia e quantitativo de áreas.

Das 41 propriedades consultadas por meio de vistas na CETESB, em 15 foram realizadas verificações das concentrações de contaminantes reportadas acima dos Valores Orientadores do órgão ambiental estadual, tanto no início dos estudos quanto na última campanha disponibilizada. Nessas áreas, também foram levantadas informações sobre as possíveis fontes de contaminação, os dados hidrogeológicos disponíveis e as etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas já executada

Conforme demonstrado no **Anexo 7**, a maioria das 41 áreas consultadas nas vistas aos processos de procedimentos GAC encontram-se em estágio avançado em relação ao estabelecido pela CETESB, sendo classificadas como AR ou ACRu, evidenciando o gerenciamento da contaminação na região, conforme gráfico da **Figura 22**.

Figura 22 – Gráfico das áreas consultadas por meio de vistas aos documentos dos procedimentos GAC.



* Não foram localizadas na relação de áreas contaminadas da CETESB.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto –FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Em relação às áreas contaminadas mencionadas por DAEE/SERVMAR (2008), nas quais haviam sido apresentadas as concentrações máximas e médias (**Tabela 2**), a MWM (Empresa 2) se encontrava na etapa do GAC de identificação de contaminação e a Brenntag (Empresa 3), Novartis (Empresa 4) e Gillete/Duracel (Empresa 1) estavam em processo de remediação em andamento. Atualmente, de acordo com a relação da CETESB, as empresas Novartis, Procter & Gamble Industrial e Comercial Ltda (antiga Duracell/Gillette) e Brenntag ainda se encontram em remediação, enquanto a MWM já se encontra em fase de monitoramento para encerramento.

Ainda de acordo com o **Anexo 7**, 17 áreas continham poços tubulares para abastecimento em algum momento (**Figura 21**) e dessas, apenas 3 apresentaram informações quanto aos resultados analíticos laboratoriais desses poços tubulares nos processos vistos, nos quais haviam concentrações de EAC e EEC, as quais foram compiladas no **Anexo 8**.

Os resultados analíticos laboratoriais das campanhas iniciais indicaram concentrações elevadas de organoclorados nos poços de produção anteriormente existentes, além de concentrações ainda mais altas nos poços de monitoramento profundos instalados para avaliação da área contaminada.

Como a maioria desses poços profundos em áreas contaminadas foi desativada (**Anexo 7** e **Figura 21**), há poucos resultados analíticos recentes disponíveis para esses pontos. No entanto, verificou-se que as concentrações de alguns compostos em poços de monitoramento instalados nos níveis B e C excederam, em milhares de vezes, os limites orientadores estabelecidos pela CETESB. Entre esses, destaca-se um poço situado a aproximadamente 300 m da margem do rio Pinheiros e outro localizado a cerca de 600 m do canal Jurubatuba.

De modo geral, verificou-se que, nas etapas iniciais do monitoramento, a maioria dos parâmetros de EAC e EEC apresentava concentrações superiores aos limites estabelecidos pela CETESB. A implementação de medidas de

remediação por meio de sistemas de GAC resultou na redução dos níveis desses compostos na maior parte das áreas avaliadas. Ainda assim, alguns pontos permaneceram com concentrações elevadas, possivelmente em função da identificação tardia de fontes de contaminação.

Em análises anteriores, os estudos conduzidos pelo DAEE/SERVMAR (2008) identificaram a área contaminada localizada no bairro Campo Belo (Novartis) como aquela com as maiores concentrações de cis-DCE, atingindo aproximadamente 210.000 µg/L e apresentando também a maior média para esse composto. De acordo com levantamentos realizados em 2006, essa propriedade registrou o maior valor de cis-DCE no nível A (28.900,0 µg/L), além da maior média nesse nível, bem como a presença de traços de contaminantes de interesse nos níveis B e C. Nos estudos realizados em 2019, verificou-se que o cis-DCE apresentou sua maior concentração no nível C, com valor de 24.097,5 µg/L, enquanto no nível B, o composto predominante foi o 1,2-DCE, cuja concentração máxima registrada alcançou 11.115,65 µg/L.

Nas análises conduzidas para o presente estudo, identificou-se que a propriedade Robert Bosch apresentou as maiores concentrações de TCE, alcançando valores de 125.276,0 µg/L no nível A e 15.840,0 µg/L no nível C nas campanhas iniciais. De acordo com o levantamento mais recente, realizado em 2023, não foram detectadas concentrações significativas desse composto no nível A; contudo, no nível C foram observados níveis elevados dos compostos PCE, TCE e CV, destacando-se a maior concentração do TCE (61.126,0 µg/L).

Os valores referem-se a concentrações que geralmente excedem os limites da CETESB nos anos analisados, em comparação com as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMAs).

Os estudos analisados apontam que a principal fonte de contaminação está relacionada a processos industriais, como usinagem, montagem, armazenamento de matérias-primas, tanques, efluentes, acidentes e fontes externas. Como fonte secundária, destaca-se a ausência de rede de esgoto em

anos anteriores. A presença de fase livre de DNAPL foi identificada em duas propriedades: MRV e Robert Bosch.

As profundidades do nível d'água subterrânea máximas e mínimas, as direções do fluxo vertical e horizontal dos níveis A e B foram verificadas nos estudos consultados nas vistas aos processos administrativos, conforme **Tabela 2**. O sentido do fluxo vertical foi preferencialmente descendente e a horizontal, foi de nordeste para sudeste.

Tabela 2 – Principais dados do meio físico verificados nas vistas aos documentos dos procedimentos GAC.

Propriedade	Ano	Raso (m)		Profundo (m)		Direção do fluxo vertical (raso, intermediário e profundo)	Direção do fluxo horizontal
		NA máx.	NA mín.	NA máx.	NA mín.		
Brookfield	2008	15,5	2,2	s.i.	s.i.	descendente	de nordeste para sudoeste
Fieltex (Savimovel)	2005-2006	3,75	1,49	s.i.	s.i.		sudoeste
Harley (Antigo Bera do Brasil)	2018	9,0	3,14	s.i.	s.i.	descendente	noroeste
Hesa 96				s.i.	s.i.	s.i.	do NE para SW
Hesa 159	2014	7,5	3,00	s.i.	s.i.	s.i.	SW-NE
MRV	2021	4,4	0,7	s.i.	s.i.	s.i.	SW
MWM	2012	3,77	1,09	s.i.	s.i.	s.i.	Raso - S-SW/ Profundo SW
Nova 25	2018	5,08	3,31	8,05	7,8	s.i.	nordeste para sudeste em direção ao rio Pinheiros
Novartis Biociências	2019	10,53	2,45	51,56	4,7	s.i.	Ainda que exista uma componente NE, o fluxo gradualmente retoma seu sentido natural, que seria NW.
Robert Bosch	2012	3,18	1,06	4,71	1,57	descendente	Raso para o rio Pinheiros. Aquífero intermediário fluxo é radial.
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial - SENAC	2006	2,19	1,53	2,57	0,1	fluxo vertical é do tipo ascendente, na maioria da área de estudo.	Direção preferencial no sentido de NE para SW, em direção ao córrego.

s.i. – sem informação, pois a mesma não foi localizada nos documentos disponibilizados/consultados

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

8. CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO NA ARC-JURUBATUBA

Neste item são apresentadas as observações levantadas e interpretações subsequentes para a caracterização da contaminação na área de estudo, considerando a situação observada em 2008 (DAEE/SERVMAR, 2008), bem como procedendo à atualização das informações dessa época para a situação recente.

A atualização acerca de contaminações ou fontes potenciais de contaminação da área de interesse foi efetuada a partir do registro de áreas, disponibilizado em 2025 no Sistema de Fontes de Poluição (SIPOL) pela CETESB (2025). A partir dessas informações, procedendo-se à aplicação do Método POSH (*pollutant origin, surcharge hydraulically*) proposto por FOSTER *et al.* (2006), para avaliação do perigo associado à presença das substâncias poluentes, o tipo de atividade humana e a provável sobrecarga hidráulica devido a presença de água.

8.1. Situação observada no estudo DAEE/SERVMAR

Em 2008, a atividade industrial era a principal atividade antrópica observada por DAEE/SERVMAR (2008) na área de estudo, com maior densidade de Atividades com Elevado Potencial de Contaminação (AEPC), apontado como prejudicial para a qualidade dos aquíferos, conforme observado pela metodologia POSH aplicada no estudo realizado (FOSTER *et al.*, 2006; DAEE/SERVMAR, 2008).

Quanto aos aspectos de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas, o citado estudo constatou que existiam dificuldades inerentes às especificidades da área para a sua determinação, ou seja, notou-se expressiva heterogeneidade hidráulica e pequena quantidade de dados relativos ao meio hidrogeológico propriamente dito de maior importância, qual seja, o Sistema Aquífero Cristalino (SAC). Ao mesmo tempo, na área de interesse, o estrato de cobertura do SAC é caracterizado pelo intemperismo de

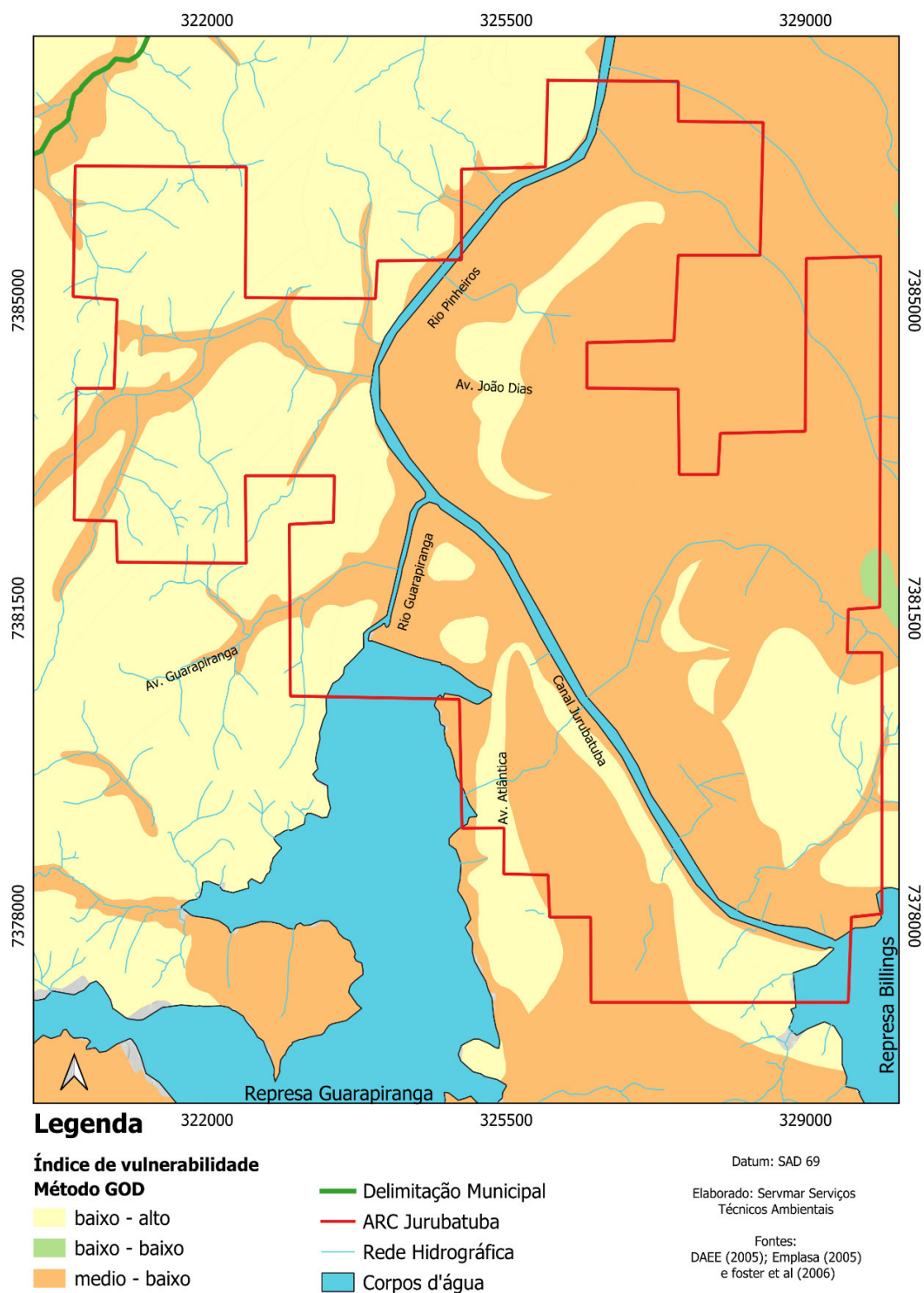
rochas metamórficas e ígneas e por apresentar níveis freáticos posicionados variando de médias profundidades (entre 5 m e 20 m) a grandes profundidades (maiores que 20 m), o que permitiu classificar o sistema como índice de vulnerabilidade médio.

O índice de vulnerabilidade natural à poluição dos aquíferos Sedimentar e Cristalino na ARC-Jurubatuba foi mapeado pelo Método GOD (FOSTER e HIRATA, 1988), conforme a **Figura 23**, de acordo com as características hidrogeológicas - resultando em diferentes índices, com a seguinte distribuição:

- Aquífero Quaternário: alto índice de vulnerabilidade devido a porções areno-argilosas à pequenas profundidades (entre 1 m e 5 m) do nível freático;
- Aquífero São Paulo: médio índice de vulnerabilidade devido a porções de silte-argila e ao nível freático mais profundo (5 m e 20 m); e
- Aquífero Resende: possui duas fácies, sendo que em uma camada predominam lamitos areno-argilosos que possuem alto índice de vulnerabilidade nos locais com níveis freáticos rasos (profundidades entre 1 m e 5 m) e índice médio nas áreas com níveis freáticos mais profundos (maiores que 5 m). Já na camada que predominam lamitos acamadados e níveis freáticos maiores que 5 m, também apresenta um índice de vulnerabilidade médio.

O Método GOD foi proposto por Foster e Hirata (1988) para mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas. Nesse método são atribuídos valores numéricos a cada um dos parâmetros: G (grau de confinamento do aquífero), O (ocorrência de estratos sobre o aquífero) e D (profundidade que se encontra o nível d'água subterrânea); e a multiplicação desses valores resulta em um índice de vulnerabilidade, que permite classificar a área em diferentes níveis de vulnerabilidade (baixa, média, alta), subsidiando a gestão do uso e ocupação do solo, bem como na implementação de medidas de proteção.

Figura 23 – Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas na área de estudo.



Fonte: SÃO PAULO (2009)

Conforme apontado anteriormente no estudo DAEE/SERVMAR (2008), ambos os aquíferos são classificados como não confinados. Nesse estudo, as informações da profundidade do nível d'água subterrânea foram obtidas considerando os dados de campo, os quais foram obtidos à época por meio da medição em poços de monitoramento rasos e cacimbas, bem como por intermédio de observações indiretas, considerando-se os padrões observados na topografia dos terrenos locais.

Essa observação quanto aos aspectos topográficos, diz respeito ao fato de que o nível freático tende a acompanhar o modelado da topografia em toda a região, pois na comparação dos dados de campo com as cotas topográficas em relação ao nível médio do mar, naqueles locais mais elevados constataram-se níveis freáticos mais profundos e, nas cotas mais baixas, os níveis mostraram-se mais rasos. Foi verificado que na porção central e leste da área há a predominância dos níveis mais rasos e, na porção oeste, por sua vez, ocorrem os níveis mais profundos.

Das 3.905 atividades existentes na área de estudo em 2008, 2.490 atividades foram classificadas à época pelo método POSH (*pollutant origin, surcharge hydraulically*) de Foster *et al.* (2006) com índice elevado de potencial de contaminação, conforme características químicas e índices de risco que manuseiam substâncias tóxicas ou nocivas, como hidrocarbonetos, solventes orgânicos sintéticos, metais pesados, dentre outros, indicando perigo de contaminação dos aquíferos, principalmente por atividades industriais.

Em relação aos resultados analíticos, cujo detalhamento será apresentado em capítulo posterior, o estudo do DAEE/SERVMAR (2008) avaliou um total de 84 poços, sendo 81 a partir de dados analíticos fornecidos e 03 por meio de coletas realizadas em campo. Desses, 38 não apresentaram concentrações detectáveis de compostos organoclorados, enquanto 46 registraram a presença desses contaminantes.

Dos compostos organoclorados, reforça-se o perigo de transporte desses

contaminantes nas águas subterrâneas. Isso se aplica tanto aos compostos considerados originais - como PCE, TCE, TCA e 1,1-DCA, quanto aos subprodutos de degradação (como cis-1,2-DCE, trans-1,2-DCE, 1,1-DCE, cloreto de vinila e 1,2-DCA). Essa constatação reforça a necessidade de estudos mais detalhados, de ações de controle da contaminação e do tratamento adequado da rede de esgotos. Ressalta-se também que, na área estudada, foi confirmado o manuseio de substâncias químicas perigosas associado a um sistema de esgotamento sanitário ineficiente ou ausente, o que contribuiu para a contaminação do solo e da água subterrânea. Ademais, observou-se a detecção de contaminantes em zonas de poços localizados em áreas com alta densidade de Atividades com Elevado Potencial de Contaminação (AEPC).

Cabe destacar que, além dos compostos organoclorados, foram identificados outros contaminantes, com concentrações tanto acima quanto abaixo dos valores orientadores, incluindo parâmetros inorgânicos, radioatividade alfa e beta, indicadores bacteriológicos, bem como benzeno, tetracloreto de carbono e trihalometanos. Também foram verificadas amostras que não atenderam aos parâmetros físico-químicos.

Diante desse cenário, DAEE/SERVMAR (2008) destacou que havia uma extensa área de contaminação (6 km de comprimento e 3,5 km de largura) dos grupos halogenados alifáticos (PCE, TCE, TCA e 1,1-DCA) e de seus subprodutos de degradação (cis-1,2-DCE, 1,1-DCE, trans-1,2-DCE, CV e 1,2-DCA).

A área de contaminação foi caracterizada por plumas combinadas, originadas de múltiplas fontes, coincidindo com a direção do canal do Jurubatuba e ocorrendo ao longo de suas margens. Sua extensão foi estimada desde as proximidades do Aterro Sanitário de Santo Amaro, ao sul da área de estudo, até alguns quilômetros ao norte, próximo à margem do rio Pinheiros - com alargamento também em direção às margens do canal da Guarapiranga.

O estudo de DAEE/SERVMAR (2008) apontou para a possibilidade de

que as condições de fraturamento das rochas cristalinas que compõem os aquíferos locais exercessem controle estrutural significativo, favorecendo o transporte de contaminantes ao longo de grandes distâncias.

A profundidade da contaminação mostrou-se de difícil determinação, por depender da profundidade de perfuração dos poços, havendo risco de propagação vertical durante a própria perfuração. Ensaios pneumáticos identificaram fluxos ascendentes e descendentes nos poços avaliados.

A correlação entre profundidade e concentrações revelou que, nos poços de produção, a contaminação encontrava-se diluída ao longo de toda a coluna d'água, devido à captação em múltiplos níveis. Nesses casos, as concentrações foram até cem vezes inferiores às registradas em poços de monitoramento em áreas contaminadas, que variaram de dezenas a centenas de mg/L.

Verificou-se, ainda, a possibilidade de migração de contaminantes entre fraturas distintas por meio dos poços, bem como a conexão de maiores massas poluidoras a fraturas principais ligadas diretamente às fontes de contaminação.

Por fim, DAEE/SERVIMAR (2008) concluiu sobre a necessidade de se conhecer todas as fontes de contaminações que atingiam os poços de produção, recomendando estudos direcionados para investigação de fontes primárias e secundárias e, também, para a expansão do monitoramento visando a tomada de ações para reocupação e o controle da contaminação existente à época.

8.2. Situação observada no estudo atual a partir do SIPOL

Os dados utilizados no presente trabalho correspondem às informações referentes aos últimos 10 anos dos pedidos de licença e renovação, disponibilizadas pela CETESB, por meio das agências de Pinheiros e Santo Amaro, na forma de banco de dados do cadastro SIPOL (Sistema de Fontes de Poluição). Assim sendo, o banco de dados fornecido é relativo ao ano de 2025 e conta 6.161 registros de áreas potencialmente contaminantes, incluindo informações dos limites externos da área de estudo da ARC-Jurubatuba.

É importante ressaltar que, não obstante o expressivo número de registros disponibilizados no SIPOL (total de 6.161), observou-se baixa quantidade de registros adequadamente georreferenciados e com dados com precisão adequada e, portanto, foi necessário realizar a consistência desses dados por meio de diversas ferramentas.

Com o objetivo de eliminar informações não correspondentes à área de estudo e estabelecer apenas uma entrada por área, foi realizada uma filtragem inicial por bairros e, em seguida, conforme a razão social, resultando em 952 registros.

Posteriormente a aplicação técnica preliminar, foi realizado um processo de geocodificação de endereços, utilizando-se o QGIS 3.30.3, *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que possibilitou a seleção dos dados exclusivamente inseridos na área de interesse, resultando em um banco de dados com 526 registros de áreas potencialmente contaminantes na ARC – Jurubatuba e em seu entorno imediato.

8.3. Aplicação do Método POSH

Este item tem como objetivo apresentar a avaliação do perigo significado pela presença de substâncias poluentes, considerando o tipo de atividade humana e a possível sobrecarga hidráulica decorrente do uso da água, por meio da aplicação do método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*) proposto por Foster *et al.* (2006) e utilizado anteriormente por DAEE/SERVMAR (2008).

Explicitando melhor acerca do Método POSH, busca-se caracterizar a origem da contaminação e aquilatar o conteúdo de água associada (carga hidráulica) e, a partir daí, efetuar avaliação do quão perigosa essa fonte de poluição pode se apresentar.

Após a consolidação e o georreferenciamento das informações obtidas no cadastro SIPOL, foi possível aplicar essa metodologia, que classifica as fontes potenciais de carga contaminante no subsolo e permite avaliar, de forma

qualitativa, a probabilidade de ocorrência de poluentes associados às atividades humanas desenvolvidas na área.

Portanto, a partir do cadastro das 526 áreas potencialmente contaminantes, obtido no SIPOL disponibilizado pela CETESB, foi efetuado o enquadramento das fontes potenciais de contaminação e foi possível realizar a classificação utilizando o Método POSH, conforme descrito a seguir (**Figura 24**):

- Classe 1 - Potencial Reduzido: 43 atividades;
- Classe 2 - Potencial Moderado: 194 atividades; e
- Classe 3 - Potencial Elevado: 155 atividades.

Um total de 134 atividades cadastradas no SIPOL na área de estudo não possuem tipologia que se enquadre na classificação proposta no Método POSH e dessa maneira foi necessário considerá-las em grupo de “não classificadas”.

Figura 24 – Enquadramento e classificação das fontes de contaminação pontuais segundo o Método POSH.

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	deposição de resíduos sólidos	áreas industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	mineração e exploração de petróleo
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a área >5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agro-industriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria Indústrias Tipo 1: madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal					

Fonte: Foster *et al.* (2006)

Os quadros abaixo (**Quadro 13**, **Quadro 14** e **Quadro 15**) exibem um detalhamento do número de atividades classificadas em cada um dos níveis e em quais segmentos, respectivamente para 1 - Potencial Reduzido, 2 - Potencial Moderado e 3 - Potencial Elevado.

Quadro 13 - Atividades classificadas como Potencial Reduzido

Potencial Reduzido – Classe 1	Nº de Atividades
Alimentos e Bebidas	33
Madeira	1
Minerais Não-Metálicos	9
Total	43

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Quadro 14 - Atividades classificadas como Potencial Moderado.

Potencial Moderado – Classe 2	Nº de Atividades
Artefatos de Borracha	9
Ferro e Aço	16
Papel e Celulose	3
Posto de Gasolina	154
Resíduos	6
Sabão e Detergente	2
Têxteis	4
Total	194

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

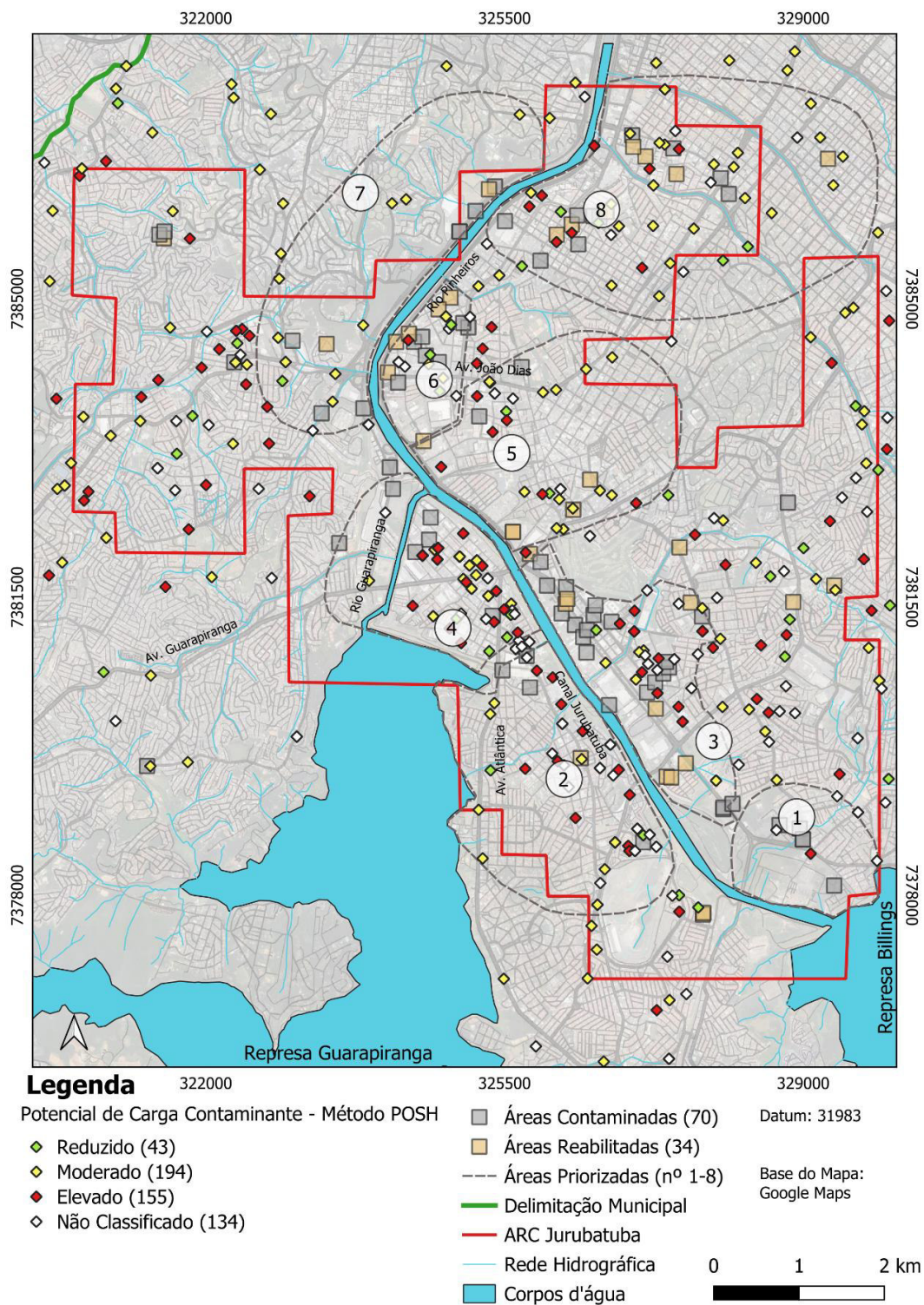
Quadro 15 - Atividades classificadas como Potencial Elevado

Potencial Moderado – Classe 3	Nº de Atividades
Elétricos e Eletrônicos	29
Engenharia Mecânica	15
Farmacêuticos	14
Processamento de Metal	46
Produtos Químicos	38
Produtos Plásticos	13
Total	155

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

A **Figura 25** ilustra a distribuição espacial das 526 áreas com potencial de contaminação provenientes do cadastro do SIPOL, classificadas de acordo com a metodologia POSH.

Figura 25 - Mapa com a distribuição espacial das atividades com carga potencial de contaminação.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

9. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As atividades de monitoramento hidroquímico na área de estudo foram conduzidas com o objetivo de avaliar a qualidade das águas subterrâneas, com ênfase na investigação de compostos orgânicos voláteis (VOCs). A seguir, apresentam-se os resultados obtidos em campanhas anteriores, bem como aqueles decorrentes da pesquisa atualmente em desenvolvimento na ARC-Jurubatuba.

9.1. Histórico de monitoramentos efetuados

Este item apresenta o histórico com base nos dados anteriores ao estudo DAEE/SERVMAR (2008), assim como a partir das informações fornecidas pela COVISA e, também, dos resultados obtidos na campanha de amostragem realizada no âmbito deste estudo.

O objetivo deste histórico é contextualizar as ocorrências anteriores à execução do presente projeto e fornecer suporte às metodologias adotadas na sua realização.

Na área de estudo, dos 755 poços cadastrados, foram obtidos dados de análise química da água em 271 poços. Desses, 79 dados foram extraídos do relatório do DAEE/SERVMAR (2008), 113 foram fornecidos pela COVISA no período da execução do presente projeto e 79 foram obtidos em análises realizadas neste estudo.

Cabe destacar que a avaliação das análises químicas concentrou-se nos compostos de interesse: etenos clorados (EEC) e etanos clorados (EAC).

9.1.1. Dados obtidos do estudo DAEE/SERVMAR

O projeto desenvolvido por DAEE/SERVMAR (2008) teve como objetivo delimitar áreas de restrição e controle para a captação e uso das águas subterrâneas, bem como estabelecer medidas para regular essa exploração. No

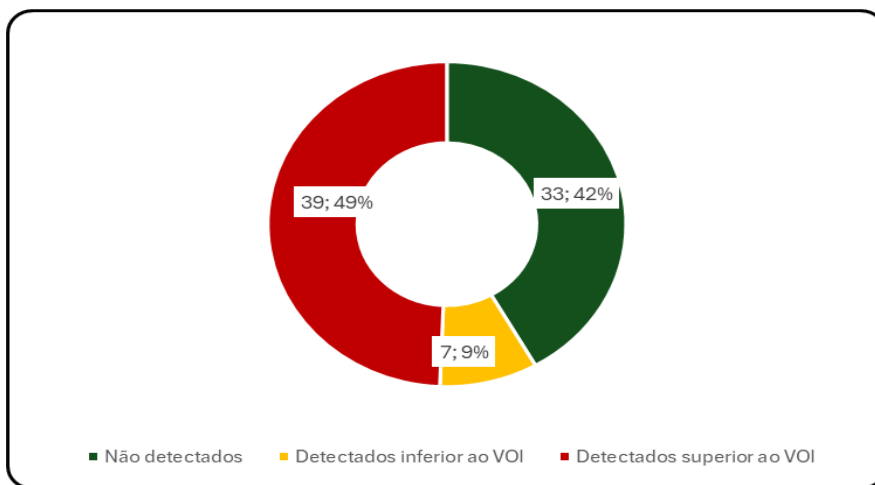
âmbito do projeto, foram apresentados dados de análises químicas para compostos clorados (EEC e EAC).

Na presente revisão, foram considerados 79 poços analisados no âmbito do projeto DAEE/SERVMAR. Cabe ressaltar que o estudo original avaliou um total de 84 poços, sendo 81 com base em dados analíticos fornecidos e 03 por meio de coletas realizadas em campo. Dentre esses, 38 poços não apresentaram concentrações detectáveis de compostos organoclorados, enquanto 46 apresentaram concentrações desses contaminantes.

Em relação aos poços que não apresentaram concentrações detectáveis de organoclorados, não foi localizada uma planilha específica contendo esses dados. Dessa forma, as informações foram extraídas a partir de uma figura presente no relatório, o que permitiu a identificação de apenas 33 poços, totalizando, assim, os 79 poços considerados na revisão.

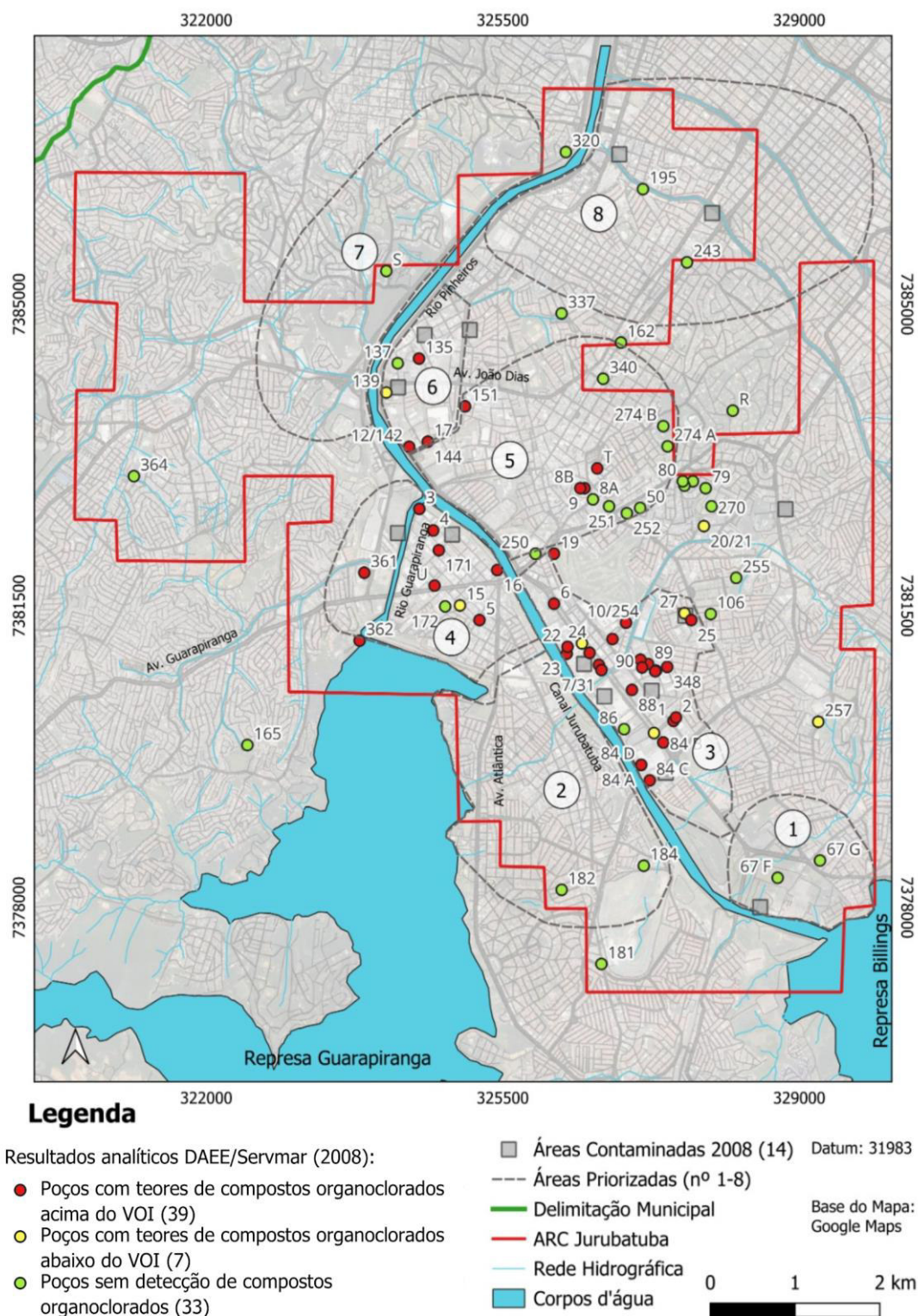
Entre os 79 poços que foram analisados para compostos organoclorados, observou-se que em 33 poços (42%) não houve detecção desses compostos, enquanto 7 poços (9%) apresentaram concentrações inferiores ao Valor Orientador de Intervenção (VOI). Por outro lado, 39 poços (49%) apresentaram concentrações superiores ao VOI. Esses resultados estão ilustrados na **Figura 26** e a distribuição geográfica desses poços, por sua vez, está apresentada na **Figura 27**.

Figura 26 – Resultados analíticos obtidos no estudo DAEE/SERVMAR.



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008).

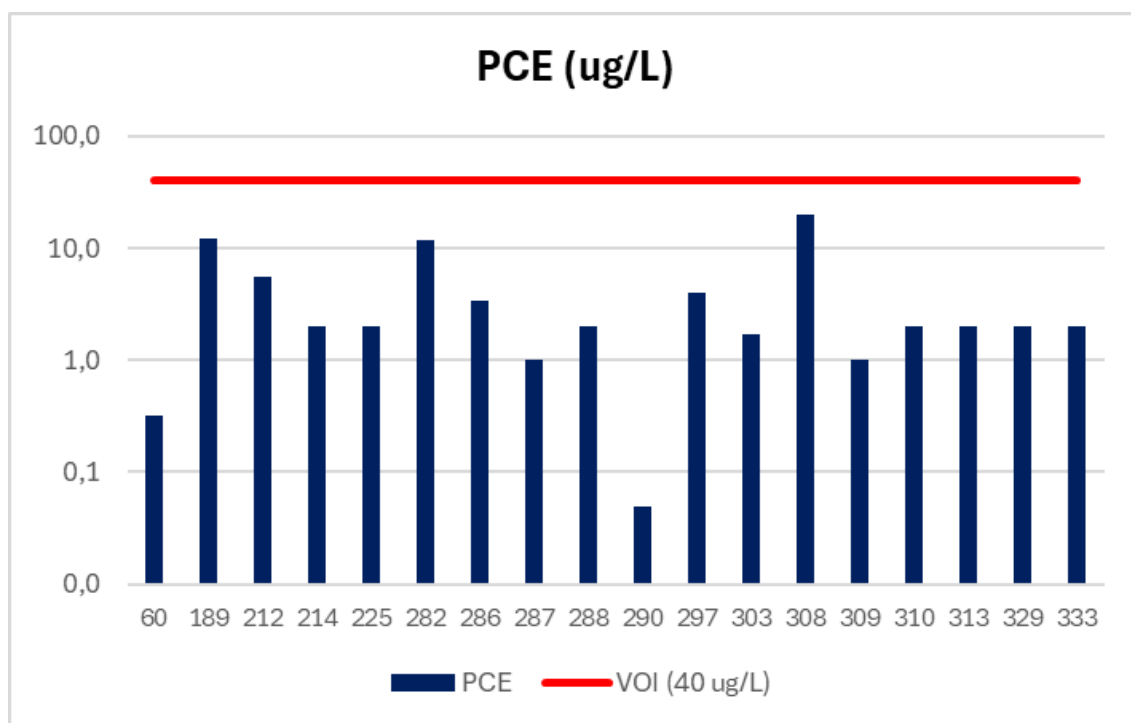
Figura 27– Distribuição geográfica dos poços analisados no estudo anterior na ARC-Jurubatuba.

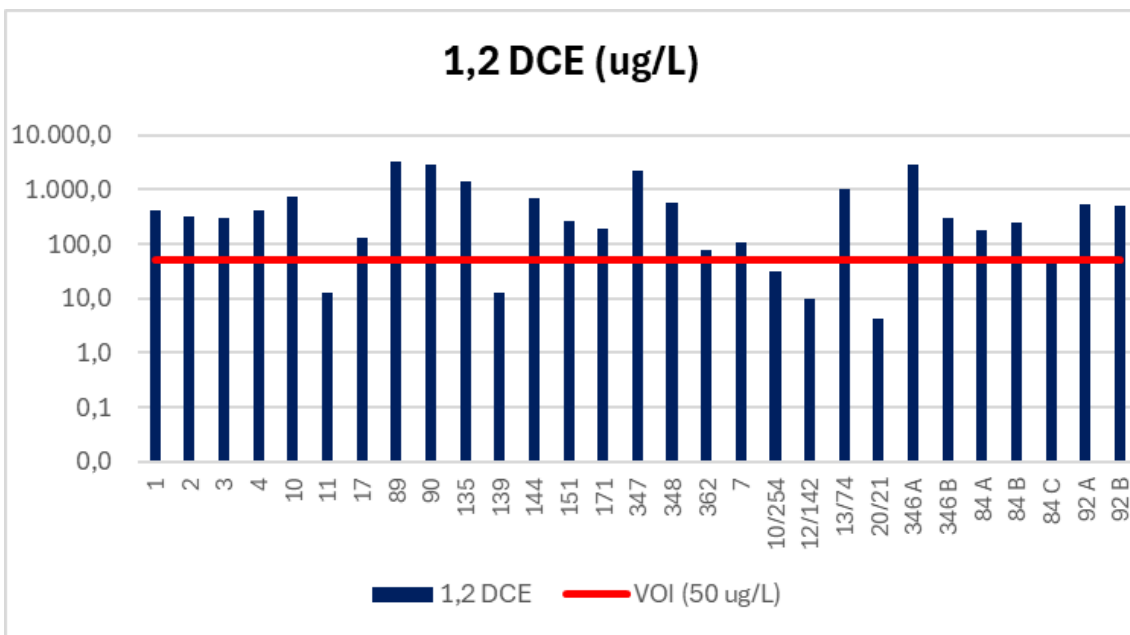
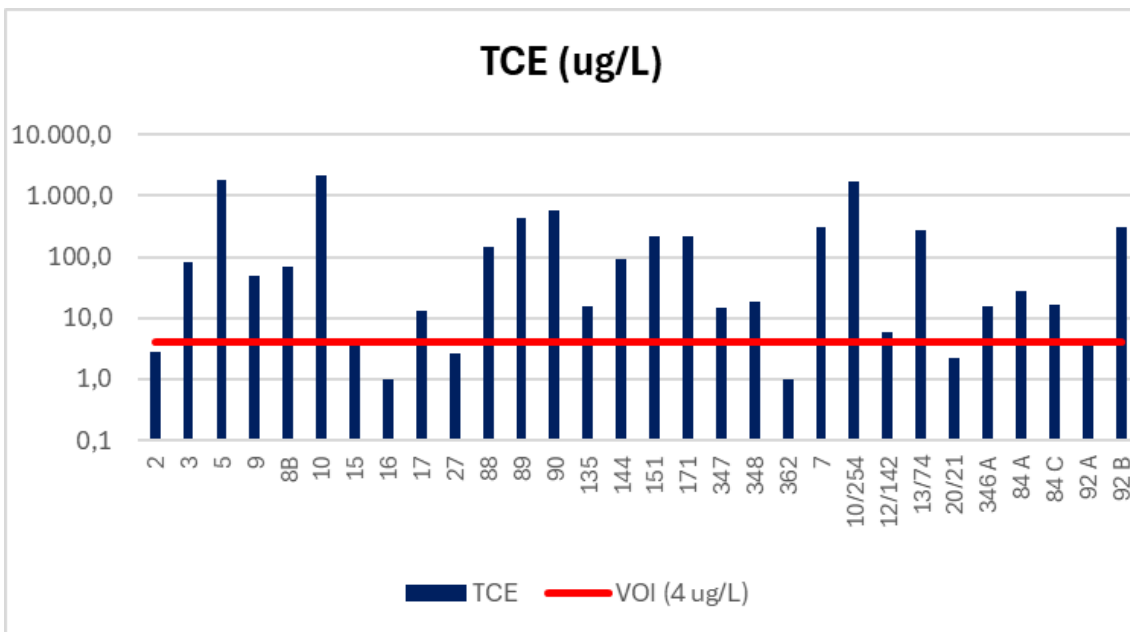


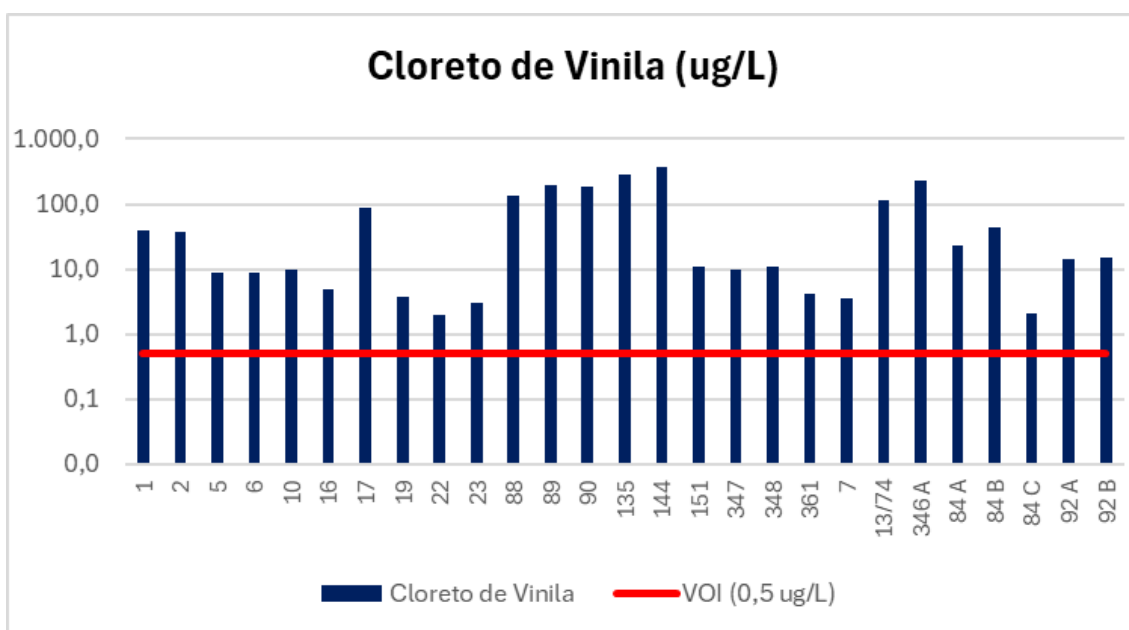
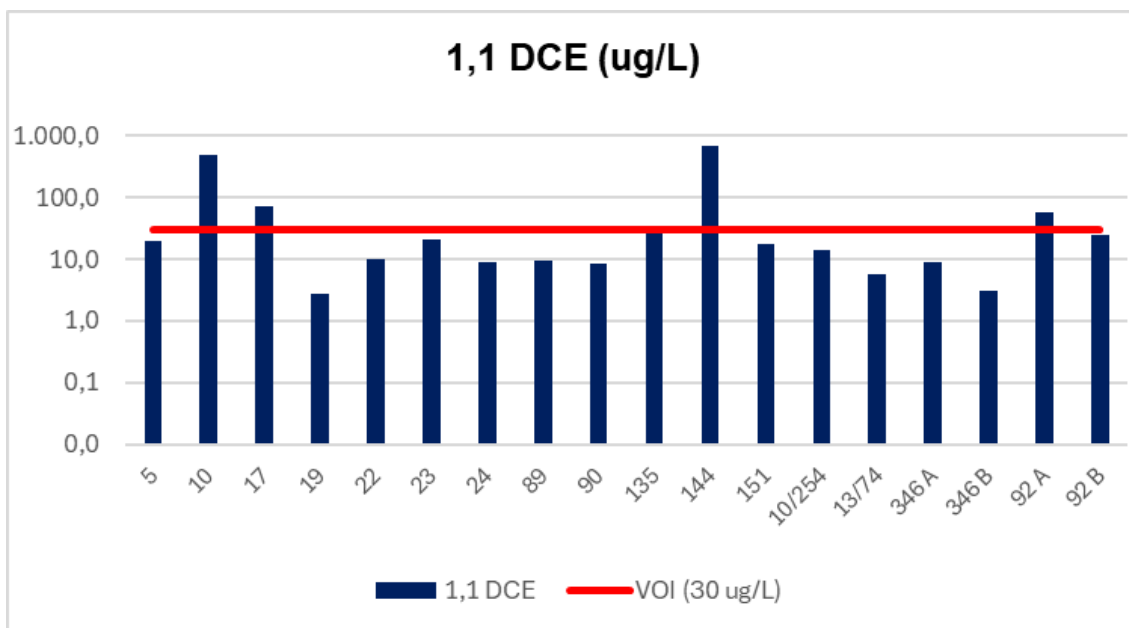
Fonte: DAEE/SERVMAR (2008).

A **Figura 28** foi elaborada com o objetivo de ilustrar os principais resultados obtidos pelo DAEE/SERVMAR. Em todos os gráficos, observam-se concentrações acima do Valor Orientador de Intervenção (VOI), representado pela linha vermelha. A presença concomitante de PCE, TCE, DCEs e CV sugere um processo de degradação anaeróbia dos compostos organoclorados. A distribuição espacial dessas concentrações foi um dos elementos utilizados na definição do traçado da área de controle e restrição de uso da água subterrânea.

Figura 28 – Resultados mais relevantes obtidos por DAEE/SERVMAR





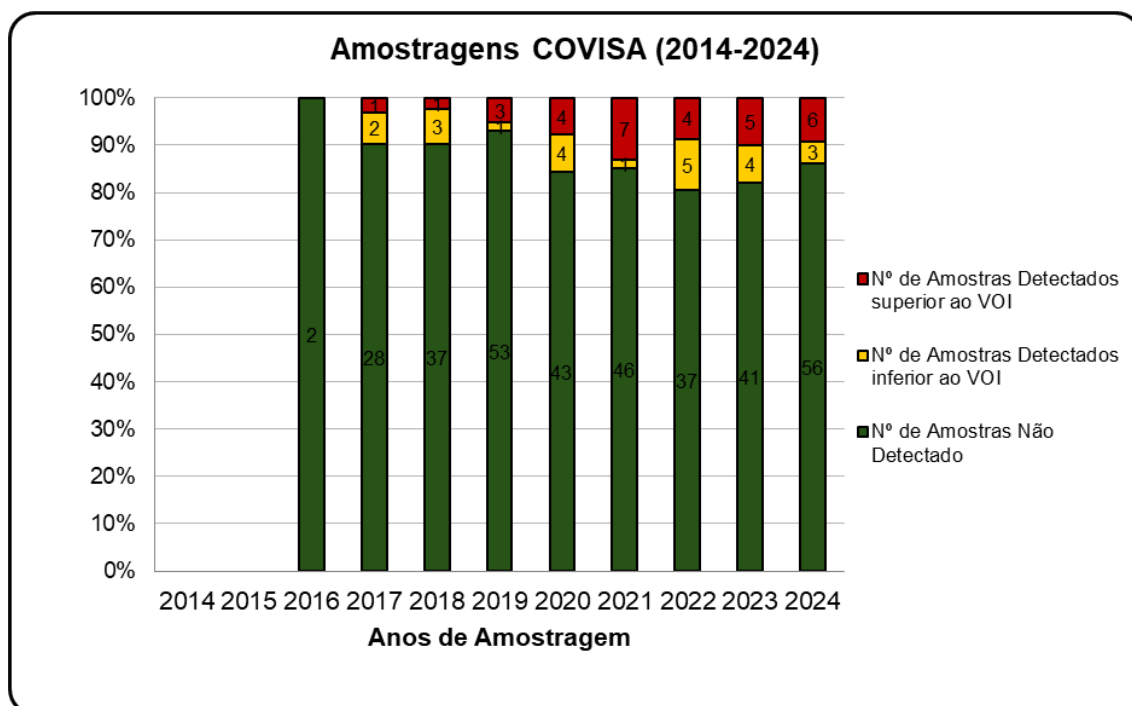


9.1.2. Dados obtidos do monitoramento COVISA

A Coordenação de Vigilância em Saúde (COVISA), do município de São Paulo, realiza periodicamente o monitoramento da qualidade da água subterrânea destinada ao consumo humano. Por esse motivo, a maioria dos poços avaliados encontra-se fora da ARC – Jurubatuba.

A COVISA disponibilizou dados referentes ao período de 2014 a 2024, abrangendo um total de 113 poços e 397 análises químicas. É importante destacar que as planilhas disponibilizadas para os anos de 2014 e 2015 não incluíam informações sobre as análises químicas. A **Figura 29** ilustra a distribuição dessas análises ao longo do período avaliado.

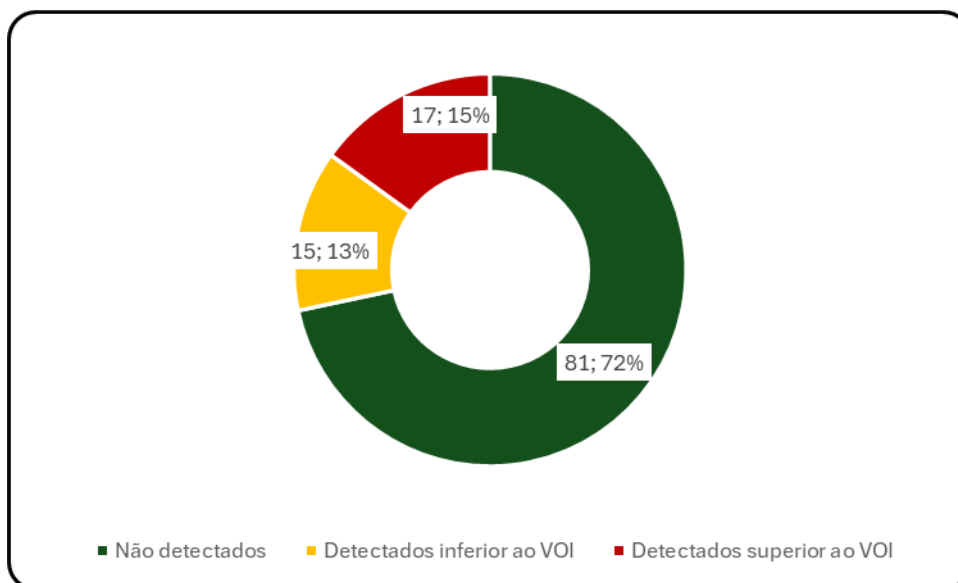
Figura 29 – Distribuição anual de dados do monitoramento analítico efetuado pela COVISA na ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Dos 113 poços analisados quanto à presença de compostos clorados, observou-se que em 81 poços (72%) não ocorreu qualquer detecção desses compostos. Por sua vez, em 32 poços (28%) foram detectadas concentrações dos compostos de interesse - sendo 15 poços (13%) abaixo do VOI e 17 poços (15%) com contrações acima do VOI. Esses resultados estão apresentados em forma gráfica na **Figura 30** e sua distribuição em relação à ARC-Jurubatuba, por sua vez, está mostrada na **Figura 31**.

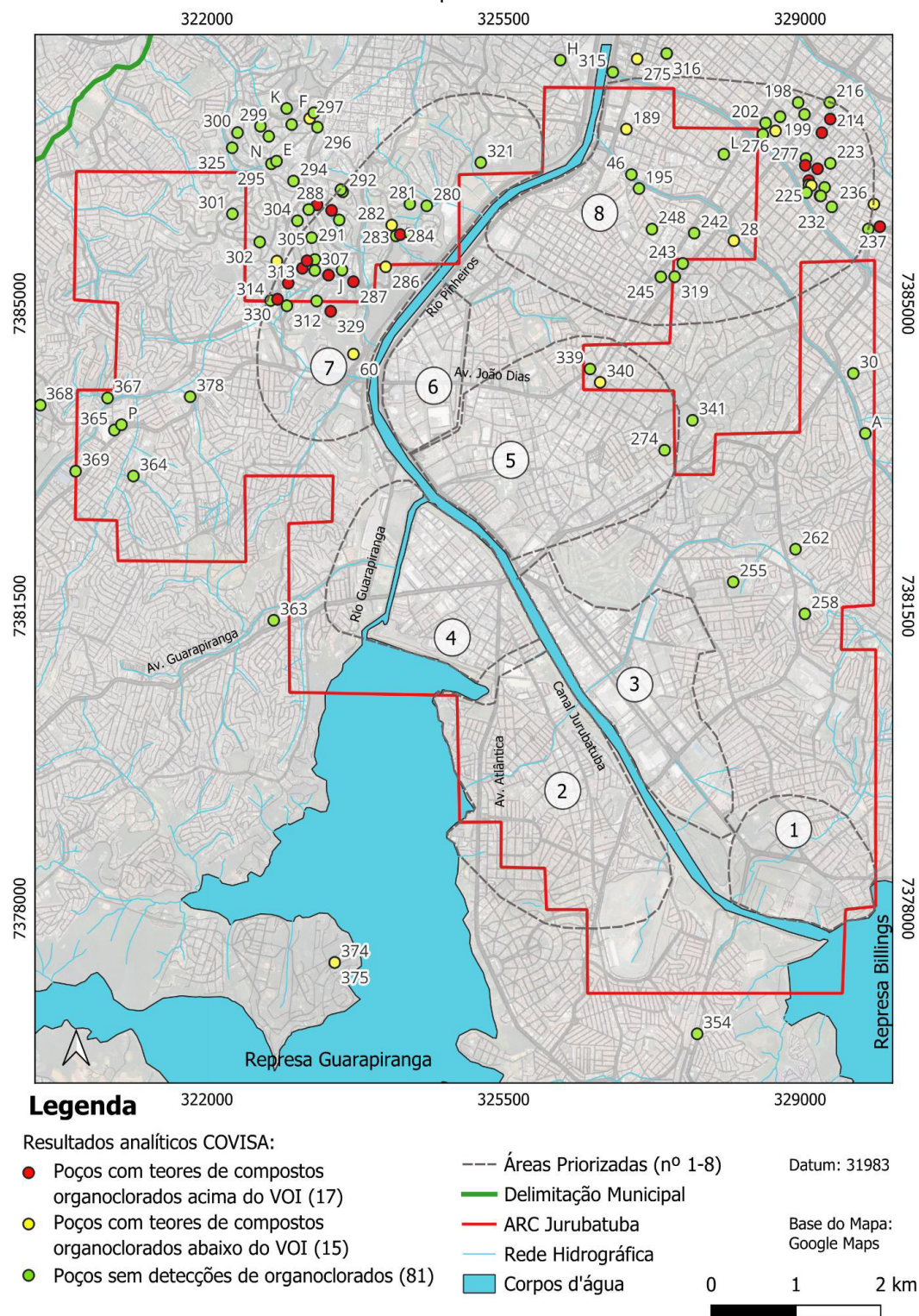
Figura 30 – Número de poços e frequência de resultados analíticos realizados pela COVISA.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

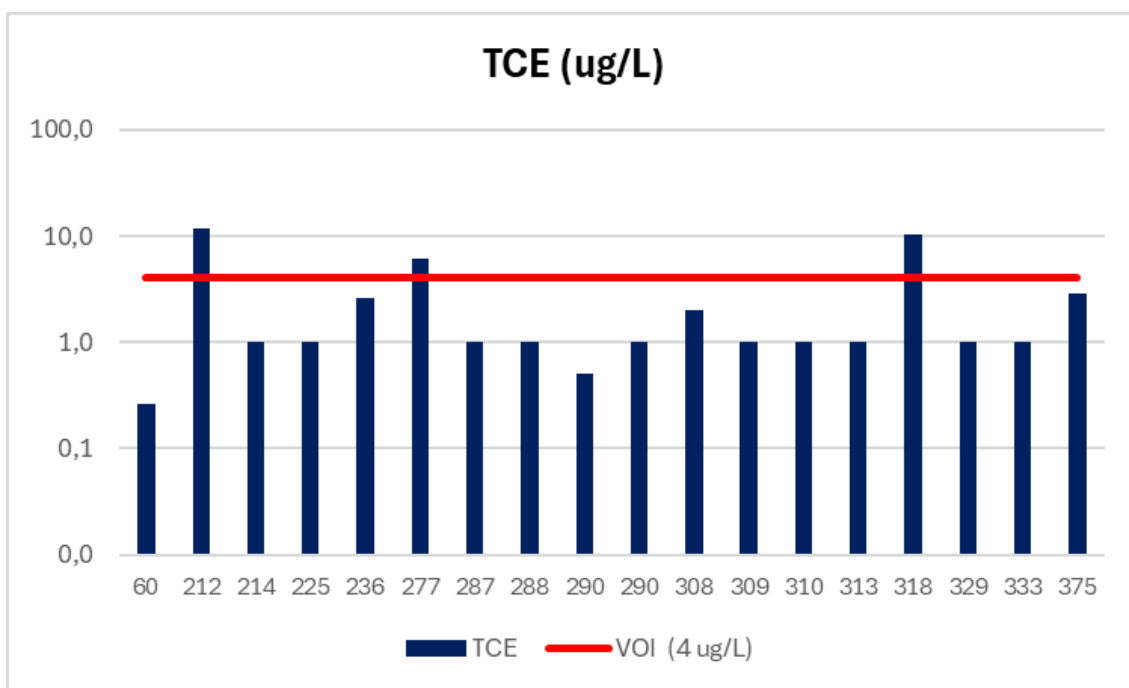
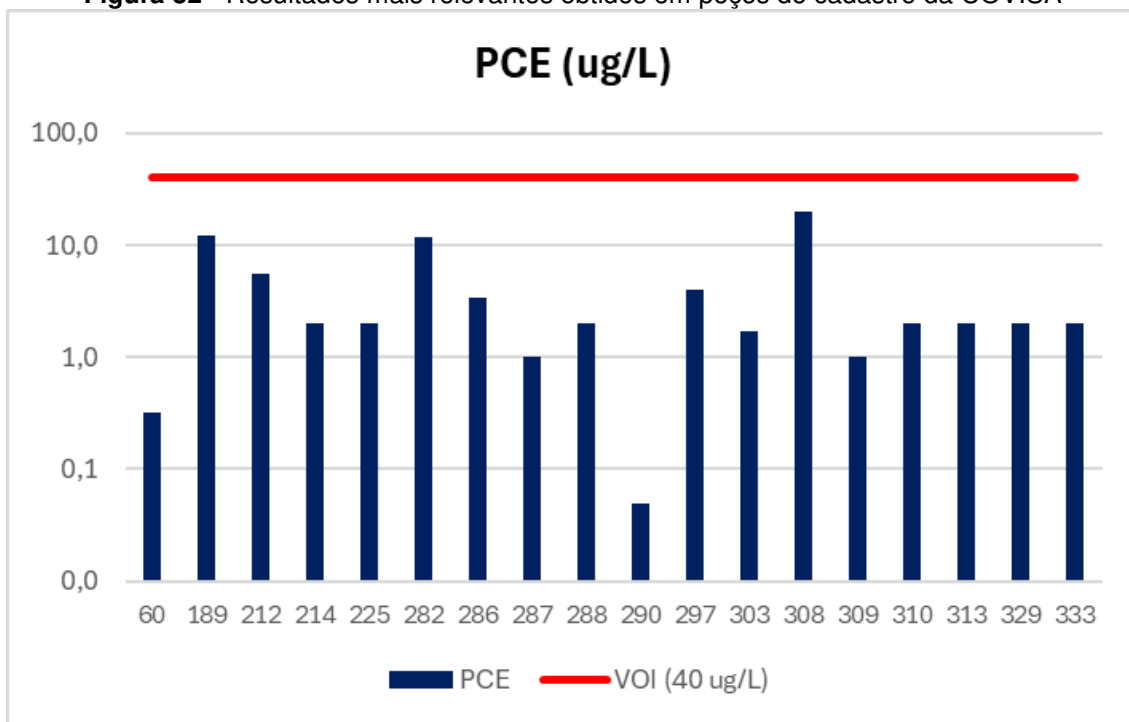
Dentre os compostos clorados identificados em concentrações acima do VOI nos poços monitorados pela COVISA, destacam-se o TCE e o CV. A **Figura 32** apresenta a ocorrência de concentrações de compostos organoclorados ao longo do período analisado, destacando-se as detecções mais relevantes.

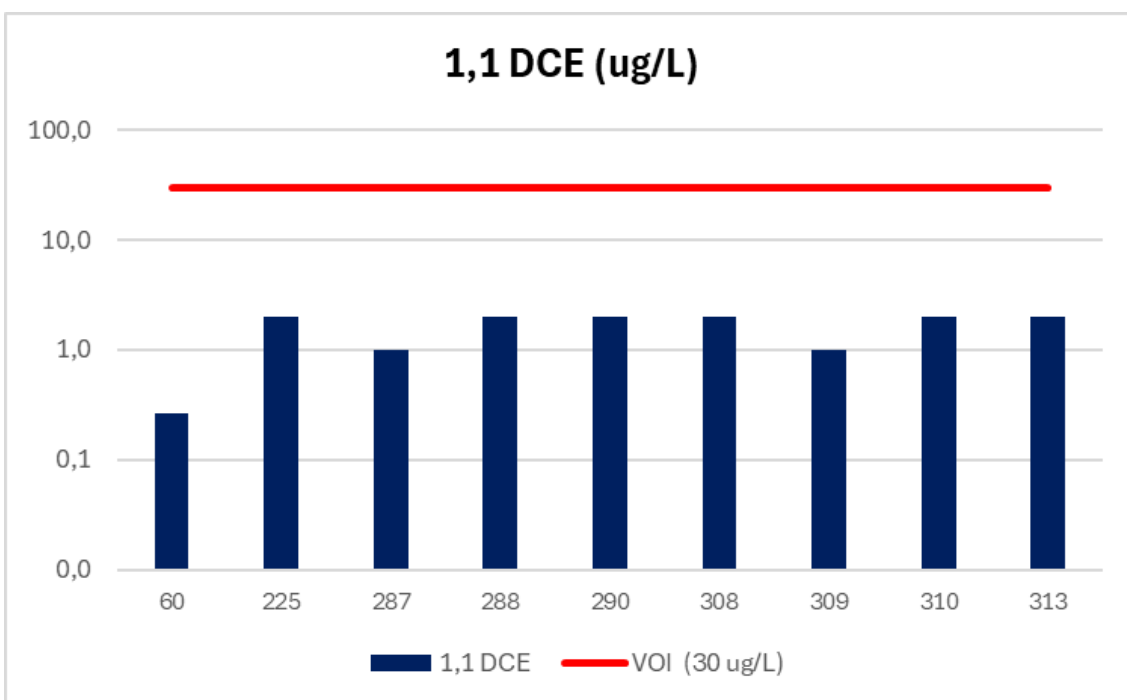
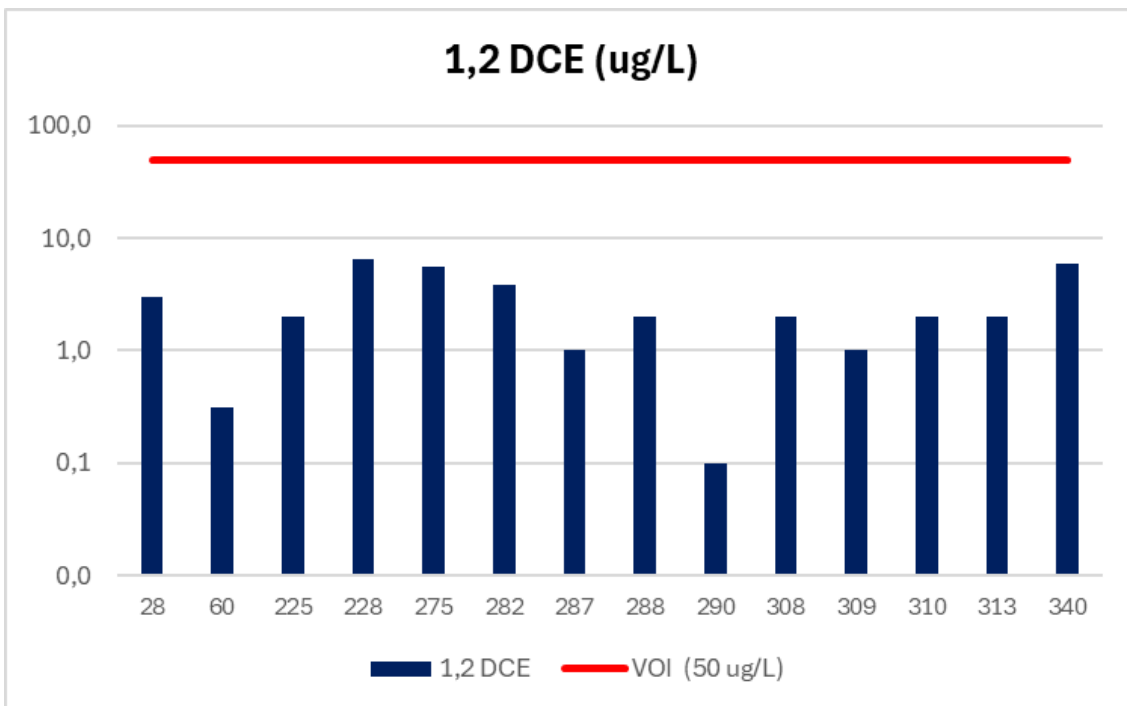
Figura 31 – Mapa de localização dos poços com dados de monitoramento analítico na ARC-Jurubatuba pela COVISA.

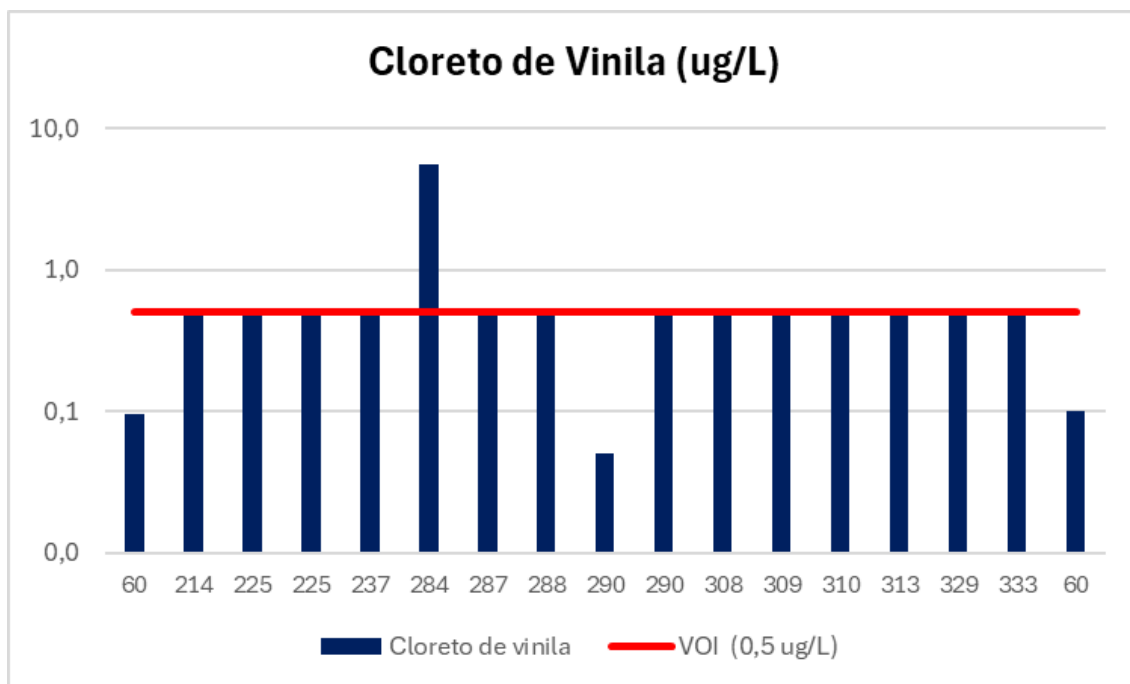


Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 32 - Resultados mais relevantes obtidos em poços do cadastro da COVISA







Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

9.2. Estudo atual da qualidade das águas subterrâneas ARC-Jurubatuba

A seleção dos poços utilizados baseou-se nas condições observadas em campo para cada ponto, considerando sua adequação aos objetivos da investigação proposta, que inclui a amostragem e a realização de análises em campo e em laboratório.

Ao todo, foram selecionados 79 poços na ARC-Jurubatuba para compor a rede de coleta de amostras e para a execução de análises físico-químicas e químicas, seguindo-se os seguintes critérios:

- Distribuição espacial na área, priorizando os poços com informações históricas de análises químicas de compostos organoclorados;
- Proximidade de corpos d'água superficiais (principalmente do canal do Jurubatuba, rio Guarapiranga e rio Pinheiros);
- Importância do poço no contexto histórico regional, levando em

consideração a proximidade de áreas cadastradas como contaminadas por compostos organoclorados e de áreas com mudança de uso, principalmente de industrial para residencial;

- Possibilidade de acesso e autorização para amostragem dos poços; e
- Existência de equipamentos instalados nos poços e com possibilidade de operação, para permitir a coleta.

Vale informar que a rede composta por 79 poços foi apresentada, discutida e aprovada na reunião do GAT (Grupo de Acompanhamento Técnico) no dia 02 de outubro de 2024 e também durante reuniões de alinhamento ao longo de 2025 entre a equipe do projeto, Geoinovações e FABHAT.

Destaca-se que ao longo das atividades de campo ocorreram modificações (substituições ou adições) de poços inicialmente previstos, como decorrência da impossibilidade de se confirmar a utilização do ponto devido principalmente à não autorização de acesso aos locais, as quais também foram submetidas e aprovadas previamente.

9.2.1. Etapa de Campo

A amostragem de águas subterrâneas foi realizada entre os dias 26 de novembro de 2024 e 23 de julho de 2025. A coleta foi conduzida pela empresa AD Ambiental, seguindo às exigências da CETESB descritas na Decisão de Diretoria (DD) Nº 009/2016/E/C/I de 14/01/2016 (CETESB, 2016) a respeito de serviços de amostragens ambientais, onde se faz referência as Resoluções SMA Nº 942015 (SMA, 2015) e SMA Nº 1002013 (SMA, 2013). O **Anexo 9** apresenta os relatórios de ensaio, elaborados de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 (ABNT, 2005) e acreditado pela CGCRE (Coordenação Geral de Acreditação) do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), conforme certificado de acreditação CRL nº 1178 apresentado no **Anexo 10**.

Todas as amostras foram acondicionadas em frascos específicos e conservadas em refrigeração inferior à 5°C, registradas em cadeia de custódia, e entregues ao laboratório Centro de Biologia Experimental Oceanus, o qual possui acreditação segundo a NBR/ISO/IEC (Norma Brasileira/*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*) nos termos exigidos pela ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 (ABNT, 2005), para as SQI (Substâncias Químicas de Interesse) selecionadas, conforme certificado de acreditação CRL nº 0306 apresentado no **Anexo 10**.

O transporte das amostras foi acompanhado pelas respectivas cadeias de custódia, que se encontram no **Anexo 11**, de modo a assegurar seu recebimento dentro dos padrões de qualidade estabelecidos (integridade, validade e rastreabilidade das amostras).

A amostragem foi realizada, preferencialmente, por meio do sistema de bombeamento já instalado no próprio poço. Para viabilizar a coleta, foi acoplada uma mangueira/tubo de polietileno de baixa densidade (PEBD), com diâmetro de ¼ de polegada, à saída do poço. Esta, por sua vez, foi conectada a uma célula de fluxo para o monitoramento de campo dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea (pH, temperatura, oxigênio dissolvido, potencial de oxirredução e condutividade elétrica).

Ressalta-se que as amostragens foram realizadas na primeira saída de água diretamente do poço, sem que esta tenha passado por caixa d'água, outro reservatório e/ou por algum tipo de tratamento. Essa medida é adotada para minimizar a volatilidade dos compostos organoclorados e ao risco de alteração na composição da amostra causado por possíveis contaminantes presentes nesses reservatórios.

Em 04 poços (357, 67, 131 e 75) sem equipamento, ou seja, sem bomba instalada, foi adotado o método de amostragem por baixa vazão (*low flow sampling*), seguindo as diretrizes estabelecidas na NBR 15.847 (ABNT, 2010). Basicamente, o método de baixa vazão consiste em coletar as amostras utilizando-se bombas de vazão controlável. Dessa forma, a renovação da água

ocorre a uma vazão próxima à capacidade de produção do poço, permitindo a coleta de uma amostra representativa do aquífero, com baixa concentração de sólidos em suspensão e mínima desgaseificação e volatilização.

Nos 05 poços perfilados (84A, 84C, 85, 104 e 320B) foi realizada a coleta concomitante à perfilagem geofísica com o apoio de uma bomba submersa, possibilitando a comparação entre os resultados das amostras estratificadas e amostras diluídas.

O poço 346 é do tipo Multinível Westbay, que requer uma metodologia específica para a coleta de água. Este poço possui 16 portas distribuídas entre as profundidades de 15,3 m a 55,5 m, sendo que a coleta foi realizada na porta mais profunda, a de 55,5 m. A opção pela coleta de água nessa porta foi efetuada tendo em vista objetivos do estudo, ou seja, ampliação do conhecimento hidroquímico das porções mais profundas das unidades aquíferas da área de estudo, no caso do Sistema Aquífero Cristalino (SAC).

A coleta no poço 346 foi conduzida utilizando-se uma sonda amostradora (MOSDAX – Sistema Westbay Instruments) conectada a um canister com capacidade de 250 mL. Esse reservatório de aço inoxidável estava acoplado a tubos flexíveis com extremidades metálicas vedadas com o-rings, garantindo a vedação do sistema. Todo o sistema foi operado por um controlador computadorizado na superfície, responsável pela operação das válvulas e suportes do equipamento. Antes de se iniciar a coleta, tanto a sonda quanto os componentes associados foram cuidadosamente descontaminados e pressurizados para preservar a integridade das amostras.

O **Quadro 16** apresenta a rede de poços amostrados e a justificativa para a inclusão na composição da malha de amostragem. Por sua vez, a **Figura 33** ilustra a distribuição em mapa dos poços selecionados para a Rede de Monitoramento.

Quadro 16 - Malha de amostragem e justificativas para a seleção dos poços

ID IPT	Metodologia de Amostragem	Justificativa da seleção do poço	Situação do poço	Tipo de Uso
14	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Irrigação
28	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
35	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 2	Ativo	Irrigação
48	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
49	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 4	Ativo	Industrial
50	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 5	Ativo	Doméstico
58	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Industrial
60 A	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 7	Ativo	Comercial/Sanitário
60 B	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 7	Ativo	Comercial/Sanitário
74	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 4	Ativo	Industrial
75	Baixa Vazão	Próximo às Áreas Priorizadas 3 e 5	Desativado	Doméstico
85	Concomitante à perfilagem	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 3	Desativado	Comercial/Sanitário
103	Torneira	Localizado na Área Priorizada 3	Ativo	Comercial/Sanitário
104	Concomitante à perfilagem	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 3	Desativado	Comercial/Sanitário
131	Baixa Vazão	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 6	Desativado	Comercial/Sanitário
160	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
163	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
174	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 4	Desativado	Industrial
182	Torneira	Localizado na Área Priorizada 2	Ativo	Doméstico
187	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 8	Ativo	Comercial/Sanitário
200	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
208	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
214	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
215	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
222	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
226	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
230	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
232	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Irrigação
235	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Doméstico
236	Torneira	Localizado na Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico
238	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
248	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 8	Ativo	Doméstico

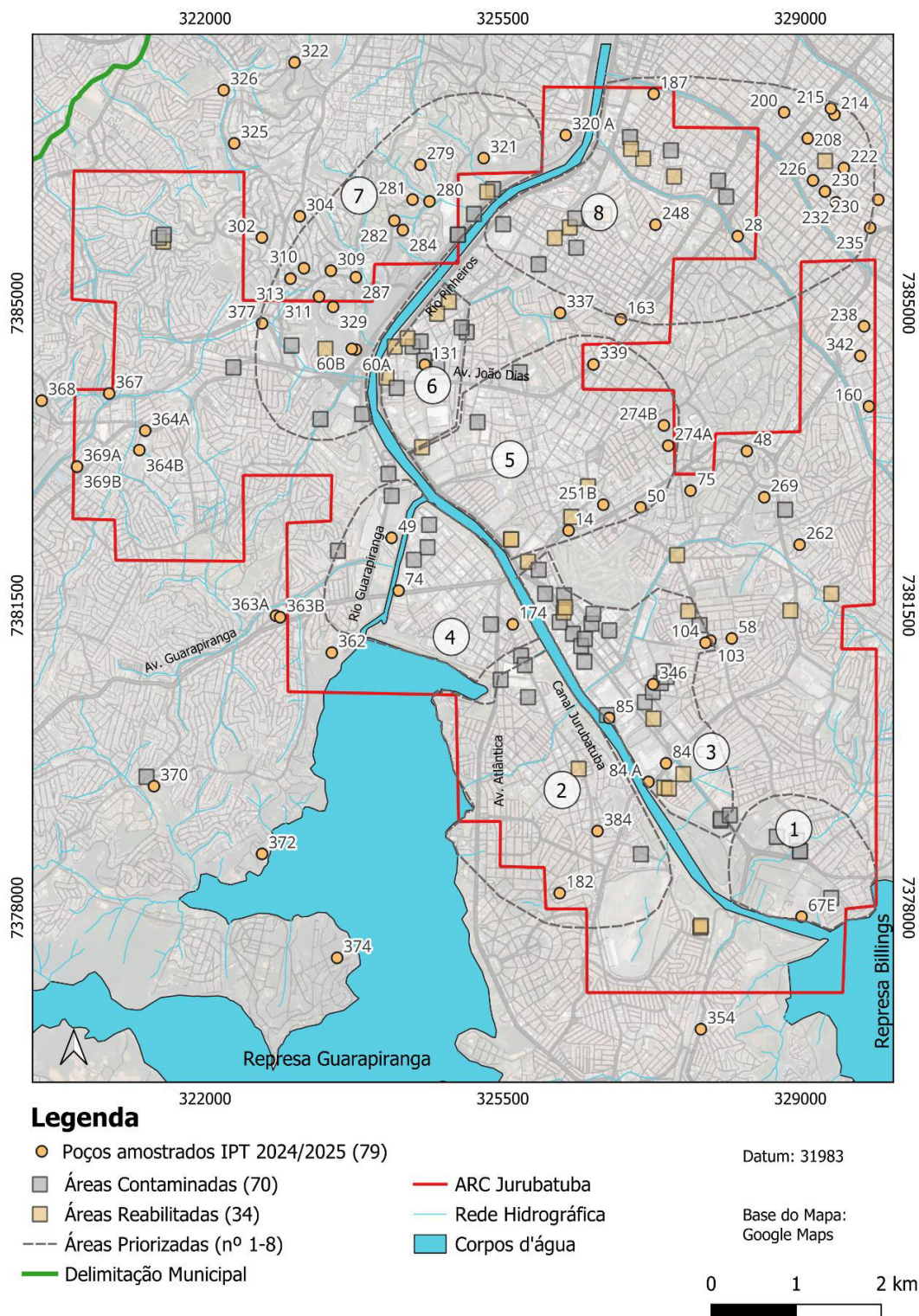
ID IPT	Metodologia de Amostragem	Justificativa da seleção do poço	Situação do poço	Tipo de Uso
262	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
269	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
274 A	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 5	Ativo	Doméstico
274 B	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 5	Ativo	Doméstico
279	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
280	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
281	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
282	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
284	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Irrigação
287	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
302	Torneira	Próximo a Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
304	Torneira	Próximo a Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
309	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
310	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
311	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
313	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Comercial/Sanitário
321	Torneira	Localizado na Área Priorizada 7	Ativo	Doméstico
322	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Comercial/Sanitário
325	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Doméstico
326	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Doméstico
329	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
337	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
339	Torneira	Localizado na Área Priorizada 5	Ativo	Doméstico
342	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Irrigação
346	Sonda Westbay	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 3	NA	NA
354	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Comercial/Sanitário
357	Baixa Vazão	Localizado na Área Priorizada 2	Desativado	Comercial/Sanitário
362	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Recreação
363 A	Torneira	Próximo ao limite da ARC Jurubatuba	Ativo	Comercial/Sanitário
363 B	Torneira	Próximo ao limite da ARC Jurubatuba	Ativo	Comercial/Sanitário
364 A	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Desativado	Recreação
364 B	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Recreação

ID IPT	Metodologia de Amostragem	Justificativa da seleção do poço	Situação do poço	Tipo de Uso
367	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Comercial/Sanitário
368	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Comercial/Sanitário
369 A	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
369 B	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba	Ativo	Doméstico
372	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Comercial/Sanitário
374	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Ativo	Doméstico
377	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 7	Ativo	Industrial
384	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 2	Ativo	Comercial/Sanitário
251 A	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 5	Ativo	Industrial
251 B	Torneira	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 5	Ativo	Industrial
320 A	Concomitante à perfilagem	Próximo ao limite da ARC Jurubatuba	Desativado	Comercial/Sanitário
370/371	Torneira	Adequação para adensamento da rede de amostragem	Desativado	Comercial/Sanitário
67 E	Baixa Vazão	Localizado na Área Priorizada 2	Desativado	Comercial/Sanitário
84 A	Concomitante à perfilagem	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 3	Desativado	Industrial
84 C	Concomitante à perfilagem	Localizado na ARC Jurubatuba e Área Priorizada 3	Desativado	Industrial

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

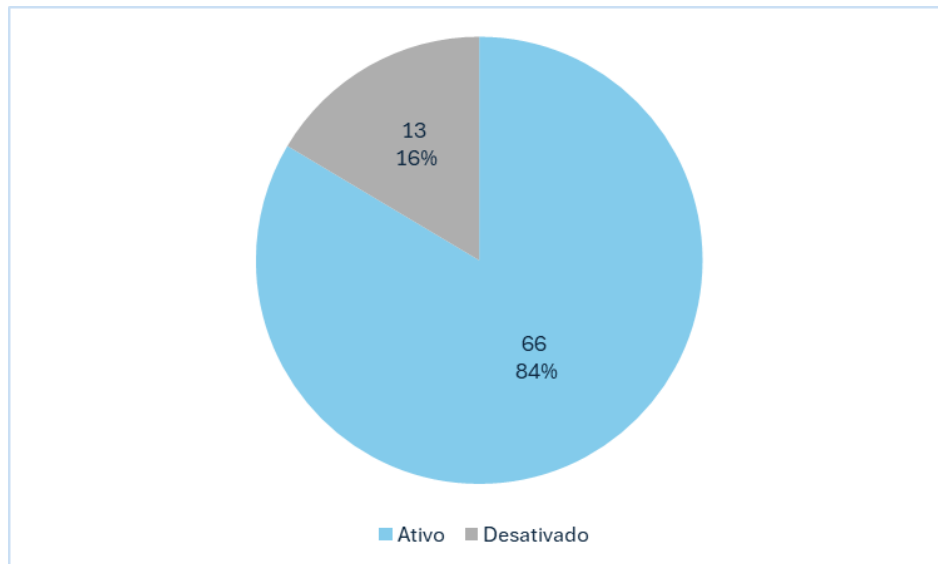
A **Figura 34** e **Figura 35** apresentam, respectivamente, a proporção de poços ativos e desativados e a finalidade de uso dos poços ativos amostrados.

Figura 33 – Mapa da Rede de Poços de Monitoramento da ARC-Jurubatuba.



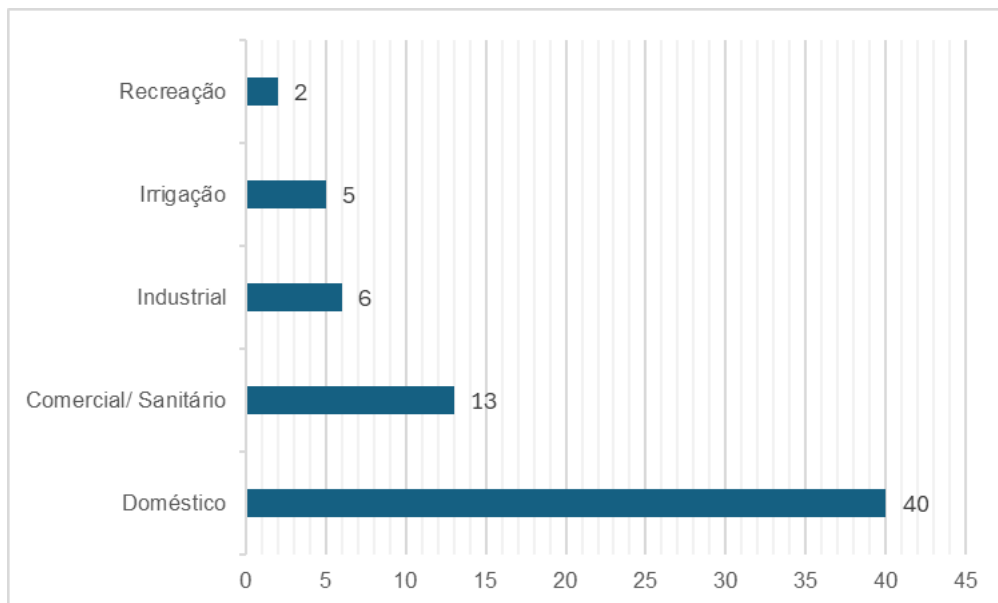
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 34 – Situação dos Poços Amostrados (ativos x desativados)



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 35 – Tipo de Uso dos Poços Amostrados



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

9.2.2. Resultados analíticos

Durante a coleta das amostras de água subterrânea foram monitorados *in situ* os parâmetros físico-químicos: temperatura (T), condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxi-redução (ORP), oxigênio dissolvido (OD) e turbidez. O **Quadro 17** apresenta os parâmetros físico-químicos medidos *in situ*.

A condutividade elétrica é a capacidade da água conduzir corrente elétrica, estando diretamente vinculada ao teor de sais dissolvidos sob a forma de íons e, dessa forma, quanto maior a concentração iônica, maior sua condutividade elétrica. O valor médio observado foi de 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, variando entre 17 (poço 50) e 898 (Poço 322) (**Figura 36**).

O Potencial de Oxirredução (ORP) representa a tendência de transferência de elétrons entre reagentes e produtos. As medições realizadas *in situ* variaram de -123,7 mV (Poço 84C) a +330,2 mV (Poço 190), conforme apresentado na **Figura 37**. De modo geral, observa-se a predominância de condições oxidantes, evidenciada pela maior frequência de valores positivos.

A concentração de oxigênio dissolvido na água é influenciada pela temperatura e pela pressão atmosférica: quanto maior a pressão, maior a solubilidade do gás; já temperaturas mais elevadas reduzem sua dissolução. As leituras obtidas apresentaram média de 3,9 mg/L (**Figura 38**), com valores variando entre 0,06 e 12,1 mg/L. Os resultados acima de 9,0 mg/L, observados nos poços 377 (9,9 mg/L), 281 (9,3 mg/L) e 363B (12,1 mg/L), podem estar associados a alguma anomalia durante a medição. Por esse motivo, tais valores foram desconsiderados no cálculo da média.

Quanto à temperatura medida *in situ* em amostras de águas subterrâneas dentre os poços analisados, observou-se um valor médio de 23,80°C (**Figura 39**).

Dentre os parâmetros físico-químicos analisados e comparando-os aos valores de referência estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 (Ministério da

Saúde, 2021), destacam-se o pH e a turbidez. Ressalta-se que os limites definidos pela portaria foram utilizados apenas como referência, uma vez que a maior parte dos poços avaliados está situada na ARC-Jurubatuba, onde não é permitida a utilização da água para consumo humano.

O pH, indicador do grau de acidez ou alcalinidade da água, deve situar-se entre 6,0 e 9,5 segundo a referida norma. No presente estudo, as medições variaram de 3,4 (Poço 48) a 9,1 (Poço 279), sendo identificados 25 poços com características ácidas (pH inferior a 6,0). A **Figura 40** apresenta os resultados obtidos nas medições realizadas *in situ*.

A turbidez, por sua vez, corresponde à redução da transparência da água provocada pela presença de partículas em suspensão que dificultam a passagem da luz. Nas medições *in situ*, os valores variaram de 0,04 NTU a 49,88 NTU. De acordo com a Portaria GM/MS nº 888 (Ministério da Saúde, 2021), águas destinadas ao consumo humano devem apresentar turbidez inferior a 5,0 NTU. No presente estudo, 10 poços registraram valores acima desse limite, sendo cinco localizados na ARC-Jurubatuba — onde o uso para consumo humano é proibido — e cinco situados fora dessa área. **A Figura 41** apresenta esses resultados em formato gráfico.

Quadro 17– Parâmetros físico-químicos medidos *in situ* nos poços amostrados

Nº Poço	CE (µS/cm)	ORP (mV)	OD (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
14	70	187,1	4,4	4,0	23,1	0,8
58	239	162,1	4,7	6,2	23,5	5,4
160	142	188,9	5,2	6,3	23,2	0,3
238	100	152,9	4,7	6,0	24,7	0,6
269	231	101,8	4,1	6,2	25,0	0,2
187	289	185,0	4,7	7,1	26,0	2,4
232	174	199,2	5,0	3,8	23,5	0,7
236	113	241,7	3,6	4,1	25,1	0,7
248	249	189,2	4,9	6,5	24,8	0,6
274 A	76	229,4	5,2	3,9	22,9	1,8
274 B	47	216,6	5,1	4,3	23,3	0,3
163	224	259,5	2,5	6,8	25,3	3,1
200	271	250,8	4,3	5,7	26,0	1,4
208	257	215,5	3,6	3,9	25,2	0,4

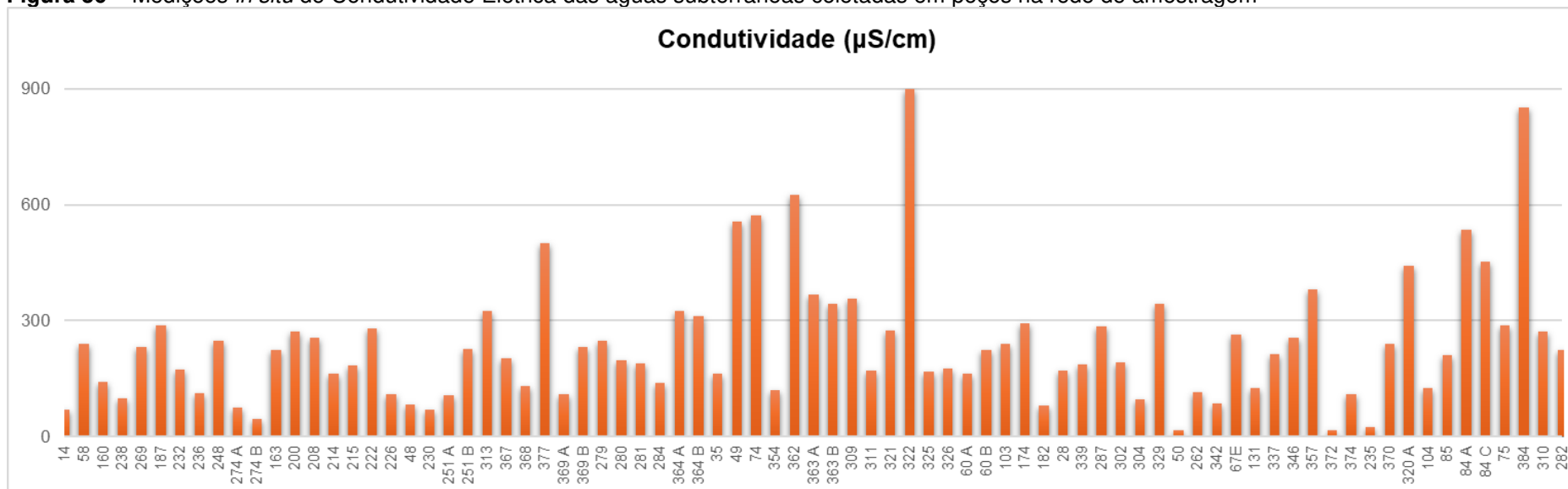
Nº Poço	CE (µS/cm)	ORP (mV)	OD (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
214	163	257,7	3,0	4,6	24,0	1,5
215	184	257,3	6,0	5,4	23,7	0,7
222	281	242,2	4,2	4,0	24,3	0,6
226	111	260,2	5,8	4,9	23,5	0,1
48	83	226,0	4,1	3,4	22,8	1,3
230	70	265,6	5,7	4,5	22,2	0,8
251 A	107	273,7	3,8	3,6	23,6	1,6
251 B	228	180,5	2,8	8,2	25,8	1,0
313	325	211,0	3,5	6,1	24,4	3,7
367	202	223,9	6,2	6,4	23,8	0,3
368	131	264,0	6,1	6,3	22,6	6,4
377	501	192,7	9,9	6,6	24,4	0,4
369 A	111	232,9	6,6	6,1	24,8	0,4
369 B	233	220,1	6,5	6,4	24,4	2,6
279	247	307,7	3,5	9,1	25,4	1,1
280	198	203,3	5,6	8,5	23,5	3,2
281	190	330,2	9,3	7,5	23,4	25,8
284	140	248,7	2,8	6,5	23,3	10,1
364 A	325	287,7	4,3	6,2	23,3	0,2
364 B	311	281,7	3,8	5,9	23,0	1,0
35	164	123,3	3,0	6,4	24,0	9,5
49	556	94,7	2,2	7,5	22,6	0,2
74	572	-41,8	2,1	6,3	21,9	0,6
354	121	174,7	2,9	6,7	22,7	1,3
362	626	154,8	3,4	6,1	21,3	0,2
363 A	367	138,1	5,4	6,5	23,2	2,2
363 B	343	152,9	12,1	5,7	24,0	14,1
309	358	203,4	2,2	5,9	23,6	0,1
311	172	197,7	5,1	6,4	23,4	1,1
321	274	273,1	4,6	8,5	25,9	0,0
322	898	106,2	5,2	6,0	22,0	0,4
325	168,4	165,3	3,2	6,5	21,4	1,1
326	175	207,3	5,6	5,6	22,2	0,0
60 A	164	89,6	2,7	7,0	23,7	35,9
60 B	225	149,7	5,1	5,8	23,5	1,0
103	241	155,0	2,8	6,4	23,9	3,8
174	294	157,6	4,6	7,6	23,2	0,9
182	80	178,7	5,9	7,0	22,6	0,6
28	171	169,3	5,1	6,5	23,7	3,0
339	188	144,0	3,7	7,6	23,9	4,0
287	286	0,8	6,7	6,7	22,8	1,2

Nº Poço	CE (µS/cm)	ORP (mV)	OD (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
302	192	50,8	6,7	7,0	22,4	0,2
304	97	75,0	6,5	7,7	23,0	0,9
329	344	-28,7	6,4	7,9	23,7	1,8
50	17	145,6	2,9	5,5	25,9	49,9
262	115	74,1	2,4	6,4	28,8	2,5
342	85	108,7	2,3	6,0	25,2	2,0
67E	265	-39,2	1,7	7,4	27,0	26,6
131	126	104,1	1,8	6,0	25,1	1,4
337	213	47,3	1,8	6,9	23,5	5,7
346	256	118,1	2,9	5,8	29,6	2,0
357	380	91,3	1,9	6,3	24,4	4,7
372	18	105,1	3,4	6,7	26,9	1,3
374	109	98,2	2,4	6,6	25,0	3,2
235	25	122,0	2,0	6,1	23,8	0,3
370	239	164,2	1,8	5,9	23,0	0,5
320 A	442	186,8	3,9	7,2	21,6	*
104	125	213,3	1,1	6,5	21,7	*
85	211	165,3	0,6	6,7	22,6	*
84 A	535	-109,0	1,3	7,1	20,5	*
84 C	452	-123,7	1,7	6,4	23,4	*
75	289	244,8	1,6	4,2	23,0	1,2
384	851	276,4	3,9	5,4	20,4	1,1
310	272	191,4	3,8	6,4	23,3	0,6
282	224	158,7	2,5	6,1	22,6	1,0

*Parâmetro não monitorado *in situ*, amostragem foi realizada durante a perfilagem geofísica

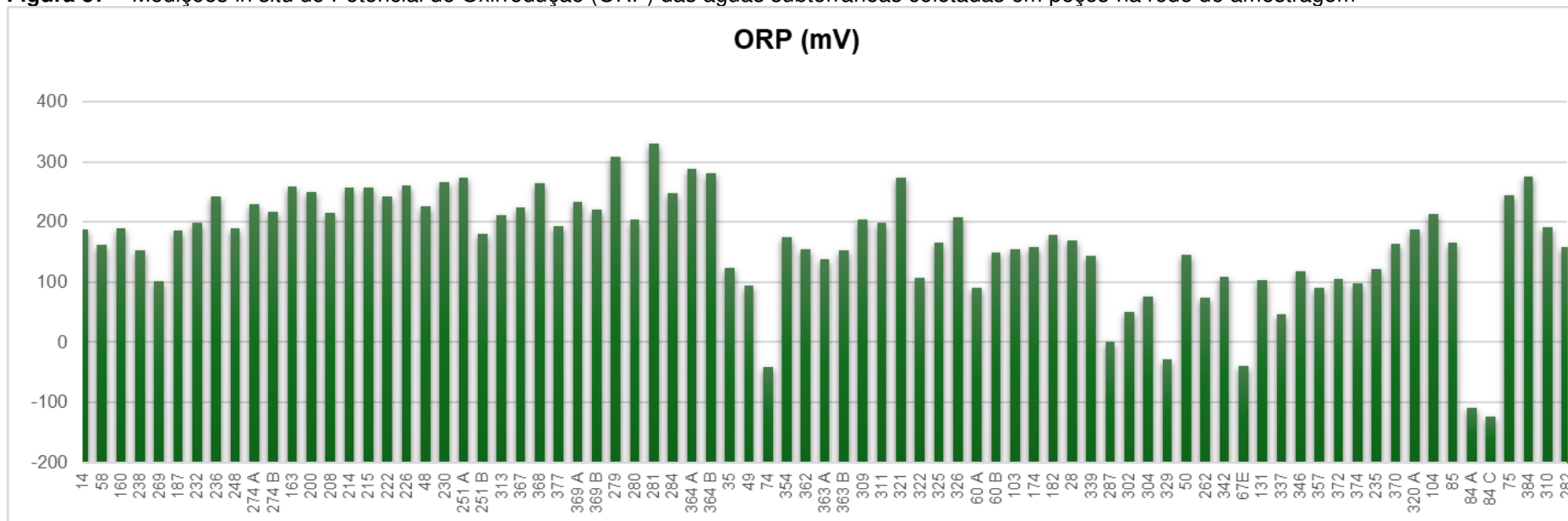
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 36 – Medições *in situ* de Condutividade Elétrica das águas subterrâneas coletadas em poços na rede de amostragem



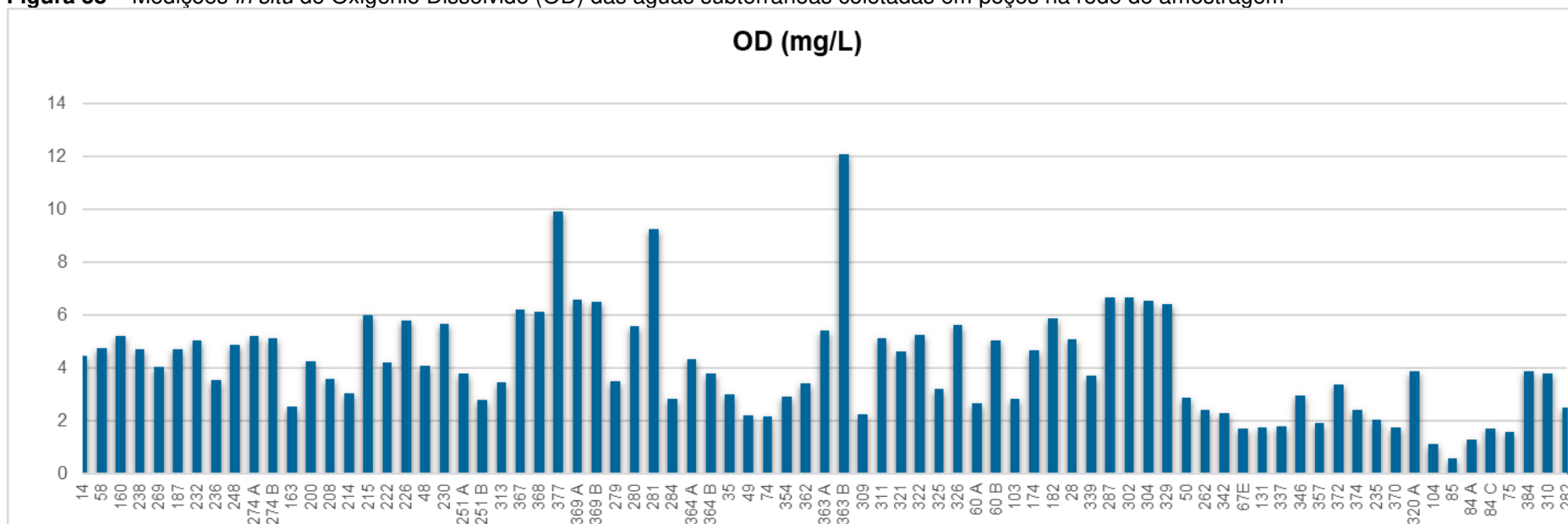
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 37 – Medições *in situ* de Potencial de Oxirredução (ORP) das águas subterrâneas coletadas em poços na rede de amostragem



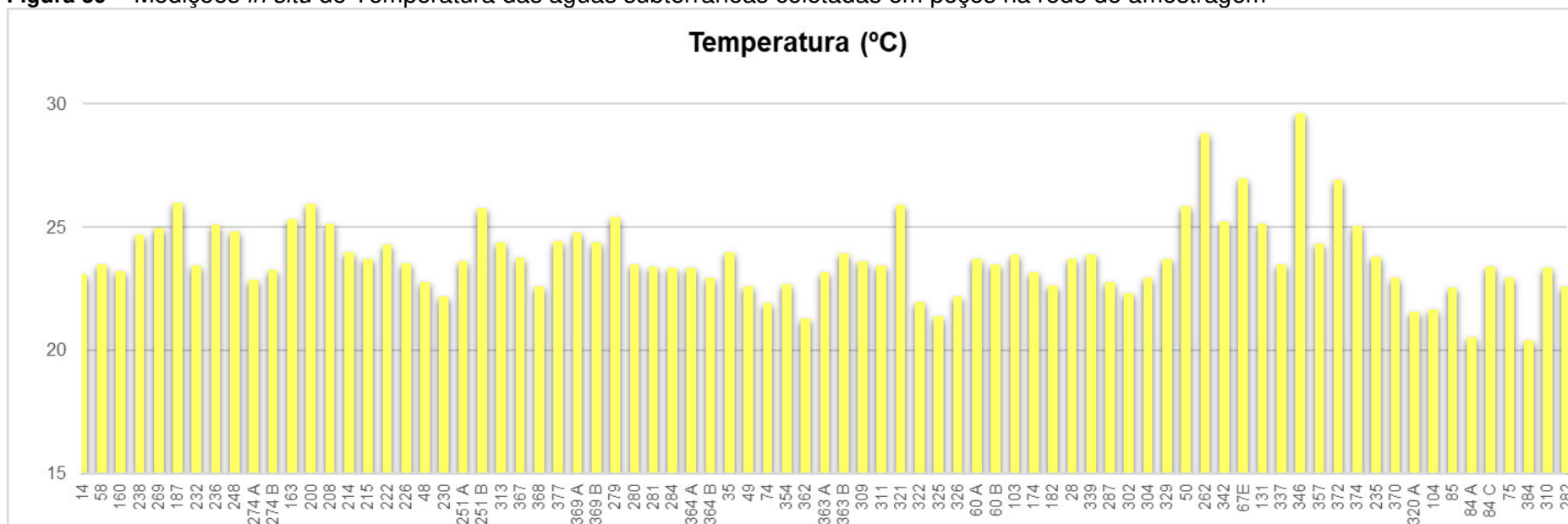
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 38 – Medições *in situ* de Oxigênio Dissolvido (OD) das águas subterrâneas coletadas em poços na rede de amostragem



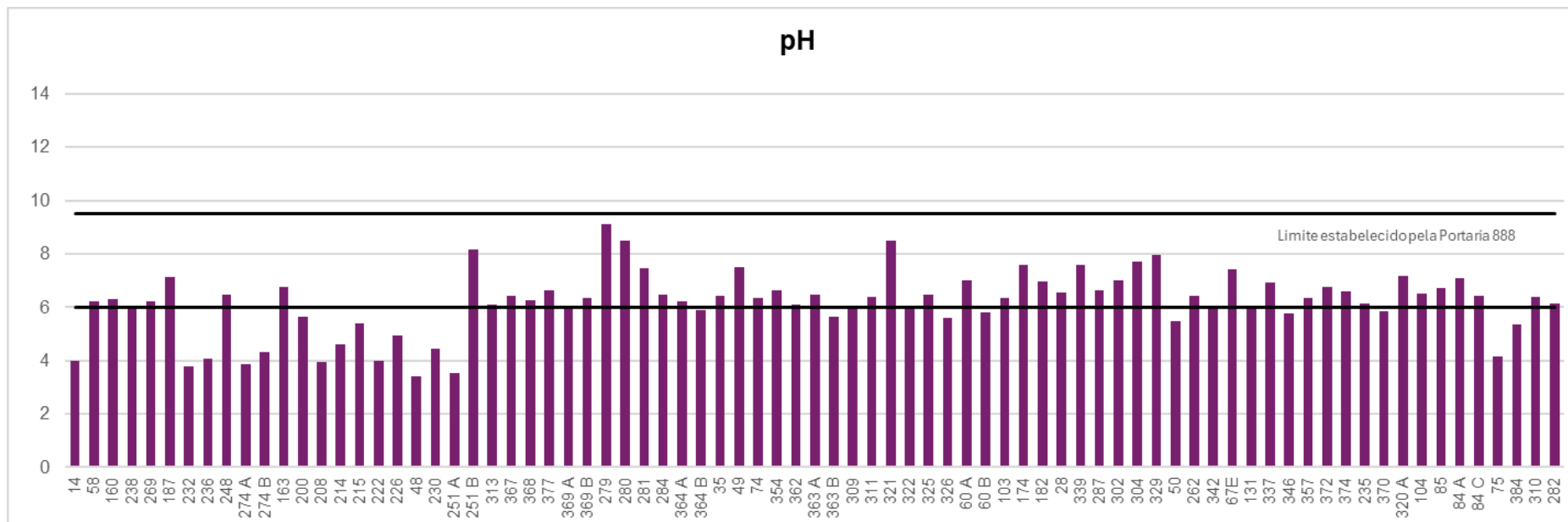
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 39 – Medições *in situ* de Temperatura das águas subterrâneas coletadas em poços na rede de amostragem



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

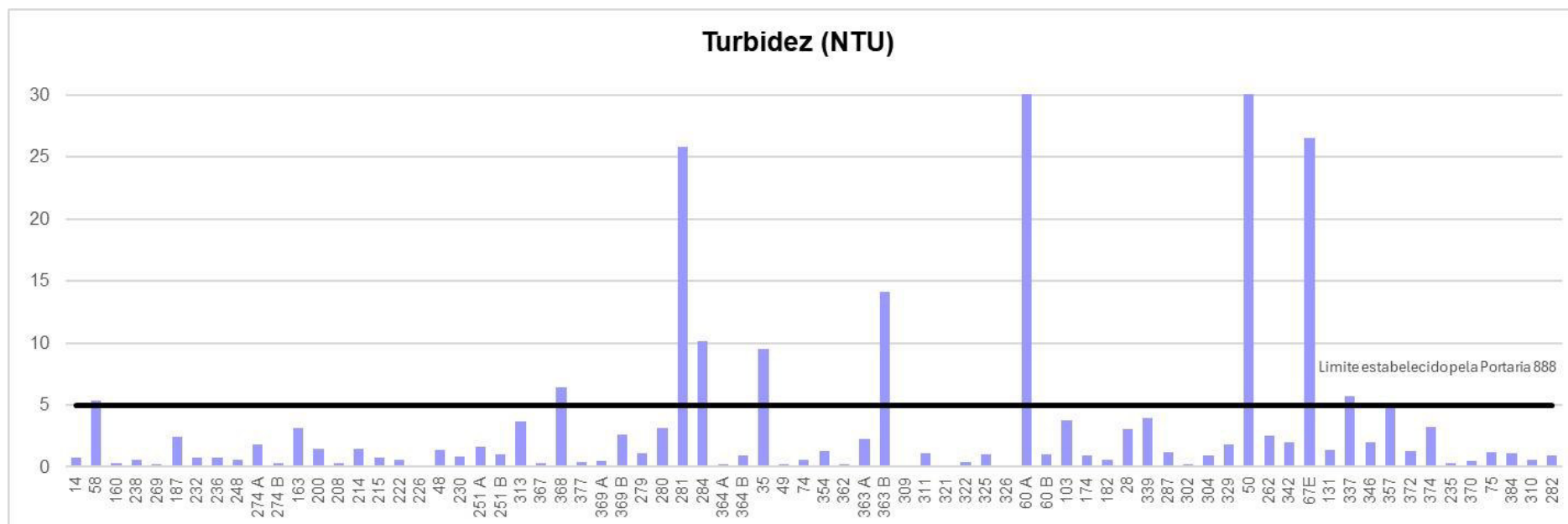
Figura 40 – Medições *in situ* de pH das águas subterrâneas coletadas em poços na rede de amostragem



Observação: A linha preta inferior representa o limite mínimo (pH=6,0) e a superior, o limite máximo (pH=9,5) estabelecidos pelas Portaria 888 (Ministério da Saúde, 2021).

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 41 – Medições *in situ* de Turbidez das águas subterrâneas coletadas em poços na rede de amostragem

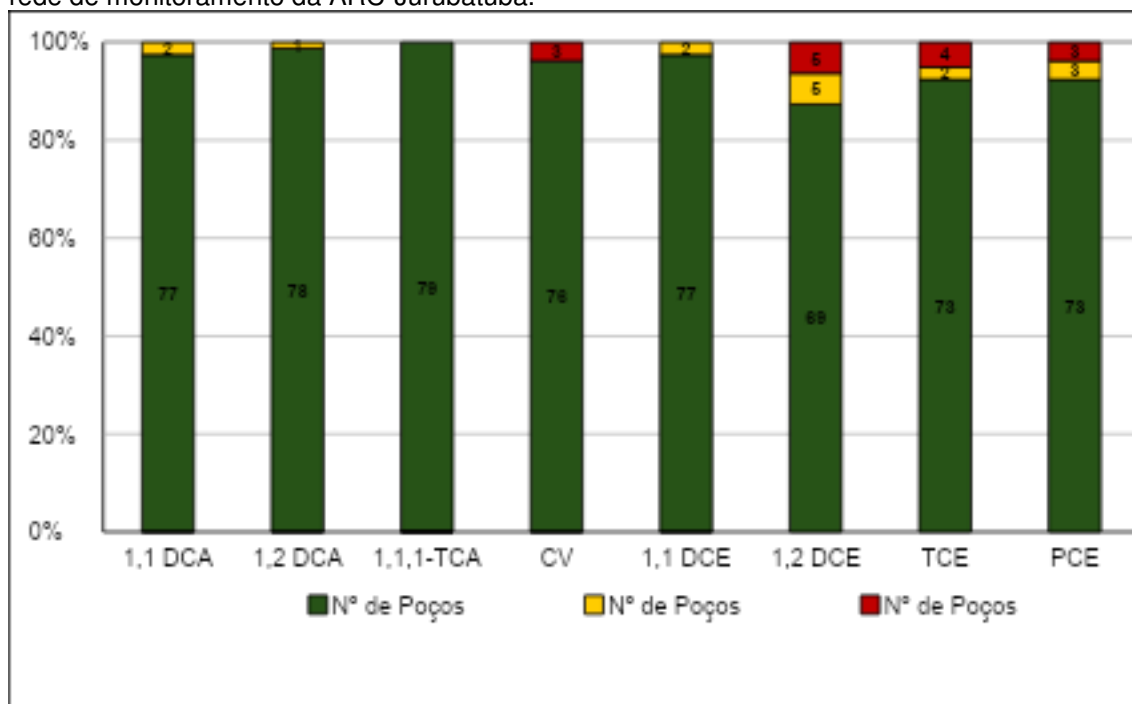


Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Os resultados das análises químicas laboratoriais de VOC nas amostras de água coletadas que apresentaram pelo menos uma substância com concentração superior aos limites de quantificação estão apresentados no **Quadro 18**. Os resultados analíticos das demais substâncias analisadas estão apresentados no **Anexo 11**.

A **Figura 42** apresenta uma síntese consolidada dos dados obtidos. Nota-se uma predominância significativa de poços sem detecção para todos os compostos analisados, correspondendo a mais de 90% do total em cada categoria. Observa-se que compostos como 1,1-DCA, 1,2-DCA e 1,1,1-TCA apresentam praticamente todos os poços na categoria "não detectado", indicando ausência desses compostos na área estudada.

Figura 42- Síntese consolidada dos dados obtidos nas análises laboratoriais dos poços da rede de monitoramento da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Por outro lado, compostos como CV, 1,1-DCE, 1,2-DCE, TCE e PCE apresentam diferentes proporções de detecção nos poços monitorados, com concentrações variando entre valores inferiores e superiores ao VOI. O 1,2-DCE é o composto mais frequentemente detectado, indicando ocorrência de

processos de degradação. A principal via de biodegradação dos solventes organoclorados é a desalogenação redutiva, caracterizada pela substituição de átomos de cloro por hidrogênio.

O CV, que apresenta o valor de referência mais restritivo, é o composto com maior frequência de detecções superiores ao VOI, sugerindo contaminação pretérita em estágio de degradação.

Em relação ao Poço 346, verificou-se que as concentrações são significativamente superiores às observadas nos demais poços. Trata-se de um poço multinível do tipo Multinível *Westbay*, cuja amostra representativa não sofreu diluição, refletindo a profundidade amostrada. Esse aspecto indica que outros poços, inclusive aqueles com detecção de compostos organoclorados em baixas concentrações ou com resultados de “não detectado”, podem apresentar valores mais elevados caso sejam realizadas coletas discretas. Ressalta-se, ainda, que o Poço 346 está inserido em uma ACRI (Área Contaminada com Risco Confirmado), localizada na Área Priorizada 3.

No âmbito deste estudo, foram coletadas 21 amostras discretas e, no relatório subsequente, será possível confirmar essa hipótese.

A **Figura 43**, por sua vez, apresenta os resultados de todos os poços analisados, agrupando-os em três categorias, quais sejam, concentrações não detectadas, concentrações inferiores ao VOI e concentrações superiores ao VOI. Ressalta-se que foi considerado o pior cenário observado do composto analisado. Já a **Figura 44**, apresenta os valores detectados de compostos organoclorados nesta malha de poços.

A predominância da categoria “não detectado” sugere que, para a maioria dos compostos e poços analisados, não foram identificadas concentrações detectáveis. No entanto, a presença pontual de detecções acima do VOI, principalmente para compostos etenos clorados, pode demandar atenção para a gestão ambiental e definição de ações corretivas.

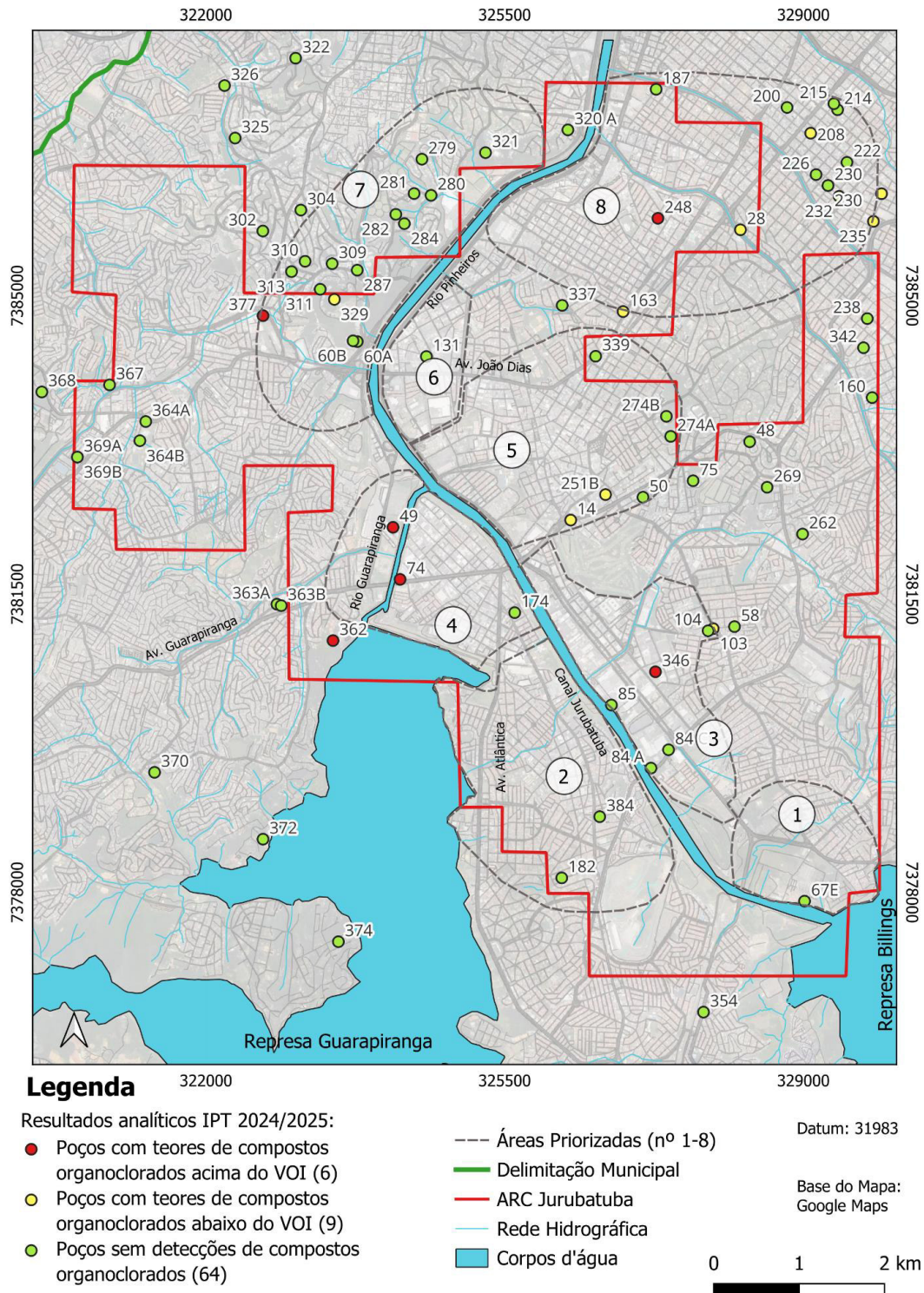
Relatório Técnico nº 176.600-205 116/986

Quadro 18 – Poços da rede de amostragem com ocorrência de pelo menos uma substância com concentração superior aos limites de quantificação dos métodos analíticos e a comparação com os valores de referência.

Substância	CAS nº	14	49	74	163	208	236	248	251B	362	377	103	28	329	346	235	VOI
		26/11/24 11:14:00	04/12/24 15:00:00	04/12/24 11:45:00	28/11/24 14:35:00	28/11/24 10:38:00	27/11/24 14:05:00	27/11/24 10:33:00	29/11/24 10:26:00	04/12/24 14:15:00	02/12/24 10:16:00	13/01/25 08:29:00	14/01/25 11:04:00	16/01/25 10:08:00	06/02/25 12:30:00	20/02/25 09:35:00	
1,1-Dicloroetano	75-34-3	nd	nd	25,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	45,56	nd	53
1,2-Dicloroetano	107-06-2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,11	nd	5
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2000
Cloreto de vinila	75-01-4	nd	10,3	175,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1074,4	nd	0,5
1,1-Dicloroeteno	75-35-4	nd	nd	20,71	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	29,02	nd	30
1,2-Dicloroeteno - cis + trans	156-59-2	nd	290,31	1752,86	1,70	nd	nd	1,71	5,27	57,13	58,73	nd	4,2	1,57	6222,70	nd	50
Tricloroeteno	79-01-6	nd	89,3	nd	nd	nd	1,4	9,7	nd	nd	30	nd	nd	nd	3555,6	1,9	4
Tetracloroeteno	127-18-4	3,9	150,2	nd	nd	7,6	nd	nd	nd	nd	62	9,5	nd	nd	5333,3	nd	40

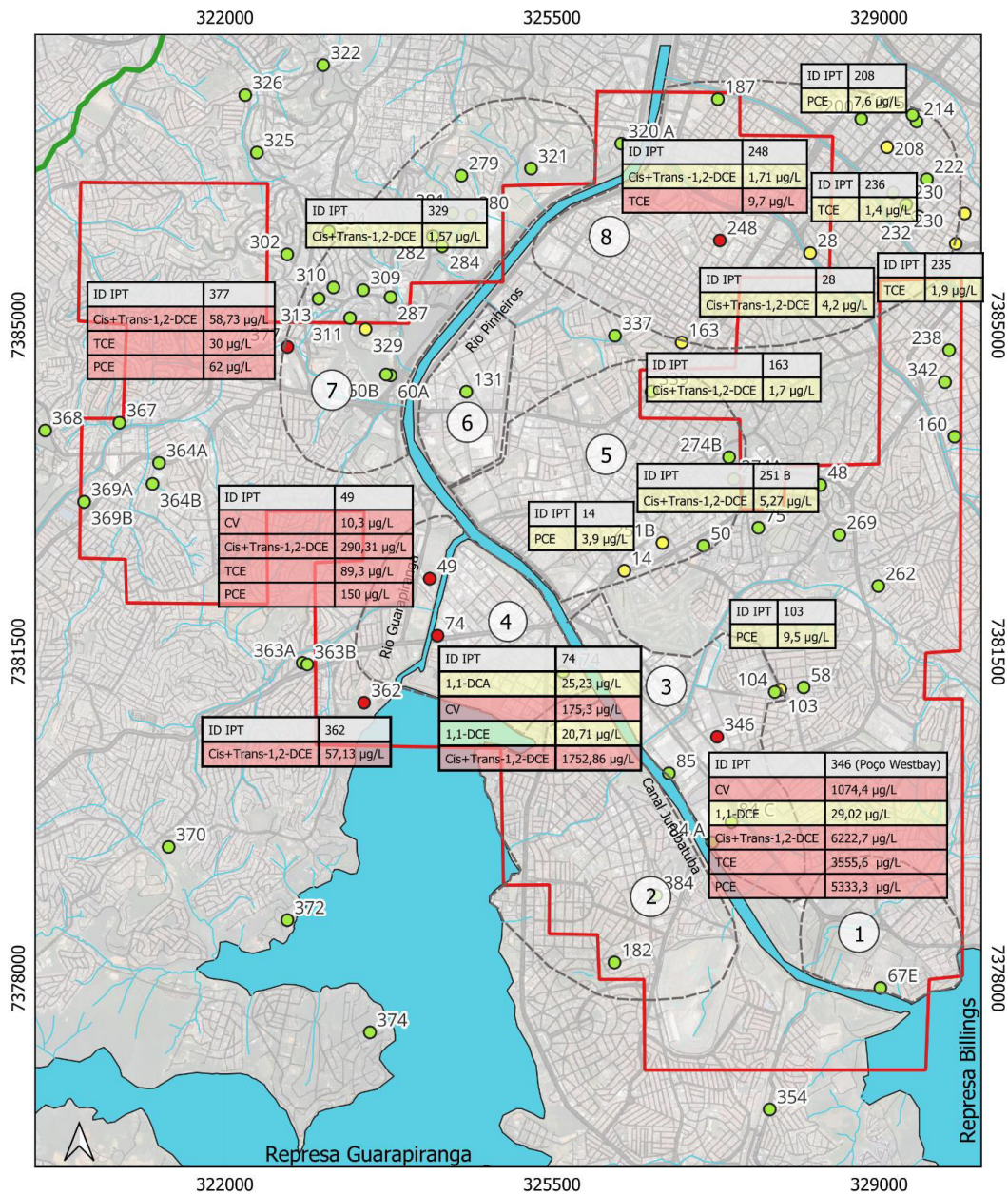
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 43 – Síntese dos resultados analíticos obtidos no presente estudo nos poços da rede amostragem da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Figura 44 – Síntese das concentrações de compostos organoclorados obtidos no presente estudo nos poços da rede amostragem da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

9.3. Evolução histórica da ocorrência de compostos organoclorados na ARC- Jurubatuba

Com o objetivo de avaliar o histórico de ocorrência de compostos organoclorados na ARC-Jurubatuba, foram compilados dados analíticos referentes a 271 poços, totalizando 555 análises químicas. Desse total, 113 poços (com 555 análises) tiveram dados fornecidos pela COVISA (2014–2024), 79 poços foram obtidos no estudo DAEE/SERVMAR (2008) e outros 79 poços, por sua vez, foram amostrados no presente projeto.

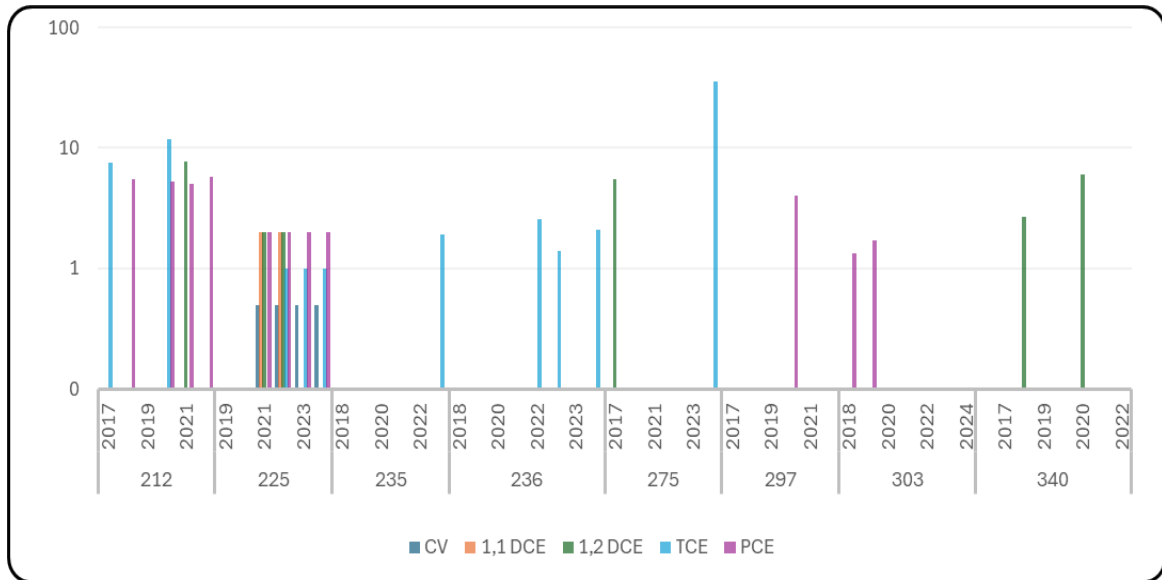
Para caracterizar a evolução dos resultados analíticos ao longo do tempo, foram selecionados os poços que apresentaram registros analíticos em, no mínimo, cinco períodos distintos, resultando na seleção de 26 poços para avaliação.

Desses, apenas 8 poços apresentaram histórico de concentrações detectáveis dos compostos analisados. Portanto, foram incluídos na avaliação apenas os resultados desses 8 poços, que evidenciaram a detecção consistente de contaminantes ao longo dos diferentes períodos de amostragem.

A **Figura 45** apresenta a avaliação dos registros analíticos. Observam-se concentrações de PCE e TCE com maiores frequências de detecção. O comportamento dos dados sugere variações periódicas e picos irregulares.

Destacam-se os poços 225 e 212, ambos localizados na Área Priorizada 08 definida no presente estudo e situados para além do limite da denominada ARC-Jurubatuba, estabelecida originalmente pela Deliberação CBH-AT nº 01, de 16 de fevereiro de 2011 (CBH-AT, 2011). O Poço 225 apresenta uma frequência de concentrações a partir de 2021 que, embora estejam abaixo do Valor Orientador de Intervenção (VOI), devem ser observadas com atenção. Já o Poço 212 apresentou concentrações de TCE superiores ao VOI nos anos de 2017, 2018 e 2021, sendo que a última análise foi realizada em 2022.

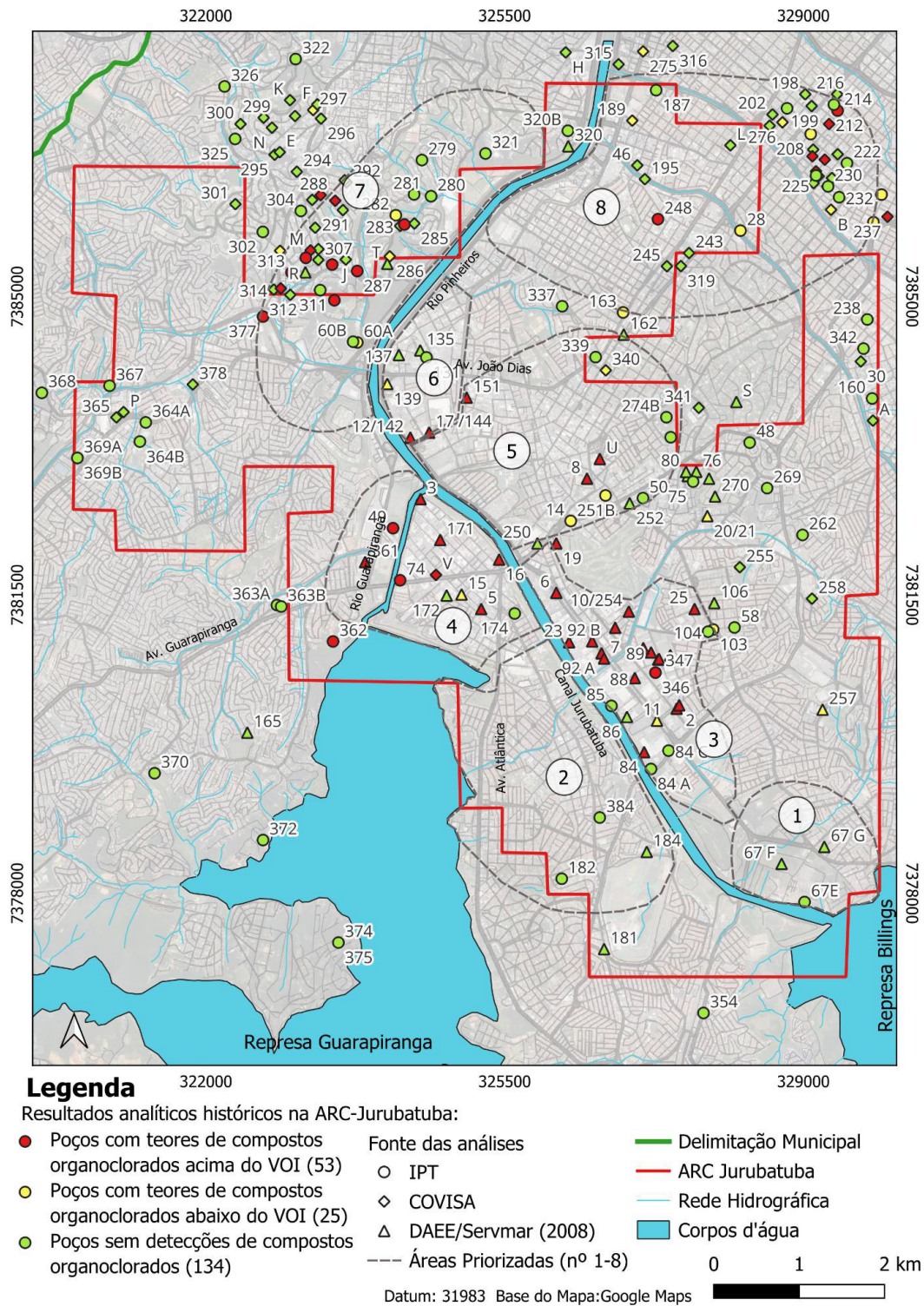
Figura 45 – Avaliação dos registros analíticos



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

A **Figura 46** apresenta as maiores concentrações detectadas ao longo do período avaliado. A Área Priorizada 08 destaca-se por apresentar um número significativo de poços com contaminação por compostos clorados.

Figura 46 – Compilação dos resultados analíticos históricos na ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

10. MODELO CONCEITUAL DE FLUXOS SUBTERRÂNEOS

Segundo Feitosa *et al.* (2008) pode se definir um modelo conceitual de fluxos como sendo a representação de hipóteses que possibilitam delinear e arquitetar um sistema hidrogeológico, por meio da idealização e organização de suas características.

Particularmente referindo-se a um modelo conceitual de fluxos subterrâneos, pode-se definir, ainda depreendendo-se dos citados autores, como sendo uma representação simplificada e esquemática de um sistema hidrológico, na qual busca-se compreender como a água percola através do subsolo, baseada em hipóteses sobre as características do meio hidrogeológico real e interações com as diversas parcelas de águas superficiais ou aéreas, do local ou região de interesse.

Portanto, pode-se dizer que o modelo conceitual não busca reproduzir a realidade com total precisão, mas sim capturar os elementos essenciais do sistema de fluxos subterrâneos. Os referidos elementos podem ser caracterizados como: a geometria das unidades aquíferas (identificação das unidades, arranjos, arquitetura, extensões e formas); parâmetros hidrogeológicos (armazenamento, velocidade, direção e fluxos da água); e condições de contorno (feições de entrada e saída da água, limites hidrológicos e potenciais hidráulicos em pontos específicos). Dessa forma, o modelo conceitual configura-se como uma ferramenta essencial para entender e modelar os fluxos de águas subterrâneas, permitindo a análise e previsão do comportamento dos aquíferos para diversas finalidades. A análise dos dados de campo (perfis de sondagem, medições de nível de água, testes de vazão) contribuem de forma expressiva para inferir as características dos fluxos subterrâneos.

Assim sendo, no presente trabalho buscou-se consubstanciar o modelo conceitual de fluxos subterrâneos por meio da caracterização hidrogeológica atualizada e detalhada na escala 1:10.000, com vistas à compreensão do comportamento em termos conceituais de infiltração, recarga e circulação das águas subterrâneas. Cabe ressaltar que o presente modelo conceitual hidrogeológico

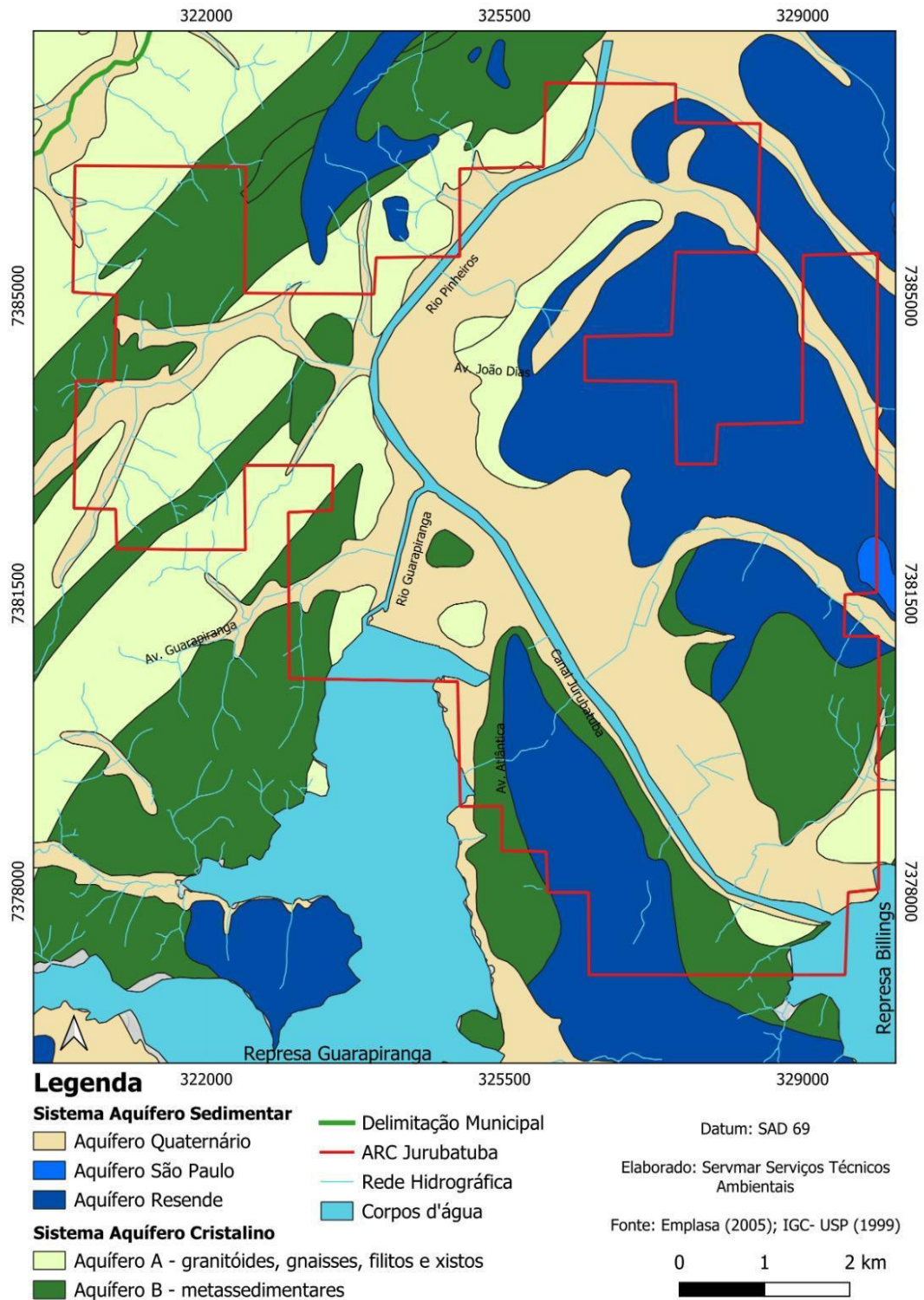
compreende revisão e atualização do modelo conceitual elaborado por DAEE/SERVMAR (2008).

Para alcançar o objetivo almejado com a elaboração do modelo conceitual de fluxos subterrâneos da ARC-Jurubatuba, foi necessário reunir, sistematizar e interpretar os dados levantados ao longo do projeto, os quais possibilitaram abordar sobre aspectos como a infiltração e a recarga influenciam a circulação das águas subterrâneas.

Desse modo, quanto à infiltração e recarga, foram consideradas as seguintes informações: mapa de uso e ocupação do solo, geologia de subsuperfície, modelo de galerias pluviais e de efluentes, mapa de isópacas do Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) e os perfis de poços selecionados conforme nível de detalhamento da descrição litológica. Em relação à circulação das águas subterrâneas, foram considerados o mapa hidrogeológico, os perfis dos poços selecionados e os estudos acadêmicos de detalhe preexistentes, buscando-se enfatizar os diferentes regimes de fluxo relacionados à camada sedimentar, ao manto de alteração e à rocha sã que compõe o Sistema Aquífero Cristalino (SAC).

A principal base utilizada foi o mapa hidrogeológico (DAEE/SERVMAR, 2008), apresentado na **Figura 47**. Como se observa no citado mapa, a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT), apresenta dois sistemas aquíferos distintos, sendo o primeiro relacionado ao Embasamento Cristalino, denominado de Sistema Aquífero Cristalino (SAC), e o segundo relacionado aos terrenos sedimentares da Bacia de São Paulo, denominado de Sistema Aquífero Sedimentar (SAS).

Figura 47 – Mapa hidrogeológico da ARC-Jurubatuba e entorno.



Fonte: Modificado de DAEE/SERVMAR (2008).

Os principais trabalhos executados e publicados na forma de estudos acadêmicos acerca do aquífero fraturado e da contaminação por compostos organoclorados - e que serviram de base de dados para a idealização e desenvolvimento do modelo conceitual de fluxos subterrâneos na ARC-Jurubatuba, estão apresentados a seguir, em ordem cronológica, e com uma breve descrição do seu conteúdo:

- i. L'APICCIRELLA (2009) aprofundou os estudos sobre a contaminação e áreas de restrição de uso de água subterrânea no entorno do Canal Jurubatuba a partir dos resultados obtidos por DAEE/SERVMAR (2008);
- ii. RIBEIRO (2012) realizou perfilagens em cinco poços próximos ao Canal do Jurubatuba, observando várias zonas de fraturas hidráulicamente conectadas;
- iii. FIUME (2013) realizou uma detalhada investigação da geologia estrutural da região, a fim de elaborar um modelo conceitual da rede de fraturas das rochas que compõem o Embasamento Cristalino;
- iv. BARBOSA (2015) desenvolveu uma técnica com um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a elaboração de um modelo conceitual para o gerenciamento da contaminação no local da antiga área denominada de ZUPI-131 (Zona de Uso Predominantemente Industrial) na ARC-Jurubatuba;
- v. FERNANDES *et al.* (2016) realizaram um mapeamento de fraturas em pedreiras ao sul de São Paulo detalhando a geologia estrutural do Sistema Aquífero Cristalino (SAC), apontando direções de fraturas de fluxo preferencial no Embasamento Cristalino, determinantes nas condições de fluxo de contaminantes na região da ARC-Jurubatuba;
- vi. SILVA (2018) estimou a recarga e realizou a caracterização hidroquímica e isotópica das águas subterrâneas na ARC-Jurubatuba;
- vii. LIMA (2018) pesquisou rochas cristalinas fraturadas baseando-se em um método chamado *Discrete Fracture Network* (DFN), obtendo um modelo conceitual detalhado, revelando altas concentrações de contaminantes em

horizontes de rocha alterada mole, e explorando, também, o conceito de difusão reversa;

- viii. PINO (2019) estudou aspectos estruturais e hidráulicos do aquífero fraturado em uma área próxima ao rio Pinheiros e ao Canal do Jurubatuba;
- ix. BARBOSA (2020) desenvolveu métodos de caracterização de aquíferos fraturados por meio de ensaios hidráulicos, amostragens com obturadores e técnicas geofísicas e
- x. FREGONA (2023), constatou existirem heterogeneidades e interconexões nos aquíferos na área da ARC-Jurubatuba, que resultam na influência da dispersão de solventes organoclorados.

Outros trabalhos importantes a serem destacados quanto à metodologia de investigação de áreas contaminadas em aquíferos fraturados e, portanto, considerados na elaboração do modelo hidrogeológico conceitual são HART (2023) e NASCIMENTO (2023).

O trabalho de Hart (2023) propõe um modelo conceitual temporal para gestão de locais de contaminação complexa com foco em um caso em São Paulo de remediação de plumas mistas de solventes clorados. A pesquisa de Nascimento (2023) também propõe um modelo conceitual de um caso de contaminação de solventes clorados, mas no município de Diadema.

10.1. Seções hidrogeológicas na ARC-Jurubatuba

Inicialmente foram verificadas as seções geológicas elaboradas na ARC-Jurubatuba por DAEE/SERVMAR (2008), que permitiram observar os aspectos necessários, segundo Feitosa *et al.* (2008), para desenvolvimento do modelo conceitual de fluxos subterrâneos e, também, observar outras características geológicas, hidrogeológicas ou outras feições estruturais de interesse.

Conforme DAEE/SERVMAR (2008), aspectos estruturais observados em seções geológicas demonstram basculamentos avaliados como estruturas rúpteis, tipo falhas normais ou inversas (**Figura 48**). As seções E-E' e K-K' mostram feições

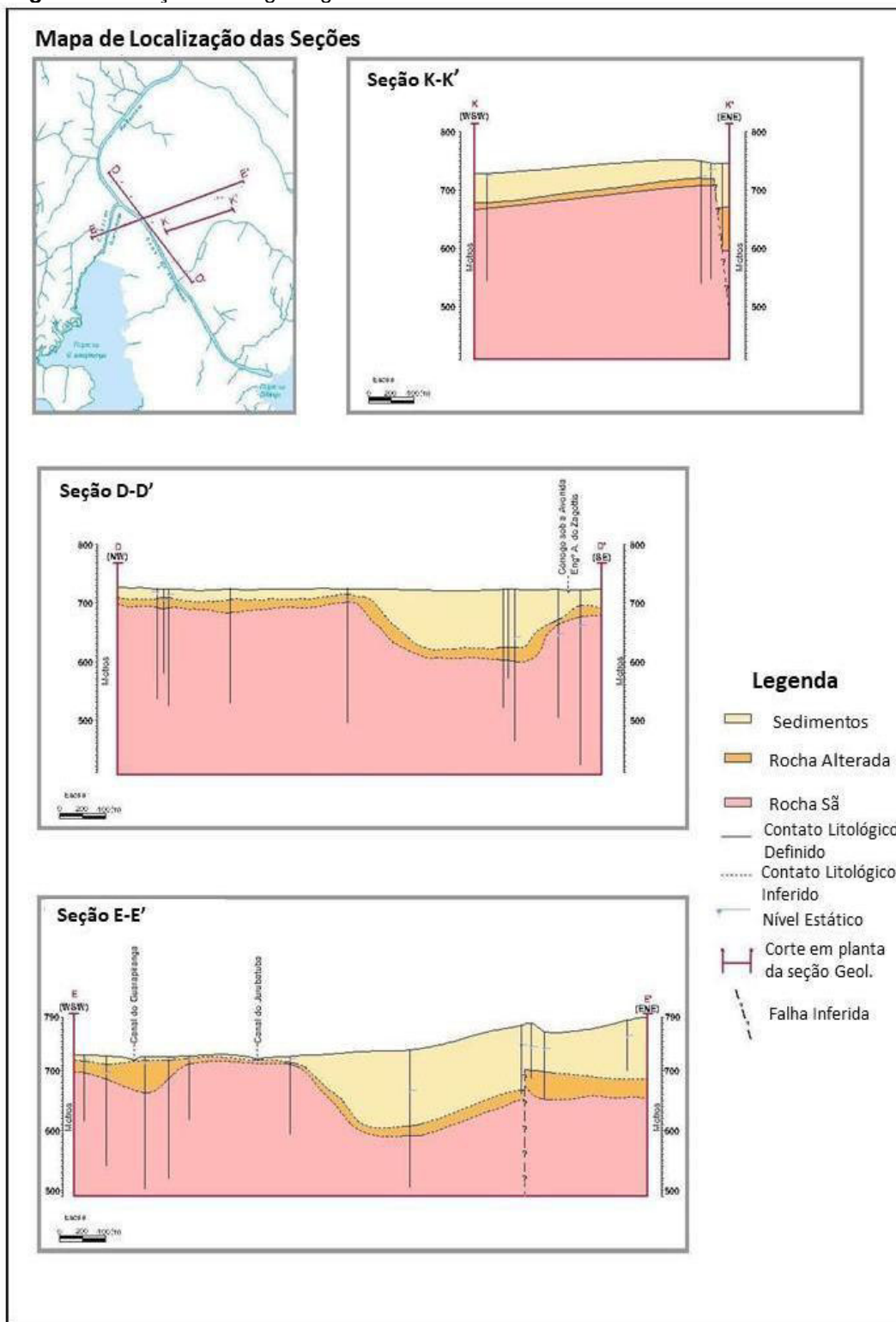
possivelmente associadas aos basculamentos de blocos descritos em estudos sobre a geologia da área (Rocha *et al.*, 1989; Riccomini, 1989; Riccomini; Coimbra; Takiya, 1992; Juliani, 1992).

Pode-se observar espessuras de sedimentos variando de poucos metros até cerca de 100 m. As espessuras de rocha alterada (Embasamento Cristalino) variam de poucos metros até cerca de 50 m. Na seção D-D', optou-se por ilustrar uma interpretação de um topo do cristalino variando a cota como uma característica de paleo-relevo, entretanto, essas variações de topo também podem estar associadas a basculamentos.

Para a execução das atividades no presente projeto, primeiramente foram analisados e selecionados todos os perfis de poços obtidos na fase de cadastramento e efetuada criteriosa consistência de dados. Após essa etapa, foram plotados em mapa os poços que possuíam registros de perfis (**Figura 49**) sendo selecionados aqueles poços com maior nível de detalhamento da litologia para melhor representação e compreensão do Sistema Aquífero Sedimentar (SAS).

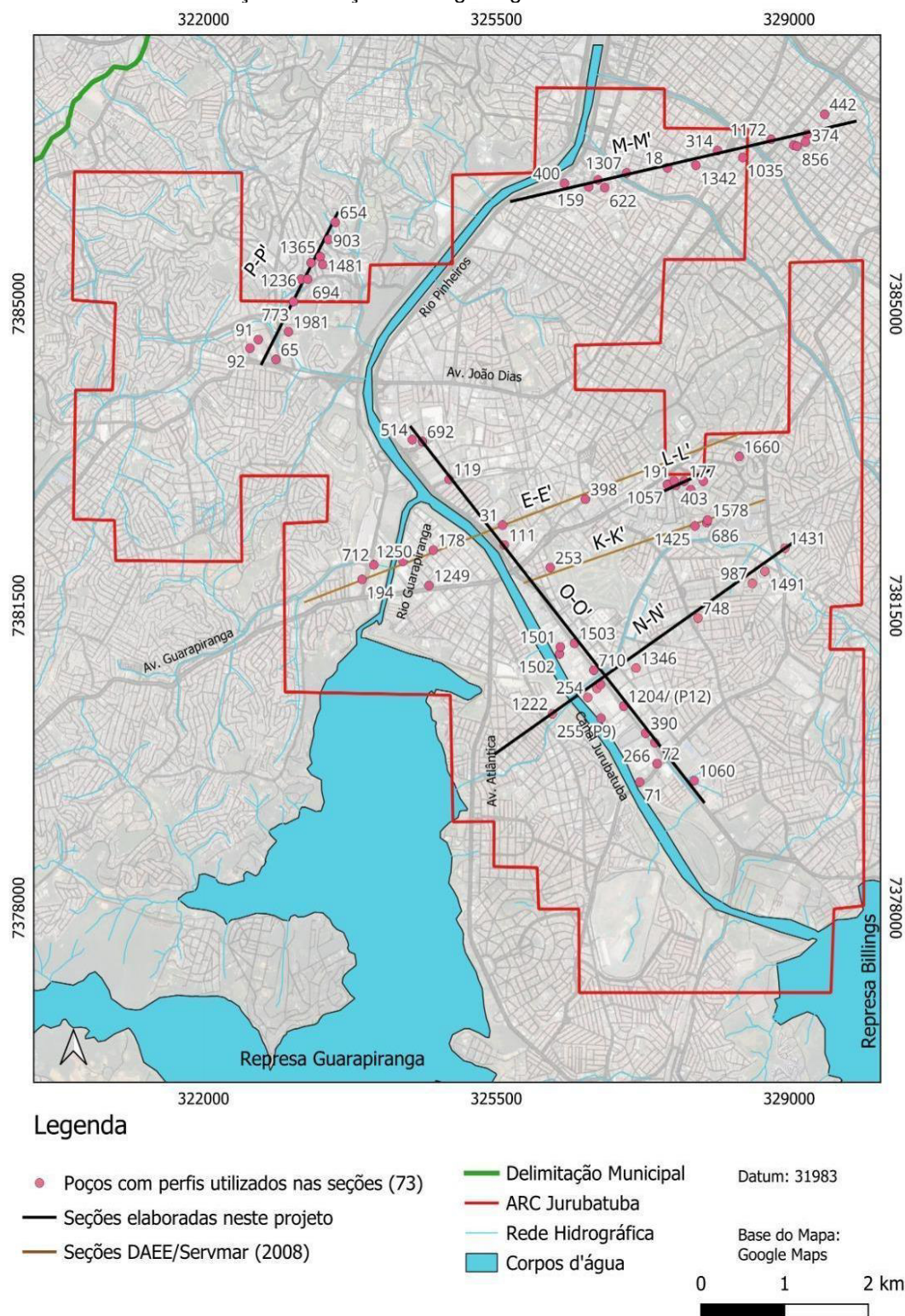
As seções elaboradas no presente trabalho foram nomeadas em sequência daquelas elaboradas por DAEE/SERVMAR (2008), iniciando, portanto, em L-L'.

Figura 48 - Seções hidrogeológicas elaboradas na ARC-Jurubatuba em estudo anterior.



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008).

Figura 49 – Mapa de poços que possuem descrição detalhada do perfil litológico e localização das seções hidrogeológicas.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Considerando esses perfis de melhor detalhamento da litologia, foi traçada a seção L-L' na porção central da ARC-Jurubatuba, aproximadamente equivalente a um pequeno trecho da seção J-J' de DAEE/SERVMAR (2008).

A seção L-L' (**Figura 50**), também na região central da ARC-Jurubatuba, evidencia a ocorrência de intercalações de camadas mais argilosas e camadas mais arenosas sendo que as camadas mais argilosas, menos permeáveis, tendem a bloquear a propagação dos contaminantes e, portanto, conter os contaminantes, inclusive em fase separada, podendo, então, funcionar como uma fonte secundária de contaminação de tempo mais prolongado.

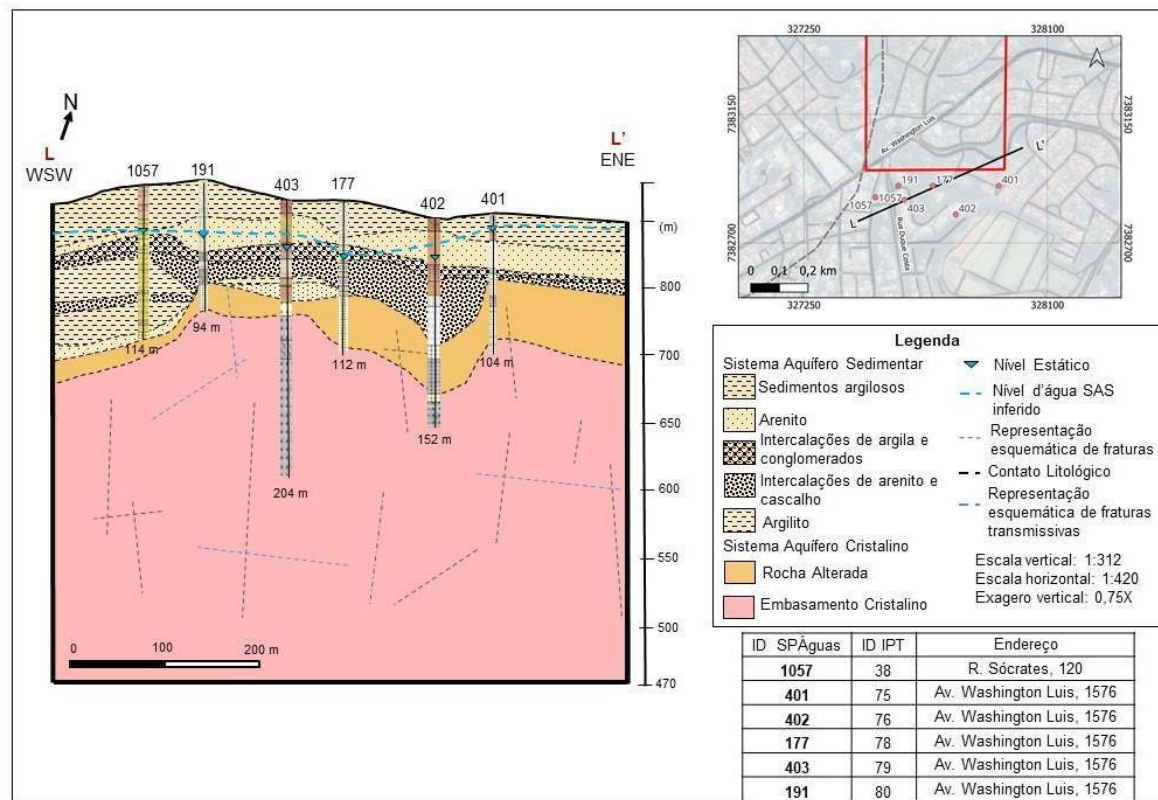
Na porção nordeste da ARC-Jurubatuba foi elaborada a seção M-M' (**Figura 51**), equivalente à seção B-B' de DAEE/SERVMAR (2008), porém com maior nível de detalhamento litológico. Essa nova representação demonstra a ocorrência de intercalações de camadas mais argilosas e camadas mais arenosas, bem como permite inferir uma possível falha representativa do modelo de basculamento relacionado a geologia estrutural regional. Cabe destacar que esta região é, atualmente, a de maior concentração de poços ativos e, portanto, de maior utilização de água, inclusive, predominantemente para uso doméstico.

A seção P-P' (**Figura 52**) foi traçada na região da Vila Andrade, na porção noroeste da ARC-Jurubatuba, considerando, assim como para a seção M-M', a importância devido à alta concentração de poços e uso de água predominantemente doméstico. A partir dos perfis geológicos obtidos somente foi possível caracterizar no SAS duas litologias distintas, sendo elas: solo orgânico e uma camada de argila arenosa.

Adicionalmente, foram elaboradas ainda as seções N-N' (setor sudeste da ARC-Jurubatuba, **Figura 57**) e O-O' (setor central da ARC-Jurubatuba, **Figura 58**), sobre as quais foi desenvolvido o modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos e, portanto, são apresentadas adiante, a atualização do modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos.

Relatório Técnico nº 176.600-205 131/986

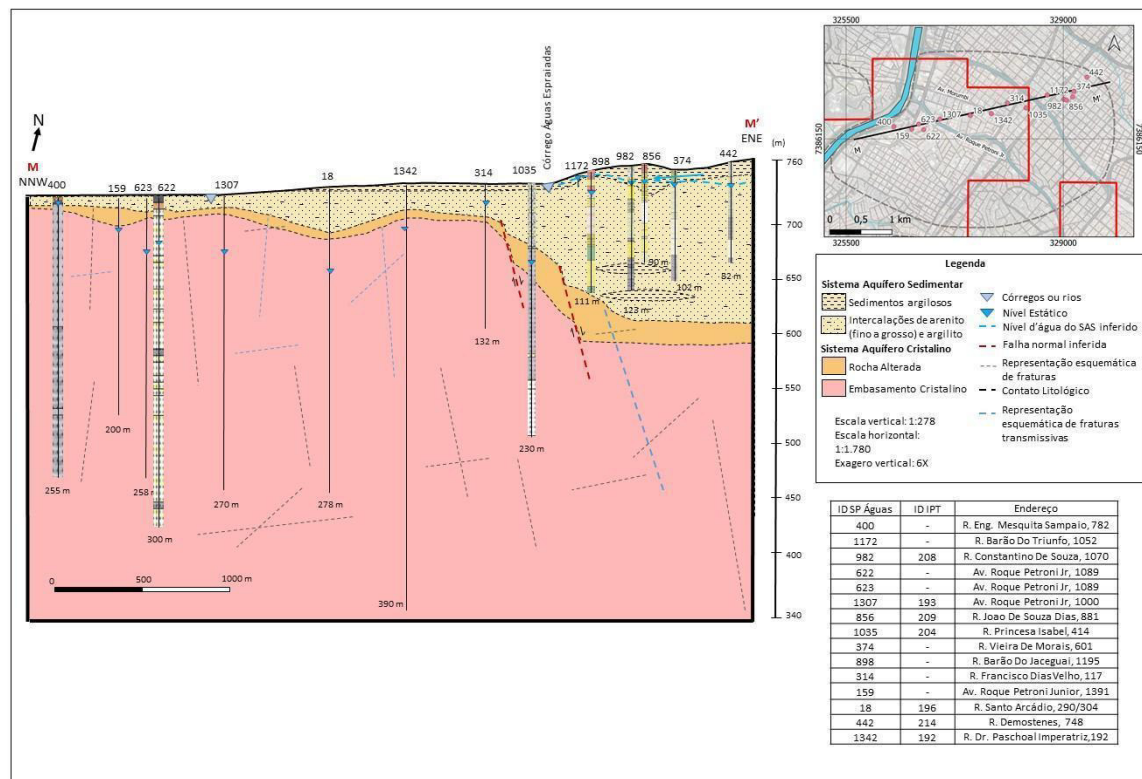
Figura 50 – Seção hidrogeológica L-L' na porção central da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – Empreendimento FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Relatório Técnico nº 176.600-205 132/986

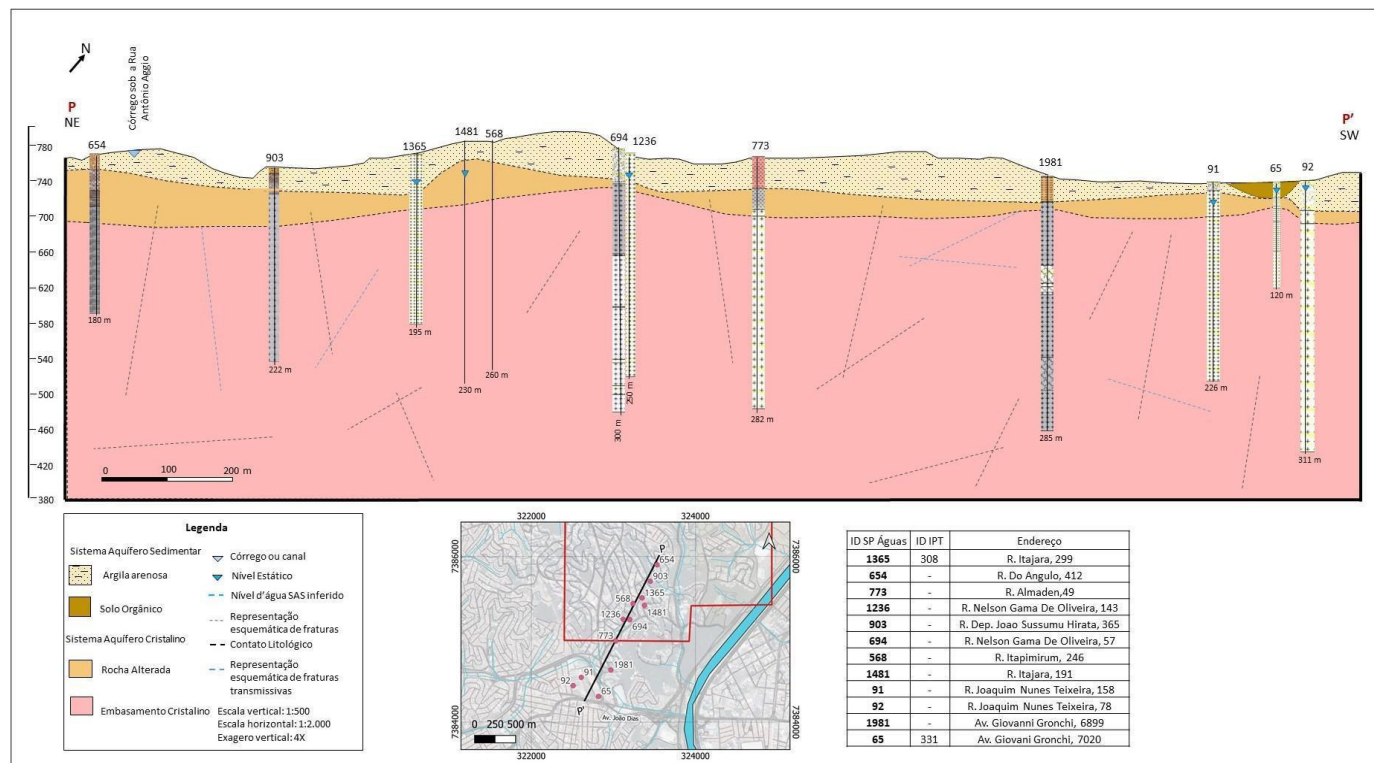
Figura 51 – Seção hidrogeológica M-M' na porção nordeste da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – Empreendimento FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Relatório Técnico nº 176.600-205 133/986

Figura 52 - Seção geológica P-P' na porção noroeste da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – Empreendimento FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

10.2. Síntese hidrogeológica da ARC-Jurubatuba

O principal aquífero na área de estudos é o Sistema Aquífero Cristalino (SAC), fraturado e, dessa forma, caracterizado por uma porosidade de fissuras. Porém, tanto a porção alterada das rochas cristalinas, quanto a cobertura de sedimentos terciários e quaternários, com porosidade intergranular, são determinantes no comportamento do fluxo da água subterrânea e, conseqüentemente, dos contaminantes.

O Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), por sua vez, com suas camadas de areias intercaladas com argilas, gera aquíferos suspensos que retardam a recarga para os horizontes mais profundos do aquífero, bem como interferem no comportamento dos contaminantes, podendo acomodar e reter contaminantes em fase livre nas camadas mais impermeáveis, tornando-se uma fonte secundária de contaminação.

Conforme Bertolo (1996), com relação às características geológicas e topográficas na variação do comportamento do nível d'água nos poços, na Bacia de São Paulo há uma série de intercalações de camadas arenosas de diferentes espessuras e descontínuas, nas direções horizontal e vertical, o que caracteriza o aquífero como de natureza predominantemente semi-confinado, heterogêneo e anisotrópico, favorecendo a ocorrência de aquíferos locais com variados graus de conexão hidráulica entre si, onde a água subterrânea se encontra sob diferentes cargas hidráulicas.

A porção alterada do Sistema Aquífero Cristalino (SAC), além de sua porosidade granular, preserva, em maior ou menor grau, a estrutura da rocha, portanto, possui também uma porosidade fissural que a torna bastante permeável (DAEE/SERVMAR, 2008).

Observando-se que os poços mais profundos têm até pouco mais de 300 m de profundidade, presume-se que abaixo disso, as potencialidades do aquífero diminuem e, para efeitos de interpretações conceituais, foi assumido que a cerca de 400 m de profundidade, o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) perde permeabilidade (L'APICCIRELLA, 2009).

10.2.1. Sistema Aquífero Sedimentar

O Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) aflora principalmente a leste do Rio Pinheiros e do Canal Jurubatuba, enquanto o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) se destaca a oeste.

O pacote sedimentar é muito heterogêneo, apresentando lentes ou camadas descontínuas de areias grossas, médias e finas, intercaladas com corpos argilosos ou formando misturas em proporções variadas (Rocha, 1989).

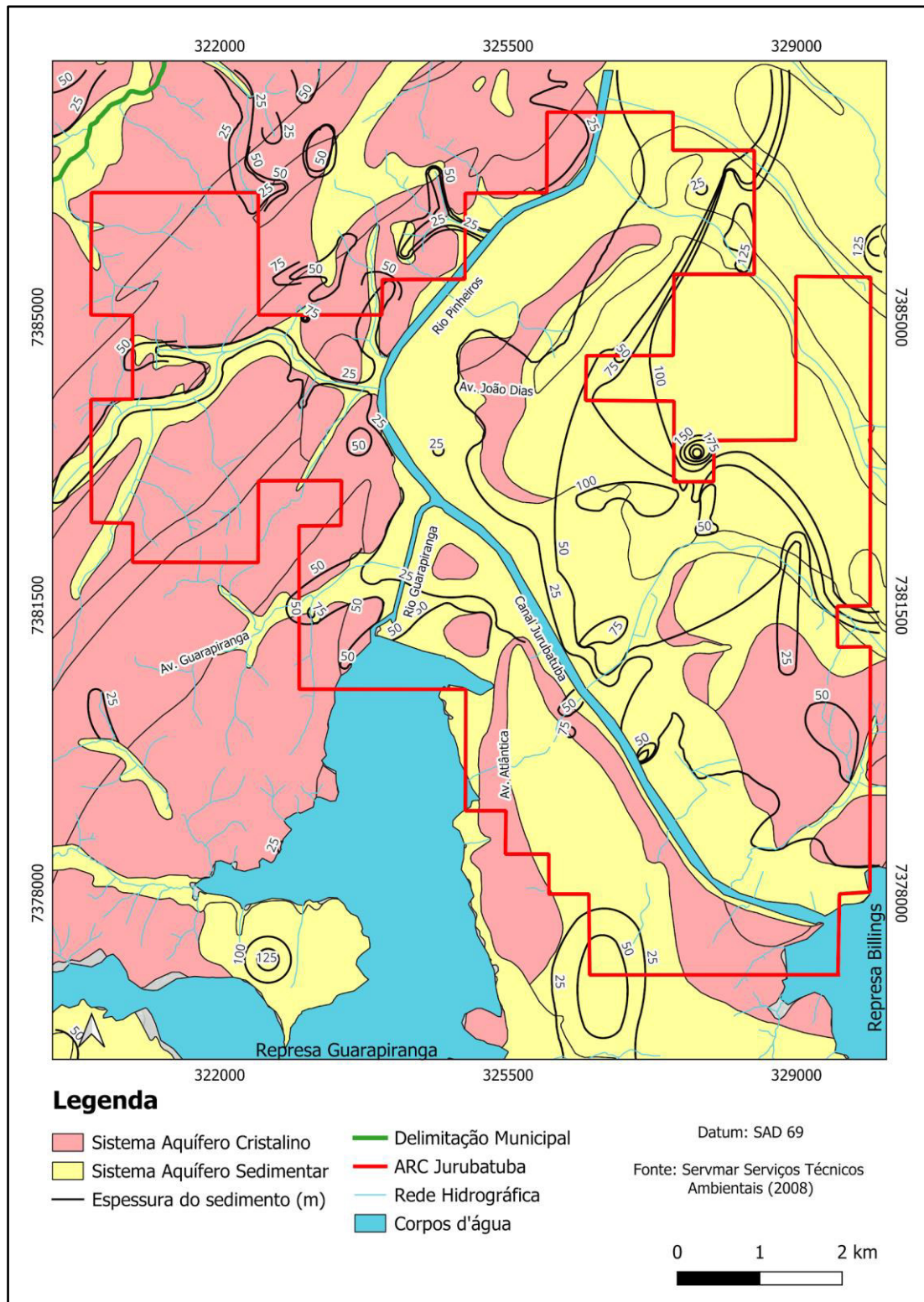
Conforme o mapa de isópacas da cobertura sedimentar na ARC-Jurubatuba (DAEE/SERVIMAR, 2008), apresentado na **Figura 53**, a porção sedimentar pode atingir até 150 m de espessura a oeste da represa Guarapiranga. Por sua vez, nos locais situados entre as represas Guarapiranga e Billings verificam-se menores espessuras de sedimentos, que variam entre cerca de 30 m e 60 m.

Próximo a margem direita do Canal do Jurubatuba, observa-se, de forma brusca, valores expressivos de profundidade dos sedimentos, chegando a até 96 metros. Essa variação brusca de espessura provavelmente está relacionada ao condicionamento geológico estrutural determinado pelo Embasamento Cristalino.

No setor norte/nordeste da ARC-Jurubatuba verifica-se a ocorrência de padrões distintos de espessuras. Nas proximidades do rio Pinheiros, a espessura da camada sedimentar é menor, atingindo até valores próximos de 50 m. No entanto, em áreas adjacentes e mais próximas à borda leste/nordeste da área de estudo, ocorrem valores de espessura bem mais elevados, chegando até 125 m. O que também deve ter correlação com o modelo geológico estrutural da região.

Ressalta-se que, na região central/leste da ARC-Jurubatuba, existe poço com espessura sedimentar de 250 m, revelando-se como sendo a maior espessura de sedimentos observada na região. Este poço está bem próximo à seção M-M', representativa do modelo de basculamento relacionado a geologia estrutural regional.

Figura 53 – Mapa de isópacas da cobertura sedimentar da ARC-Jurubatuba.



Fonte: modificado de DAEE/SERVMAR (2008).

10.2.2. Sistema Aquífero Cristalino

Conforme o DAEE (1975), o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é constituído por duas unidades hidrogeológicas características. A primeira, o aquífero do manto de intemperismo, de natureza livre, heterogêneo e anisotrópico, com porosidade intergranular. A segunda, o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) propriamente dito, onde a água circula através dos lineamentos estruturais como falhamentos, juntas associadas e fraturas abertas da rocha sã, caracterizando o aquífero como livre a semiconfinado, heterogêneo e anisotrópico.

Rocha *et al.* (1989) observaram, em relação ao Sistema Aquífero Cristalino (SAC), um sistema aquífero mais extenso, correspondente ao manto de alteração das rochas cristalinas pré-cambrianas. As espessuras são bem desenvolvidas, podendo atingir uma centena de metros. A zona de transição da rocha sã, normalmente, apresenta permeabilidade mais elevada.

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) aflora na porção oeste da área, configurando uma topografia irregular, relacionada à maior resistência ao aplainamento, característica das rochas ígneas/magmáticas e à ocorrência de falhas, associadas à reativação de antigas zonas de cisalhamento do embasamento. Segundo Rocha *et al.* (1989), a topografia do substrato cristalino apresenta-se acidentada na forma de *horts* e *grabens*, originando sub-bacias, janelas e ramificações laterais. Na porção leste, o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) apresenta-se sob os sedimentos da bacia e a camada alterada da rocha cristalina possui espessura variável de 10 m até 70 m.

10.2.3. Geologia Estrutural aplicada à Hidrogeologia

A natureza estrutural do terreno na área de estudos, que é constituída de um aquífero fraturado em parte recoberto por um aquífero sedimentar, configura-se como fator determinante para a compreensão e concepção de um modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos. As cotas topográficas na área de estudo variam entre 743 m e 853 m, sendo que, no setor leste, o relevo se apresenta com feições

mais planas, e no setor oeste, as feições são mais acidentadas. Essa diferença se relaciona justamente ao afloramento de rochas sedimentares e cristalinas na superfície.

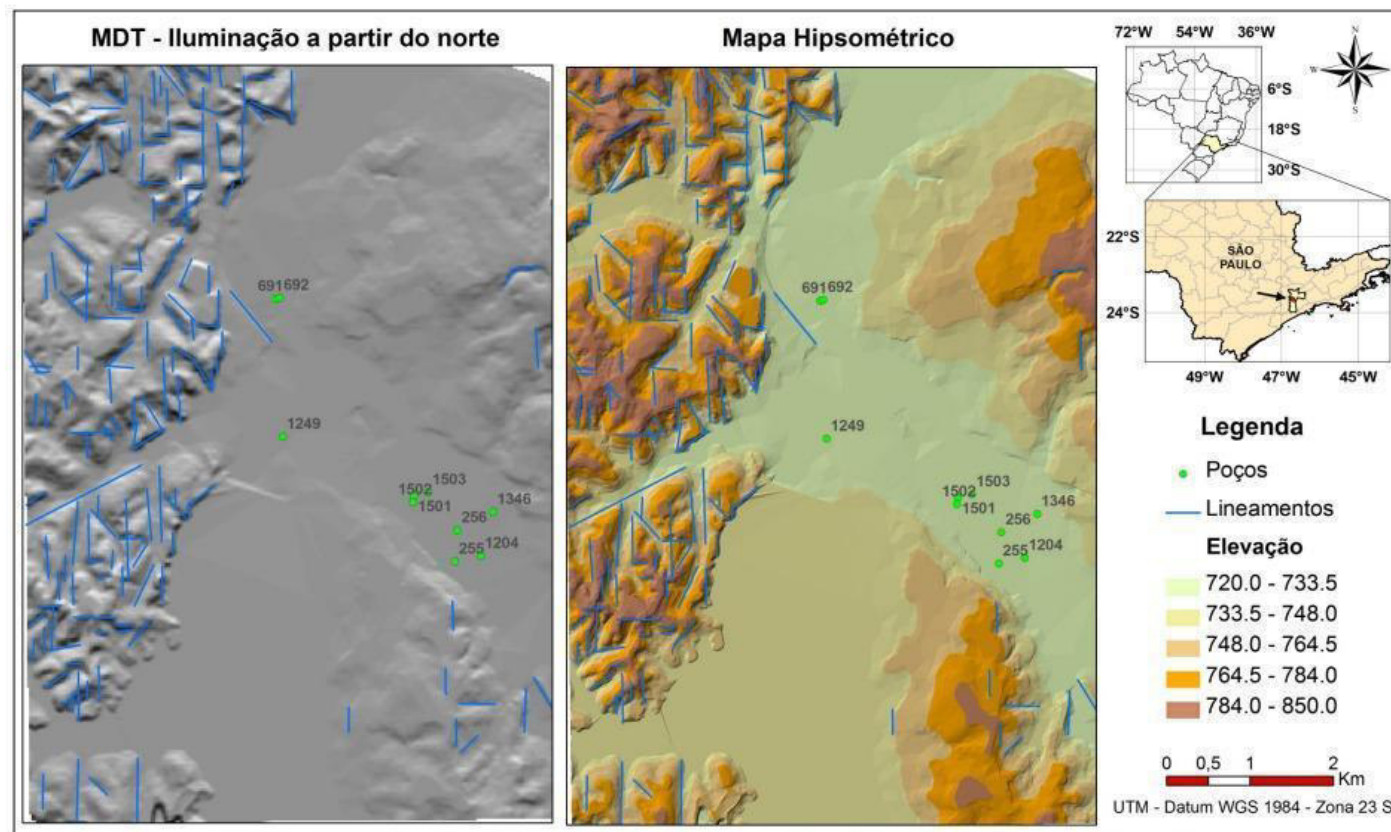
Dos vários estudos acerca da geologia estrutural correlacionáveis ao modelo hidrogeológico conceitual da área de estudos cabe destacar principalmente FIUME (2013), FERNANDES *et al.* (2016), PINO (2019) e NASCIMENTO (2023).

FIUME (2013) realizou uma detalhada investigação da geologia estrutural da região, a fim de elaborar um modelo conceitual da rede de fraturas das rochas que compõem o Embasamento Cristalino. Analisou lineamentos em escala regional considerando a área de afloramento do Complexo Embu. Segundo esta autora as direções principais são: N30-50W, N10W-N10E, N20-40E e N60-90E; sendo que as frequências de ocorrências dessas direções são bastante próximas, existindo um pequeno predomínio das direções NW e ENE. A partir dos lineamentos em escala regional apresentados por FIUME (2013), foi elaborada a **Figura 54**, focando os lineamentos especificamente para a área da ARC-Jurubatuba.

Observa-se na região mais a oeste/noroeste uma tendência de lineamentos com direções N20-40E e N10W. Já na porção mais a leste/nordeste, ocorrem os lineamentos com direções N20-40E e N30-50W. Verifica-se, ainda, um importante lineamento próximo ao Canal do Jurubatuba, com direção que se assemelha à direção do rio Pinheiros. Mais ao sul da ARC-Jurubatuba, no local situado entre as represas Billings e Guarapiranga, ocorrem lineamentos com direções W-E.

FERNANDES *et al.* (2016), a partir de um mapeamento de fraturas em pedreiras ao sul de São Paulo, efetuaram medições das atitudes dos principais sistemas de fraturas e detalharam a geologia estrutural do Sistema Aquífero Cristalino (SAC), de modo a identificar as atitudes de fraturas com maior favorabilidade de fluxos no Embasamento Cristalino, correlacionáveis às possíveis condições de fluxos de contaminantes na região da ARC-Jurubatuba.

Figura 54 – Lineamentos fotointerpretados em parte da ARC-Jurubatuba.

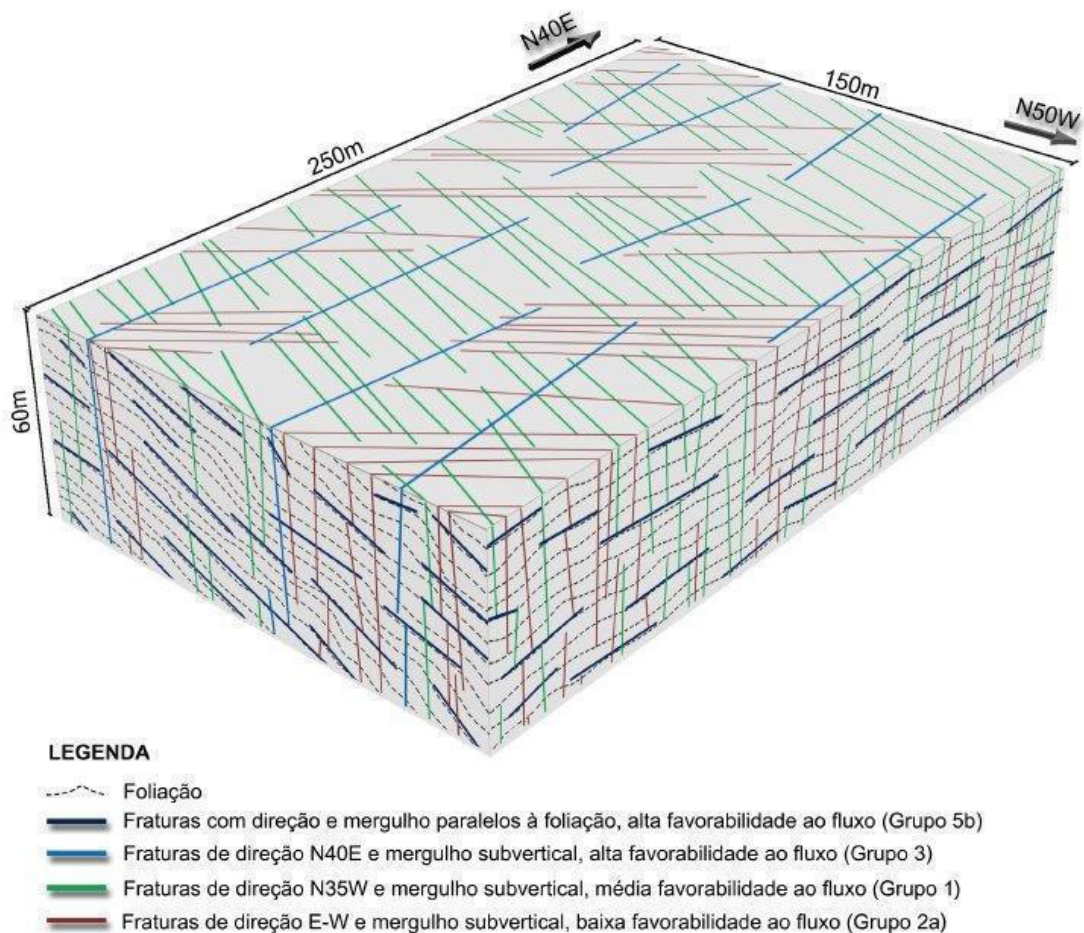


Fonte: Adaptado de Fiume (2013).

Conforme FERNANDES *et al.* (2016), as fraturas de direção N40E e mergulho subvertical, bem como as fraturas com direção e mergulho baixo, paralelos à foliação, são as fraturas de mais alta favorabilidade aos fluxos subterrâneos.

O bloco diagrama apresentado na **Figura 54** ilustra as condições de favorabilidade de fluxos subterrâneos para os principais sistemas de fraturas determinados por FERNANDES *et al.* (2016).

Figura 54 – Bloco Diagrama dos principais sistemas de fraturas e favorabilidade de fluxos subterrâneos em pedreiras na região sul do Município de São Paulo.



Fonte: FERNANDES *et al.* (2016)

PINO (2019) estudou aspectos estruturais e hidráulicos do aquífero fraturado, com manto inconsolidado sobreposto à rochas cristalinas sãs do Complexo Embu em local situado nas redondezas do rio Pinheiros e Canal do Jurubatuba.

Conforme PINO (2019), localmente os trechos com transmissividade mais elevada estão relacionados ao gnaiss fino com famílias de fraturas A sub-horizontais e famílias de fraturas B N64/27, mergulhando para SE, ou à intercalação de gnaiss fino, pegmatito e gnaiss bandado e combinação das famílias A e B, indicando que o fluxo não é necessariamente controlado por uma única orientação de estruturas, mas que seu potencial pode ser aumentado diante da associação de mais de uma família de fraturas. Algumas das famílias de fraturas identificadas foram ainda relacionadas a estruturas descritas em trabalhos regionais.

NASCIMENTO (2023) realizou um estudo de detalhe em área local (de aproximadamente 100.000 m²), no município de Diadema/SP, porém de relevância para o presente estudo, uma vez que foi objeto de pesquisa o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) representado pelas unidades geológicas do Complexo Embu, tendo sido realizada uma análise de lineamentos superposta ao modelo digital de elevação (MDE) e observado, em um contexto mais amplo, outros estudos realizados no Complexo Embu, tais como: Alves (2008); Fernandes *et al.* (2016) e Pino (2021).

O **Quadro 19**, obtido em NASCIMENTO (2023), compila as principais características de atitude e favorabilidade de fluxos subterrâneos determinados nesses estudos.

Com as informações do bloco diagrama (**Figura 54**) e do **Quadro 19**, é válido afirmar que a maior favorabilidade de fluxos no Sistema Aquífero Cristalino (SAC) ocorre nos sistemas de fraturas N-S e NE-SW, com mergulhos variáveis tanto em inclinação (alta, média e baixa) quanto em sentido (tanto para SE quanto para NW).

Cabe observar que essa variação de sentido dos planos de mergulhos, bem como das inclinações favorecem a interconexão de fraturas e, conseqüentemente, os fluxos subterrâneos.

É importante também destacar que as fraturas de média favorabilidade de fluxos de direção NW-SE e mergulho subvertical identificadas por FERNANDES *et al.* (2016) - perpendiculares aos principais sistemas de fraturas, são condicionantes importantes para a interconexão de fraturas e, conseqüentemente para os fluxos subterrâneos.

Quadro 19 - Contexto estrutural e favorabilidade de fluxos subterrâneos do Complexo Embu.

Grupo	Direção	Mergulho (Ângulo / Direção)	Importância para o fluxo
Alves, 2008			
1	sub-horizontal	<25 / -	Baixa
2A	N-S	36 / W	Alta
2B	N-S	75 / E	Alta
3A	NE-SW	66 / NW	Alta
3B	NE-SW	36 / SE	Alta
4	WNW-ESE	78 / NE	Baixa
Fernandes et al., 2016			
NNE to NE/baixo	NNE-SSW	10 to 40 / NNE to NE	Alta
E-W to ENE/médio	E-W	30 to 60 / E-W to WNW	Baixa
E-W to ENE/vertical*	E-W	>60 / E-W to ENE	Média
NW to NNW/vertical*	NW-SE	>60 / NW to NNW	Média
NE/vertical*	NE-SW	>60 / NE	Média
Pino, 2021			
A	sub-horizontal	- / -	Alta
B	NE-SW	37 / SE	Alta
C	NNE-SSW	37 to 49 / SE	Baixa
D	NW-SE	80 to 86 / NE to SW	Baixa
E	NE-SW	71 to 90 / SE	Baixa

*: Grupos identificados em afloramentos

Fonte: Nascimento (2023)

10.2.4. Síntese do conhecimento dos parâmetros hidráulicos subterrâneos na ARC-Jurubatuba

As informações de parâmetros hidráulicos apresentados em diferentes trabalhos, focando em dados de coeficiente de transmissividade, condutividade

hidráulica, vazão e vazão específica, essenciais para a melhor compreensão da hidrodinâmica dos aquíferos de interesse foram reunidos e são apresentados a seguir.

Hirata e Ferreira (2001) trazem dados de vazão e vazão específica conforme as unidades geológicas tanto para o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), quanto para o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) para a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.

Os trabalhos de Hirata e Ferreira (2001) e DAEE/SERVMAR (2008), consideram valores de coeficiente de transmissividade para o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) e Sistema Aquífero Cristalino (SAC) conforme obtido por DAEE (1975). Por sua vez, DAEE/SERVMAR (2008) obtiveram, também, parâmetros por meio de testes de bombeamentos realizados no projeto.

O estudo de Pede (2004) fornece dados relevantes a partir da caracterização da condutividade hidráulica da porção alterada do Embasamento Cristalino na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

O estudo FABHAT/SERVMAR (2012) traz informações em relação à Bacia do Alto Tietê (BAT) como um todo a partir de informações prévias, somadas a dados obtidos por meio de dados de poços do acervo do antigo DAEE disponibilizados para o projeto.

Barbosa (2015) levantou dados de condutividades hidráulicas obtidos por meio de *slug* e *bail tests* conduzidos por empresas de consultoria em trabalhos locais, enquanto Pino (2019), em estudo realizado com poços multiníveis na região do Jurubatuba, apresenta valores de coeficiente de transmissividade para diferentes profundidades.

O **Quadro 20** apresenta os valores de transmissividade para as diferentes unidades aquíferas. Em uma comparação entre o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) e o Sistema Aquífero Cristalino (SAC), verifica-se que o SAC apresenta valores mais significativos de coeficiente de transmissividade.

Observa-se de modo geral nos dados relativos a condutividade hidráulica (**Quadro 21**), valores mais elevados para a região de rocha alterada do SAC,

destacando valores como $2,1 \times 10^{-2}$ cm/s e $9,62 \times 10^{-2}$ cm/s, apresentados em Pedre (2004).

É importante observar que, embora exista expectativa corrente de que a faixa de rocha alterada seja mais permeável, tanto por acumular porosidade granular e fraturada, quanto por ser zona de contato entre tipo de rochas, nos ensaios realizados por Barbosa (2015) os resultados não corroboraram com esta interpretação, observando-se uma condutividade hidráulica com média similar para rochas sedimentares e rocha alterada.

Quadro 20 - Dados de coeficiente de transmissividade em unidades aquíferas na ARC-Jurubatuba.

Fonte de consulta	Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) (m^2/s)	Zona de alteração (m^2/s)	Sistema Aquífero Cristalino (SAC) (m^2/s)
Hirata e Ferreira (2001)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
Pede (2004)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
DAEE/SERVMAR (2008)	$1,70 \times 10^{-6}$ a $7,40 \times 10^{-4}$	Sem Informação	$5,79 \times 10^{-4}$
FABHAT/SERVMAR (2012)	Formação São Paulo: $1,16 \times 10^{-5}$ Formação Resende: $5,79 \times 10^{-5}$	Sem Informação	Rochas Granitoides: $2,78 \times 10^{-4}$ Rochas Metassedimentares: $1,16 \times 10^{-5}$
Barbosa (2015)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
Pino (2019)	$1,45 \times 10^{-5}$ a $5,11 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \times 10^{-6}$ a $7,01 \times 10^{-7}$	$4,36 \times 10^{-4}$ a $1,2 \times 10^{-6}$

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Quadro 21 - Dados de condutividade hidráulica em unidades aquíferas na ARC-Jurubatuba.

Fonte de consulta	Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) (cm/s)	Zona de alteração (cm/s)	Sistema Aquífero Cristalino (SAC) (cm/s)
Hirata e Ferreira (2001)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
Pede (2004)	Sem Informação	Método de Hvorslev: $2,23 \times 10^{-5}$ a $2,1 \times 10^{-2}$ Método de Bower & Rice: $4,85 \times 10^{-4}$ a $9,62 \times 10^{-2}$	Sem Informação
DAEE/SERVMAR (2008)	$7,24 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$
FABHAT/SERVMAR (2012)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
Barbosa (2015)	$1,0 \times 10^{-7}$ a $1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-7}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
Pino (2019)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Em relação aos dados de vazão e vazão específica (**Quadro 22** e **Quadro 23**), verifica-se valores superiores de ambos para a Formação Resende (com maior área de afloramento na região de estudo) em comparação com a Formação São Paulo.

No que diz respeito ao Sistema Aquífero Cristalino (SAC), as rochas metassedimentares apresentam maiores valores tanto de vazão quanto de vazão específica em comparação aos granitóides.

Quadro 22 - Dados de vazão em unidades aquíferas na ARC-Jurubatuba.

Fonte de consulta	Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) (m ³ /h)	Zona de alteração (m ³ /h)	Sistema Aquífero Cristalino (SAC) (m ³ /h)
Hirata e Ferreira (2001)	Formação São Paulo: 9,51 Formação Resende: 15,24	Sem Informação	Rochas Granitóides: 9,07 Rochas Metassedimentares: 17,48
Pede (2004)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
DAEE/SERVMAR (2008)	7,4	Sem Informação	9,5
FABHAT/SERVMAR (2012)	Formação São Paulo: 7,0 Formação Resende: 8,0	Sem Informação	Granitóides: 8,0 Metassedimentares: 10,0
Barbosa (2015)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
Pino (2019)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Quadro 23 - Dados de vazão específica em unidades aquíferas na ARC-Jurubatuba.

Fonte de consulta	Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) (m ³ /h/m)	Zona de alteração (m ³ /h/m)	Sistema Aquífero Cristalino (SAC) (m ³ /h/m)
Hirata e Ferreira (2001)	Formação São Paulo: 0,48 Formação Resende: 0,91	Sem Informação	Rochas Granitóides: 0,2 Rochas Metassedimentares: 1,35
Pede (2004)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
DAEE/SERVMAR (2008)	0,704	Sem Informação	0,196
FABHAT/SERVMAR (2012)	Formação São Paulo: 0,254 Formação Resende: 0,5	Sem Informação	Rochas Granitóides: 0,494 Rochas Metassedimentares: 0,495
Barbosa (2015)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação
Pino (2019)	Sem Informação	Sem Informação	Sem Informação

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

10.3. Perfilagens geofísicas

Foram obtidas informações de perfilagens realizadas em poços no âmbito dos trabalhos DAEE/SERVMAR (2008) e em trabalhos acadêmicos relacionados ao grupo de pesquisa do CEPAS (Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas) da USP (Universidade de São Paulo). No presente trabalho, foram realizadas perfilagens em 5 poços. Os itens seguintes detalham estes trabalhos.

10.3.1. Perfilagens efetuadas em estudos anteriores

Nos trabalhos desenvolvidos por DAEE/SERVMAR (2008) o imageamento acústico realizado em seis poços (691, 692, 1501, 1502, 1503 e 1249) permitiu verificar estruturas como xistosidade, bandamento e fraturas, ocasionalmente representativas das falhas que controlam os fluxos subterrâneos no Sistema Aquífero Cristalino (SAC).

A verificação dessas estruturas orientou o posicionamento de obturadores para a definição de sentidos de fluxo e amostragens de água em trechos isolados de poços.

Os compartimentos estruturais observados ao longo de perfis de poços foram investigados, principalmente, sob as seguintes ocorrências ou características: *trends* direcionais de fraturas, mergulhos de fraturas, paralelismo ou discordância das fraturas com relação à xistosidade ou bandamento e densidade do fraturamento.

As fraturas foram identificadas por feições associadas às alterações da rocha a partir da superfície de fraturas. Essas feições apresentaram espessuras de 1 mm até 10 cm que podem indicar relações de maior ou menor abertura, porém não permitindo definir tamanhos de abertura.

Associando-se o imageamento acústico a descrições de perfis litológicos, foi possível observar vários tipos de texturas: xistosa, foliada, maciça e bandada. A xistosidade, presente nos trechos de textura xistosa, caracteriza-se por grande variabilidade de direções, mas os mergulhos, em geral, são baixos, variando de 10º a 50º.

Nos trechos mais rasos de cada poço há um predomínio de fraturas paralelas à xistosidade e, conseqüentemente, de baixo ângulo. No trecho inferior de cada poço, os mergulhos das fraturas tendem a ser intermediários (45° a 65°) a elevados (60° a 90°), no entanto, também se observam fraturas de baixo ângulo. Esse predomínio de fraturas de baixo ângulo, na porção rasa e, de maior ângulo, na porção mais profunda, apresentou-se mais evidente no Poço 692.

Nos poços 691, 1502 e 1503, também ocorre um predomínio de fraturas de baixo ângulo na porção rasa e de maior ângulo, na porção mais profunda; no poço 1249, foram observadas fraturas apenas nas porções mais rasas, também com baixos mergulhos; no poço 1501, foram obtidos dados apenas após os 80 m de profundidade e, foram observadas fraturas com mergulhos médios ao longo de todo o trecho perfilado.

Deve-se considerar que, próximo à superfície, o alívio de carga tende a destacar ou formar fraturas de baixo ângulo, que tendem a ser desenvolvidas preferencialmente ao longo das estruturas mais antigas, ou seja, em planos de foliação, xistosidade ou bandamento.

De acordo com essas informações, em termos hidráulicos, isto pode implicar em que nas porções mais rasas, o fluxo se dê preferencialmente ao longo dessas estruturas de ângulo baixo, implicando em uma anisotropia para o aquífero fraturado neste setor.

Assim sendo, os contaminantes tendem a ser transportados para distâncias mais longas na direção horizontal, tendendo a acompanhar o mergulho dessas estruturas mais antigas.

Por esse motivo, o conhecimento dos *trends* dessas estruturas e de sua variação também é importante, podendo influenciar na anisotropia de fluxos subterrâneos. Em contraponto a essa observação, tem-se os poços que servem de canalização vertical, interligando as zonas superiores às inferiores do aquífero.

Um aspecto estrutural importante, favorável a um incremento no fluxo de água, é a bimodalidade dos mergulhos e direções observadas nos poços 691 (entre 110 m e 125 m ocorrem mergulhos de 10° a 30° e de 50° a 75°) e 692 (entre 130 m e 180m ocorrem mergulhos de 10° a 30° e de 50° a 70°). Isso deve proporcionar melhores condições para a circulação da água, pois, provavelmente, possibilita uma maior quantidade de intersecções de fraturas.

Os poços 691 e 692 apresentaram a compartimentação tectônica mais evidente dentre os quatro poços testados com obturadores, especialmente o poço 691. Em função disso, esses poços foram priorizados para a aplicação de testes com obturadores, detalhados no item subsequente deste relatório, buscando testar grandes compartimentações conforme descritas no **Quadro 24** e **Quadro 25**.

Quadro 24 - Compartimentação do poço 691 em intervalos com características estruturais distintas.

Poço	Profundidade	Direções das fraturas abrangidas
691	51,4 m	NE
	95,3	NE e NW
	110,5	NW

Fonte: DAEE/SERVMAR (2008).

Um detalhamento de dados estruturais, com levantamentos de atitudes de fraturas, é de grande valia para o conhecimento do comportamento dos fluxos de água no Sistema Aquífero Cristalino (SAC). O comportamento de estruturas existentes pode ser compreendido em sua associação com eventos tectônicos antigos e recentes e este entendimento permite associar as fraturas de eventos recentes a uma maior representatividade para o fluxo de água.

Quadro 25 - Compartimentação dos perfis dos poços estudados em intervalos com características estruturais distintas.

Nº Poço	Profundidade	Fraturas abrangidas	Fraturas espessas
692	46,3 m - 110 m	Direção principal abrangida: NW	N26-44W/30SW; N14-22E/20SE; N7-18E/10NW; N36E/16NE
	110 m - 198 m	Direção principal abrangida: NW	N36W/28SW; N9E/42NW; N60-65W/31SW a 38SW; N30W/51NE; N37E/62SE.
1249	37,4 m - 60 m	Fraturas se relacionam sobretudo à xistosidade	Nenhuma fratura espessa
	60 m -84,5 m	Ocorrem fraturas menos proeminentes	N8W/36SW; N85W/29SW
	84,5 m -120 m	Fraturas mais espessas são paralelas a foliação	N56E/43NW; N20E/36NW; N67E/40NW; N73E/47NW
	120 m -180,6 m	Menor densidade de fraturas neste intervalo	N42W/52NE; N51W/51NE
1501	79 m - 108 m	Maior densidade de fraturas, porém com menores espessuras.	N25-65E/(25-60SE)
	108 m -146 m	Menor densidade de fraturas, porém com maiores espessuras.	N76/28SE; N69W/30SW; N18E/54SE; N35W/32NE.
1502	76 m - 90 m	N10-40W/20-50NE	Nenhuma fratura espessa
	90 m - 119 m	Poucas fraturas neste intervalo	N28W/15NE
	120 m - 178 m	Varia continuamente N30-80E (20-70º)	N25E/51NW
1503	120 m - 135 m	Grande presença de fraturas espessas	N15W/4SW; N26E/21NW; N34W/13NE; N33E/35SE
	135 m - 175 m	Baixa densidade de fraturas	Nenhuma fratura espessa
	175 m - 176 m	Textura de transição e xistosa.	N26W/45NE

Fonte: DAEE/Servmar (2008).

De modo geral, em análise conjunta de todas as fraturas de todos os poços, observa-se a direção entre N30E e N65E predominante, mas também ocorrem os trends N10W-N20E, N35-50W e N65-75W.

Dos resultados das perfilagens realizadas por DAEE-SERVMAR (2008) é importante destacar que as direções de fraturas são coincidentes com as principais direções encontradas nos trabalhos de levantamentos de sistemas de fraturas regionais (ALVES, 2008 e FERNANDES *et al.*, 2016).

Quanto às pesquisas acadêmicas, podem ser citados os estudos de Ribeiro (2012), Fiume (2013), Pino (2019), Barbosa (2020), descritos a seguir. Esses

trabalhos foram desenvolvidos por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) e vinculados, também, ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS).

Como exemplo, Ribeiro (2012) realizou em seu estudo perfilagens geofísicas em 5 poços (255, 256, 1204, 1346 e 1401) tubulares na região do Canal do Jurubatuba, com o intuito de caracterizar a atitude das fraturas e o sentido do fluxo da água subterrânea.

Nesse contexto, foram realizadas pesquisas utilizando-se métodos para determinar os seguintes parâmetros: temperatura (T), condutividade elétrica (CE), calibre de poço (cáliper), irradiação gama natural (gama), imageamento óptico (OTV), imageamento acústico (ATV) e velocidade de fluxo (*flowmeter*).

Foi observada uma boa correlação entre os perfis de irradiação gama e os dados litológicos dos poços disponíveis no banco de dados da SP Águas.

Ribeiro (2012) destaca a presença de um contraste entre os dados obtidos nas regiões mais rasas (parte revestida do poço e composta por sedimentos e/ou rocha alterada) e a região mais profunda (composta por gnaisses, pegmatitos, granitos e xistos). Até mesmo na porção sedimentar, foi possível verificar pequenas diferenças na resposta gama em locais com camadas mais arenosas ou mais argilosas.

O **Quadro 26** apresenta as estruturas identificadas nos poços estudados (255, 256, 1204, 1346 e 1401) e as fraturas hidraulicamente ativas indicadas nos poços 255, 256, 1204, obtidas por meio dos perfis de vazão, condutividade elétrica e de temperatura.

Quadro 26 - Grupos de estruturas identificadas e fraturas hidráulicamente ativas em poços estudados nas redondezas do Canal Jurubatuba.

Estruturas Observadas (Poços 255, 256, 1204, 1346 e 1401)	Fraturas Hidráulicamente Ativas (Poços 255, 256, 1204)
NNE-SSW/ $\leq 30^\circ$ NW ou SE	Paralelas a foliação
NE30-50E/ $>30^\circ$ NW e SE	N40-60E/30-70 NW
N0-20W/mergulhos variados para NE e SW	N0-10W/30-70 NE
N80-90W/ $>70^\circ$ para NE e SW	N80-90/70 NE

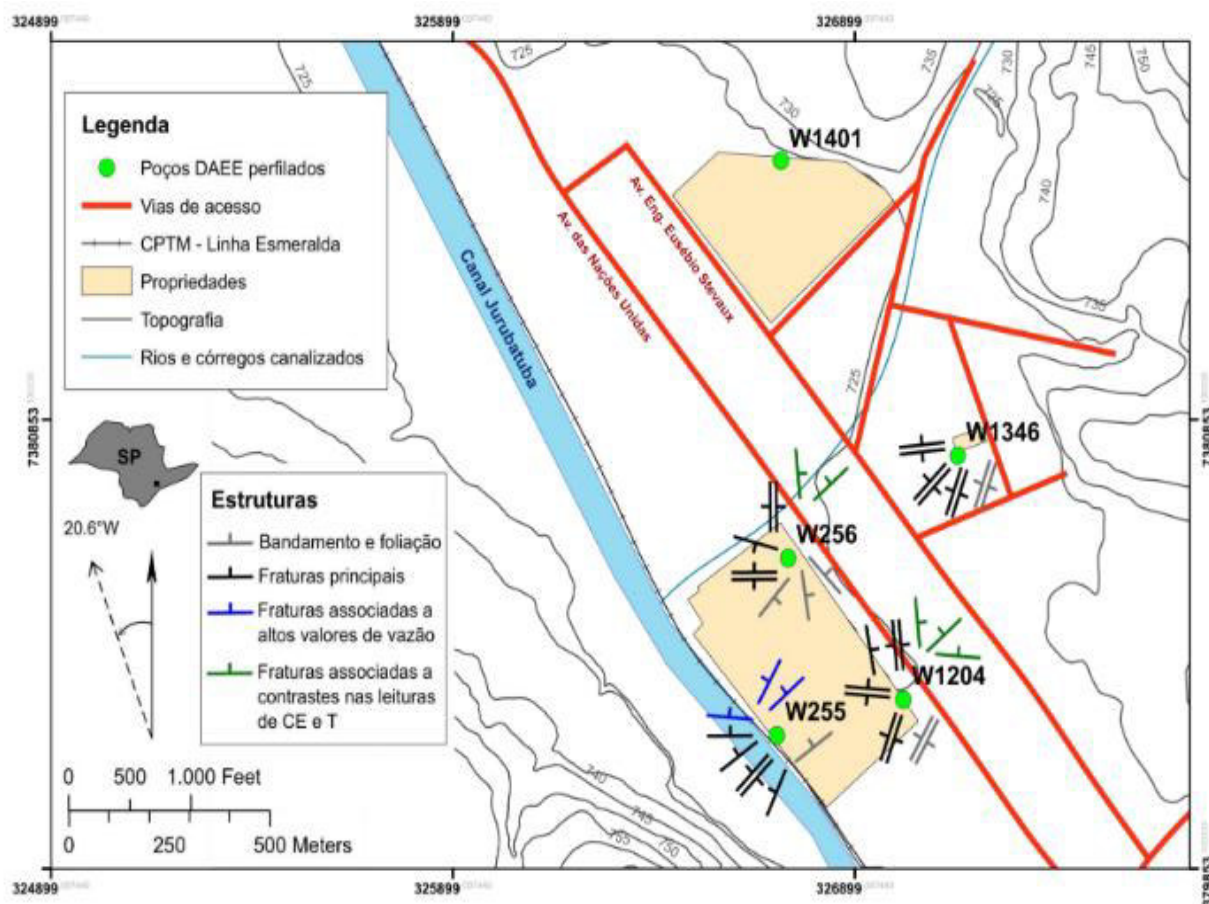
Fonte: Ribeiro (2012).

Ribeiro (2012) constatou a presença mais significativa de fraturas de alto ângulo ($>70^\circ$) nas porções mais profundas dos poços, concordante com o modelo conceitual proposto inicialmente em DAEE/SERVMAR (2008) e L'Apicciarella (2009).

A **Figura 55** resume as principais estruturas observadas nos poços estudados, destacando-se direções de bandamento e foliação, fraturas principais e fraturas associadas a altos valores de vazão.

É importante ressaltar que duas direções de fraturas associadas a alta favorabilidade de fluxos subterrâneos, de direção NE (Ribeiro, 2012), corroboram com Fernandes (2016). Já a terceira fratura associada a alta favorabilidade de fluxo, de direção W, corrobora com os principais lineamentos indicados por Fiume (2013), na porção sul da área de estudos.

Figura 55 - Mapa de estruturas observadas em poços nas vizinhanças do Canal Jurubatuba.



Fonte: Ribeiro (2012).

Por sua vez, Fiume (2013) realizou posteriormente investigação estrutural detalhada da área e utilizou-se de métodos de perfilagem geofísica. Aplicou os seguintes métodos em quatro poços profundos (255, 256, 1204 e 1346): temperatura (T), condutividade elétrica (CE), calibre de poço (cáliper), irradiação gama natural (gama), imageamento óptico (OTV), imageamento acústico (ATV) e velocidade de fluxo (*flowmeter*). Além destes, os dados de perfilagens acústicas realizadas no projeto DAEE/Servmar (2008) nos poços 691, 692, 1249, 1501, 1502 e 1503 também foram utilizados por Fiume (2013).

Fiume (2013) verificou que as fraturas paralelas à foliação constituem um padrão mais definido que o observado em dados do projeto DAEE/SERVIMAR (2008).

Constatou, também, um predomínio de direções para NNE e NE e, subordinadamente, ocorrem ainda as direções NW e NNW.

Os mergulhos variam desde subhorizontais até 70°, sendo os valores entre 10-40° os mais frequentes. A seguir estão descritos os grupos de fraturas, por ordem de importância:

- Grupo de direção E-W a ENE com mergulho superior a 60°: ocorre nos poços 255, 256, 1204, 1346 com mergulho para N, e com mergulho para S no poço 1503. Nos poços 255 e 256, a direção está próxima de N70-90E e nos poços 1346 e 1503 a direção é de N60-80E. No poço 1204, por sua vez, a direção é WNW;
- Grupo de direção NE e mergulho superior a 60°: foram verificados nos poços 691 e 692, com direção de N30-60E. Também está presente com direção de N10-40E, mas em menor proporção nos poços 1204 e 1502.
- Grupo de direção E-W a WNW com mergulho médio: este grupo foi verificado nos poços 256 e 1204, apresentando mergulhos entre 30° e 65° com direções variando entre N60-90W e N75-90W, respectivamente;
- Grupo de direção N-S a NNW com mergulho superior a 60°: este grupo ocorre no poço 1204, apresentando direção de N0-15W, e também no 692 porém com menor expressão; e
- Grupo de direção NW com mergulho entre 50° e 80°: este grupo foi observado tanto no poço 691 quanto no 692. No poço 691 a direção é predominantemente de N40-65W, e no poço 692, a direção é de N20-40W.

Em relação a favorabilidade de fluxos subterrâneos, Fiume (2013) destaca que, a partir de dados observados em afloramentos geológicos e dos poços, pode ser considerado que os grupos NW a NNW, E-W e NE, de mergulho alto, podem ser importantes para os fluxos subterrâneos, entretanto, não foi possível estabelecer a hierarquia entre eles.

Outra constatação efetuada por Fiume (2013) foi a relação com os esforços atuais, de modo que as fraturas provavelmente mais transmissíveis de águas

subterrâneas estão de acordo com um regime de esforços atual compressivo, correspondendo ao grupo de direção NNE-NE (associada à foliação). As fraturas com maiores vazões do poço 1204 são as de direção N-S a NNE, com mergulho menor que 15°, compatíveis com regime compressivo.

Já no poço 256, os maiores valores de vazão foram verificados em fraturas de direção N-S a NE com mergulho entre 50-60°, que podem ser reativadas por diversos campos de esforços.

Posteriormente, Pino (2019) apresenta novas perfilagens para poços anteriormente já estudados por DAEE/SERVMAR (2008), sendo eles: 1501, 1502 e 1503. As perfilagens realizadas foram de temperatura (T), condutividade elétrica (CE), calibre de poço (cáliper), irradiação gama natural (gama), imageamento óptico (OTV), imageamento acústico (ATV) e velocidade de fluxo (*flowmeter*).

Os dados de perfilagem geofísica na pesquisa de Pino (2019), confirmaram estruturas já identificadas pela autora em testemunhos de sondagem. Foram verificadas estruturas com mergulhos entre 0-40° predominantemente paralelos à foliação do gnaiss bandado e estruturas com mergulhos entre 40-65° principalmente na litologia de gnaiss fino. As perfilagens também foram essenciais na caracterização de zonas de fraturamento mais expressivas, conforme mostradas no **Quadro 27**.

Quanto à essas zonas Pino (2019) afirma:

“...foram observadas grande perda de água de circulação da perfuração, sugerindo presença de relevante fluxo de água subterrânea, posteriormente confirmada através de ensaios com obturadores, revelando altos valores de transmissividade...” (PINO, 2019, p 91).

Esse fato corrobora com o modelo conceitual proposto por DAEE/SERVMAR (2008) e L'Apicciarella (2009), nos quais se aponta que, em sistemas de fraturas nas zonas rasas do aquífero e de baixo mergulho, há boa favorabilidade de fluxo da água.

Resumidamente, a partir dos dados de perfilagem geofísica, somados a dados de testemunho e descrições de afloramentos, Pino (2019) caracterizou a presença de 5 famílias de fraturas no total (**Quadro 27**).

Quadro 27 - Zonas de fraturamento expressivas e famílias de fraturas na ARC-Jurubatuba.

Zonas de fraturamento expressivas	
39-40 m	S72W/82NW e S14E/25SW
45-46 m	N48E/16SE
49,3-50 m	N15E/17SE e S52E/15SW
53-53,3 m	N35W/40NE
Famílias de Fraturas	
A	sub-horizontal
B	N64E/37SE
C	N0-35/37-49 SE
D	N45-38W/80-86 NE ou SW

Fonte: Pino (2019).

A partir de ensaios com obturadores, Pino (2019) verificou que os trechos com maior relevância para os fluxos de águas subterrâneas envolvem associações das famílias de fratura A e B. Apesar de não ter sido possível a obtenção de informação a respeito das famílias D e E nos ensaios, estas podem se relacionar às estruturas NNW a NNE com alto ângulo de mergulho citadas por Fiume (2013) e que por sua vez possuem importância intermediária ao fluxo da água subterrânea regional. Pino (2019) também conclui que o fluxo não é necessariamente função de uma única família de fraturas, podendo a favorabilidade ser intensificada quando ocorre a associação de diferentes famílias.

Subsequentemente, Barbosa (2020) realizou as seguintes técnicas de perfilagem geofísica nos poços 255, 256 e 1204: câmera, calibre de poço (cáliper), irradiação gama natural (gama), imageamento óptico (OTV), imageamento acústico (ATV), velocidade de fluxo (*flowmeter*) e MUST (*Mobile Unit for Sampling and Testing*). Como os poços 255 e 256 apresentaram resultados parecidos, Barbosa (2020) detalhou somente os resultados do poço 255.

A partir da análise dos dados de perfilagem ótica e acústica, Barbosa (2020) identificou um total de 234 fraturas. O principal grupo observado apresenta mergulho baixo ($<30^\circ$) com direção para N330°. Também se verificou um grupo de fraturas com direção média de N350° com mergulho alto ($>60^\circ$).

Os dados de *flowmeter*, considerando tanto fluxo ambiente quanto fluxo induzido, permitiram a inferência de que a principal zona produtora de água neste poço ocorre entre 156 e 162 m.

Já em relação aos dados do poço 1204, Barbosa (2020) identificou 266 fraturas no total. Nesse poço, as fraturas são predominantemente sub-horizontais com mergulho baixo ($<30^\circ$), mergulhando majoritariamente de NNE a ESE. Os dados de *flowmeter* revelaram a existência de ao menos 3 zonas hidráulicamente ativas no poço 1204, sendo elas nas seguintes profundidades: 250 m, 205 m e em 124 m.

No geral, considerando todos os trabalhos de perfilagem realizados localmente, pelos pesquisadores do CEPAS, é possível reafirmar a situação proposta por FERNANDES *et al.* (2016), onde resumidamente se destacam maiores favorabilidades de fluxos subterrâneos nos sistemas de fraturas de direções NE com mergulhos sub-horizontais e sub-verticais e sistemas de fraturas relacionados às foliações.

Observa-se ainda uma concordância geral com o modelo conceitual proposto por DAEE/SERVMAR (2008) e L'Apicciarella (2009), nos quais se apontam que sistemas de fraturas nas zonas rasas do aquífero e de baixo mergulho têm boa favorabilidade de fluxo.

Por fim, cabe acrescentar que são constatadas ainda sistemas de fraturas de direção aproximadamente N, observados anteriormente por FERNANDES *et al.* (2016); sistemas de fraturas de direção W, observados em lineamentos indicados por Fiume (2013); e sistemas de fraturas de direção NW, admitidos por FERNANDES *et al.* (2016) como de média favorabilidade, porém com destacada importância pela interconectividade que estes sistemas de fraturas, entrecruzados com os demais, favorece ao fluxo.

10.4. Modelo de circulação das águas subterrâneas

O modelo de circulação das águas subterrâneas para a área de estudo foi elaborado unindo o reconhecimento da hidrogeologia local, informações litológicas e construtivas dos poços, interpretações da geologia estrutural, observação de níveis potenciométricos e observação quanto a parâmetros hidráulicos obtidos acerca das unidades aquíferas na ARC-Jurubatuba e entorno.

Com base nos estudos anteriores e nas descrições litológicas dos poços, existentes no cadastro de poços, são discretizados três meios com diferentes características hidráulicas: o meio sedimentar, referente ao Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), na parte superior; a rocha alterada em posição intermediária; e, a rocha sã, na base, referentes ao Sistema Aquífero Cristalino (SAC).

De modo geral, a maior parte da área exhibe condições de recarga do aquífero mais superficial, por infiltração de águas pluviais e, também, por parcelas de água oriundas das perdas da rede pública e, estima-se, conceitualmente, que a descarga dos fluxos de água segue em direção às drenagens principais locais, quais sejam, rio Pinheiros e Canal do Jurubatuba.

Segundo Rocha (1989), apesar da urbanização e sua respectiva impermeabilização do afloramento da Bacia Sedimentar de São Paulo “[...] *há uma recarga garantida proveniente dos domínios aquíferos das rochas cristalinas alteradas*”. Segundo o mesmo autor, existe também a contribuição por parte das perdas da rede de distribuição de águas e de esgoto.

Em relação à potencimetria, conforme Lima *et al.* (2004), o fluxo principal na área dirige-se às principais drenagens superficiais, mas há fluxos em direção contrária em pontos locais, devido à grande heterogeneidade das condutividades hidráulicas, considerando-se a sucessão de pacotes argilosos, siltsos e arenosos e recargas antrópicas.

Giancursi e Lopes (1980) descreveram que a exploração de água subterrânea na Bacia de São Paulo se processa de forma bastante irregular, apresentando altas

taxas de bombeamento em certas zonas de concentração industrial e empresarial, ao contrário de outras zonas, mais residenciais, onde a exploração é mínima.

Essa exploração contínua e concentrada, aliada a problemas de recarga e das características lito faciológicas da bacia, permite a determinação de zonas de rebaixamento contínuo e acentuado do lençol freático, com a consequente diminuição da espessura saturada dos sedimentos, em função da redução da elasticidade destes.

Entretanto, cabe destacar que, a partir da criação da área de restrição de uso da água subterrânea no Jurubatuba, o cenário apontado por Giancursi e Lopes (1980) foi bastante modificado tendo como consequência condições de uso bem específicas, tanto para o uso industrial e empresarial, quanto para o uso doméstico.

Ficou evidente a partir do cadastramento de poços realizado no presente trabalho que o número de poços utilizados na área de alta restrição ao uso de águas subterrâneas foi bruscamente reduzido. Por outro lado, observou-se fora dos limites da ARC - Jurubatuba, mais especificamente na porção nordeste da área, que houve um aumento expressivo no número de poços utilizados para o uso doméstico, conforme monitoramento realizado pela COVISA.

Conforme Bertolo (1996), a evolução da exploração do aquífero ao longo do tempo é um importante fator que interfere no nível d'água nos poços. Quanto mais próximos os poços e quanto maior o número de poços em operação no momento da leitura do nível d'água num poço, mais profundo será esse nível d'água dinâmico devido às interferências relacionadas aos cones de rebaixamento dos múltiplos poços em operação. Assim, numa área de exploração intensiva de água subterrânea, há variações significativas quanto a representatividade do nível d'água medido em poços em relação ao nível d'água real do aquífero.

Conforme SILVA (2018), as caracterizações hidroquímicas e isotópicas mostraram que os aquíferos avaliados apresentaram alteração na qualidade de suas águas, em maior ou menor grau, em diferentes níveis, em decorrência de contribuição de fontes de recarga antrópica. O amônio se mostrou o indicador mais eficaz na

determinação de contribuição antrópica na recarga por esgoto e a presença de nitrato reflete a potencial atuação de processos de nitrificação nas águas subterrâneas.

Ainda segundo SILVA (2018), os resultados dos métodos físicos utilizados para o cálculo de recarga indicaram valores muito próximos. A recarga potencial pelo método do balanço hídrico apresentou média anual de 18,84% e a estimativa de recarga média pelo método da variação do nível d'água de 16,27% do total de precipitação. Enquanto o método isotópico indicou média geral de 51,7% de contribuição antrópica na mistura das águas subterrâneas. A influência de fluxos ascendentes, identificada pelas cargas hidráulicas dos poços monitorados e pelas semelhanças hidroquímica e isotópica entre as águas dos poços profundos e rasos, está contribuindo para a mistura das águas subterrâneas dos aquíferos de porosidade intergranular.

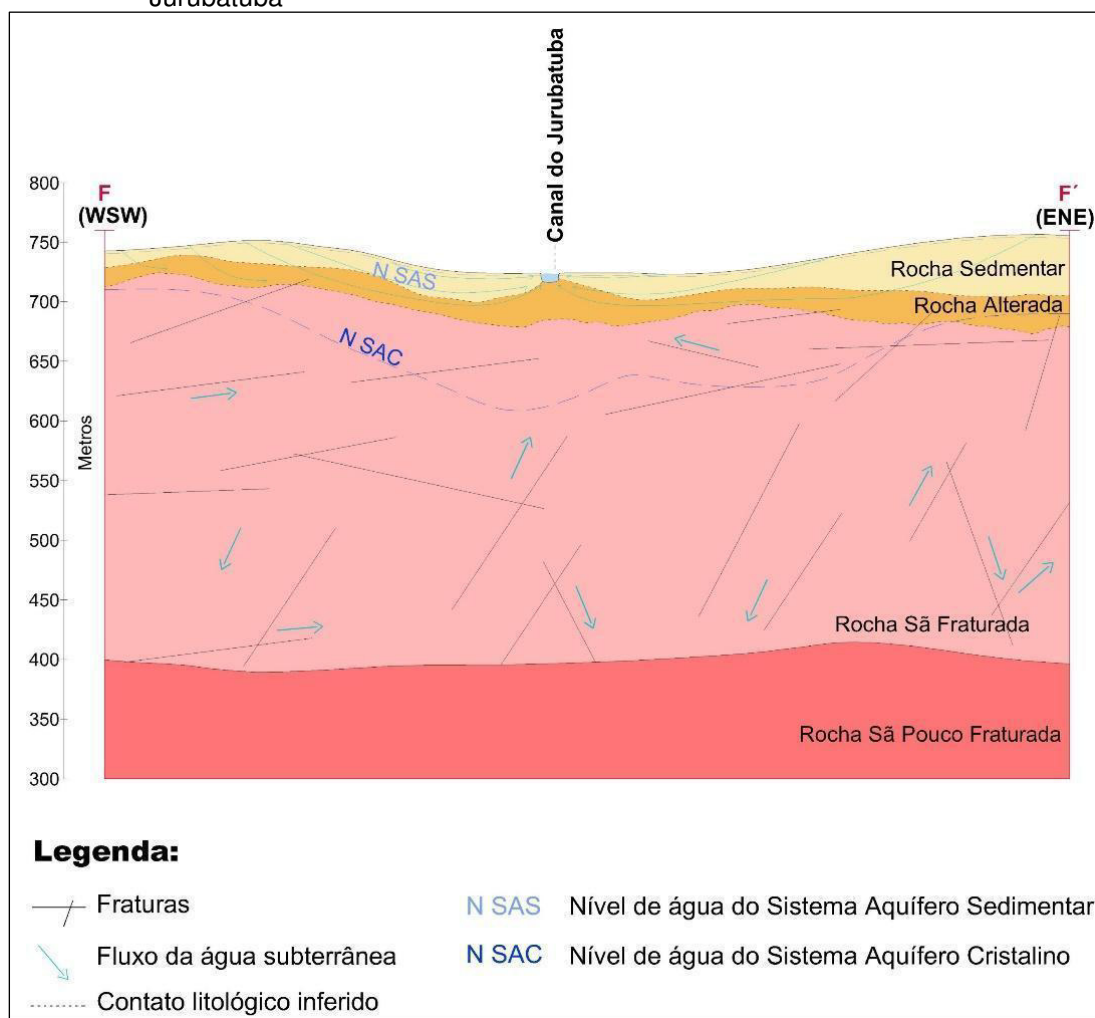
Conforme DAEE/SERVMAR (2008), o modelo de fluxos da água subterrânea mostra que no Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) deve predominar um sistema de fluxos local e os fluxos de água no Sistema Aquífero Cristalino (SAC), dado por fraturas, está associado a um fluxo local vertical e a um sistema de fluxos horizontais, de caráter regional.

Nesse modelo, observa-se que os fluxos de água subterrânea no Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) possuem uma relação direta com as fontes primárias e secundárias de contaminação. Já os fluxos de água no Sistema Aquífero Cristalino (SAC) têm a potencialidade de propagar a contaminação a distâncias mais longas do que o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), considerando a dinâmica de fluxos por caminhos preferenciais que o aquífero fraturado tem por característica.

A **Figura 56** apresenta o modelo conceitual hidrogeológico elaborado por DAEE/SERVMAR (2008) com dois níveis de água para a região de estudo, sobretudo para a parte central da área, próximo ao Canal do Jurubatuba. O primeiro nível, mais raso, associado ao Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) é concordante com os níveis das drenagens locais e, o segundo nível, mais profundo, relativo ao nível dinâmico resultante do intenso bombeamento do Sistema Aquífero Cristalino (SAC),

aparentemente deslocado, ou com grande atraso de resposta do Sistema Aquífero Sedimentar (SAS). É um efeito transiente causado pela forte anisotropia (vertical *versus* horizontal) dos sistemas aquíferos Cristalino (SAC) e Sedimentar (SAS). Em contraponto a esse modelo de forte anisotropia, a rede de poços de produção conecta as partes superiores às inferiores dos aquíferos.

Figura 56 - Modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos no entorno do Canal Jurubatuba



Fonte: DAEE/SERVMAR (2008).

Conforme L'APICCIRELLA (2009), a contaminação na ARC-Jurubatuba é provinda de múltiplas fontes compondo um conjunto de plumas que estende-se por uma área de cerca de 6 km no seu maior eixo e até 3,5 km de largura. Esse cenário decorre de práticas inadequadas de manejo de solventes organoclorados, agravado

pelas condições descritas no modelo conceitual hidrogeológico de fluxos subterrâneos, o qual demonstra que o contaminante pode atingir o aquífero fraturado, aprofundando-se e percorrendo longas distâncias por meio de caminhos preferenciais nas fraturas.

10.5. Atualização do modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos

O modelo conceitual hidrogeológico de fluxos subterrâneos foi elaborado a partir de duas seções e um bloco diagrama. As duas seções escolhidas são as que melhor representam o SAS, considerando os perfis com maior detalhamento litológico, bem como representam o SAC, considerando as direções NE, paralela ao principal sistema de fraturas e NW, perpendicular ao principal sistema de fraturas. O bloco diagrama é representativo exclusivamente do SAC, uma vez que a superfície superior do bloco tem a função de demonstrar tridimensionalmente os principais sistemas de fraturas.

Em síntese, deve-se considerar a maior favorabilidade de fluxos subterrâneos no Sistema Aquífero Cristalino (SAC) associada aos sistemas de fraturas NE-SW (FERNANDES *et al.*, 2016), aos sistemas de fraturas relacionados às foliações (FERNANDES *et al.*, 2016) e aos sistemas de fraturas nas zonas rasas do aquífero e de baixo mergulho (DAEE/SERVMAR, 2008 e L'APICCIRELLA, 2009), bem como nas diversas perfilagens dos trabalhos desenvolvidos por pesquisadores acadêmicos do CEPAS (RIBEIRO, 2012; FIUME, 2013; PINO, 2019; e BARBOSA, 2020).

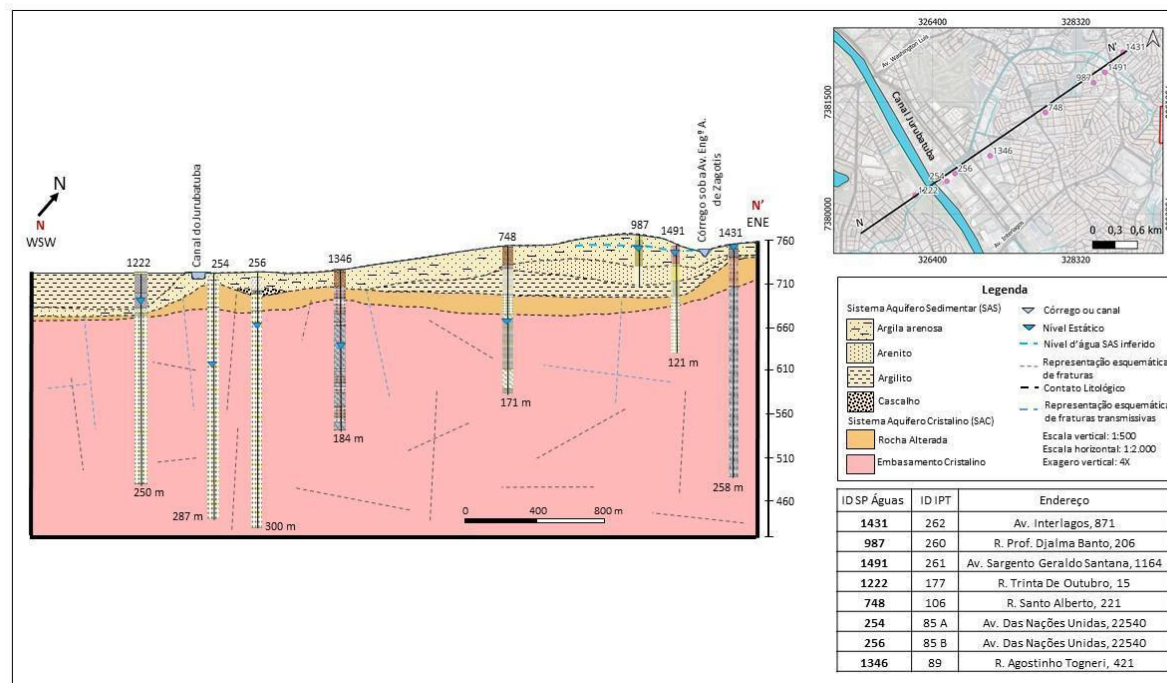
A **Figura 57** apresenta o modelo conceitual hidrogeológico elaborado a partir da seção N-N' de direção NE, paralela ao principal sistema de fraturas (de direção NE) em termos de favorabilidade de fluxos subterrâneos.

A **Figura 58** apresenta o modelo hidrogeológico conceitual de circulação das águas subterrâneas elaborado a partir da seção O-O' de direção NW, perpendicular ao principal sistema de fraturas (de direção NE) em termos de favorabilidade de fluxos subterrâneos. A seção O-O' é uma integração e aprimoramento das seções D-D' e

D'-D'' de DAEE/SERVMAR (2008), paralelas ao rio Pinheiros, tendo sido detalhada a litologia do SAS.

Relatório Técnico nº 176.600-205 164/986

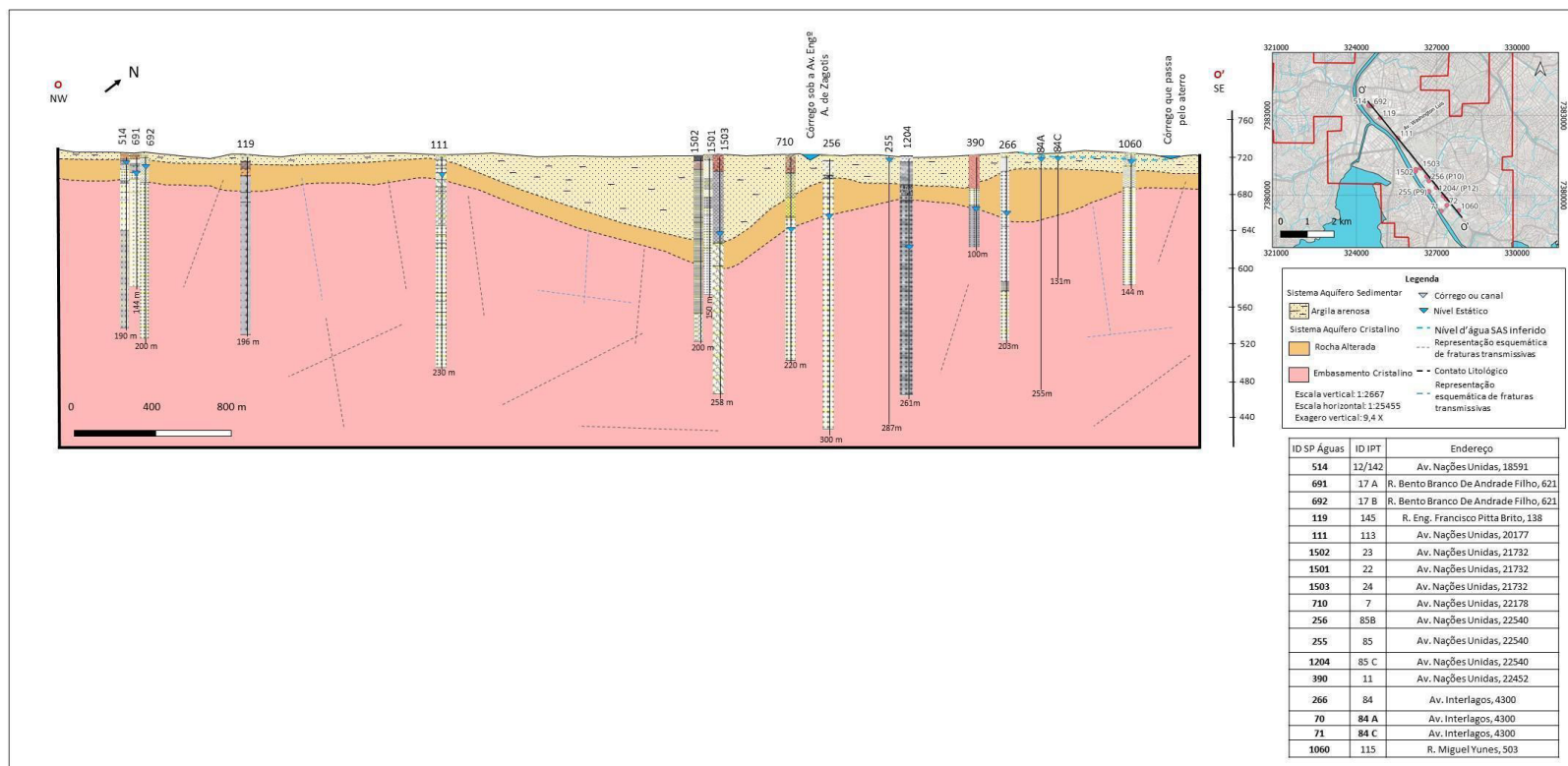
Figura 57 - Modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos na seção N-N' na porção sudeste da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto –FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Relatório Técnico nº 176.600-205 165/986

Figura 58 - Modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos na seção O-O' na porção central da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto – FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

A principal contribuição ao modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos a partir de duas seções em relação ao entendimento do SAS, é a demonstração das intercalações de camadas de argilito e arenito, que definem a formação de aquíferos suspensos e situações de semiconfinamento, bem como da possível retenção de contaminantes nas camadas mais impermeáveis.

Quanto às intercalações de camadas de argilito e arenito, é importante observar que as camadas representadas nas seções são compatíveis com as descrições de perfis litológicos e com a escala de trabalho adotada. Porém, deve-se destacar que mesmo em cada camada representada ocorrem variações com intercalações menores de argila e areia. Ou seja, em uma camada representada nas seções como arenito, há intercalações menores, e menos predominantes, de camadas de argila, e vice-versa, impossíveis de representar na escala deste trabalho.

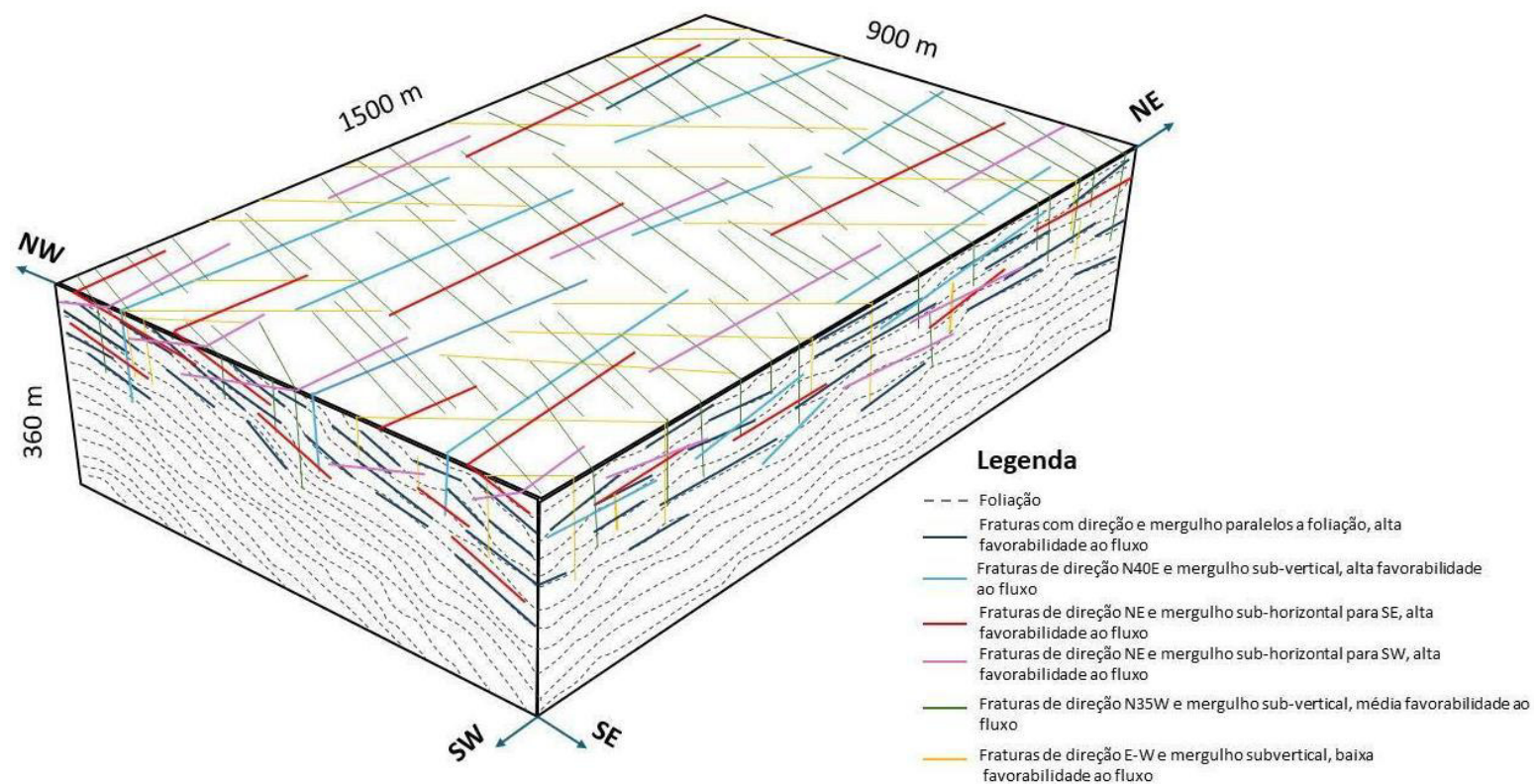
A **Figura 59** apresenta o modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos em bloco diagrama elaborado a partir do bloco diagrama de FERNANDES *et al.* (2016), sendo complementado por informações dos trabalhos de pesquisadores do CEPAS (RIBEIRO, 2012; FIUME, 2013; PINO, 2019; BARBOSA, 2020). São destacados os principais sistemas de fraturas de alta favorabilidade de fluxos subterrâneos, bem como os sistemas de fraturas de média e baixa favorabilidade.

No modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos, representado em bloco diagrama, foram mantidas as representações de fraturas com direção e mergulho paralelos à foliação, bem como as fraturas de direção N40E e mergulho subvertical, ambas caracterizadas por alta favorabilidade aos fluxos subterrâneos, conforme definido por FERNANDES *et al.* (2016).

Além disso, foram incorporadas: (i) fraturas de direção NE e mergulho sub-horizontal para SE, de alta favorabilidade; (ii) fraturas de direção NE e mergulho sub-horizontal para SW, também de alta favorabilidade; (iii) fraturas de direção N35W e mergulho subvertical, de média favorabilidade; e (iv) fraturas de direção E-W e mergulho subvertical, de baixa favorabilidade.

Essas informações supracitadas foram compiladas a partir de pesquisas acadêmicas desenvolvidas no CEPAS/USP (RIBEIRO, 2012; FIUME, 2013; PINO, 2019; BARBOSA, 2020).

Figura 59 - Modelo hidrogeológico conceitual de fluxos subterrâneos em bloco diagrama da ARC-Jurubatuba.



Fonte: Modificado de FERNANDES *et al.* (2016).

Para a elaboração do bloco diagrama, foi considerada a informação recorrente nas pesquisas acadêmicas do CEPAS/USP (RIBEIRO, 2012; FIUME, 2013; PINO, 2019; BARBOSA, 2020), qual seja, de uma densidade maior de fraturas, inclusive aquelas predominantemente de baixo ângulo, nas porções mais rasas do aquífero (até 100 m de profundidade).

Ainda, de acordo com a interpretação de L'APICCIRELLA (2009) que, em poços mais profundos (até pouco mais de 300 m de profundidade), existe a tendência de diminuição das potencialidades do aquífero e, portanto, foi admitido que, a partir de 400 m de profundidade, o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) perde permeabilidade.

Cabe destacar que existe elevado potencial de fluxos subterrâneos no Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e, conseqüentemente, leva à dispersão de contaminantes. A interconectividade desses sistemas de fraturas, entrecruzados, favorece ainda mais as condições de fluxos subterrâneos da água e dos contaminantes.

Os lineamentos predominantes nas direções NE e NW, além daqueles observados aproximadamente nas direções N e W (FIUME, 2013), juntamente com os diversos estudos de perfilagens realizados pelo CEPAS, reforçam a interconectividade entre esses sistemas de fraturas.

11. BALANÇO HÍDRICO

A determinação do balanço hídrico de uma bacia constitui um dos instrumentos fundamentais para implementação da gestão quantitativa das águas, especialmente no contexto das políticas públicas de Recursos Hídricos - tanto em âmbito estadual quanto federal.

O conhecimento dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica é essencial para a elaboração dos planos de recursos hídricos (como por exemplo, os planos de bacia); a implementação dos programas estratégicos; e o direcionamento de ações e projetos voltadas para a garantia da quantidade que possa atender a todos os usuários de água do local ou região.

Assim sendo, o balanço hídrico pode ser entendido como a contabilização das entradas e saídas de água em um determinado espaço. Essa análise pode assumir diferentes níveis de complexidade, dependendo da abordagem pretendida: o cálculo pode ser realizado para uma camada do solo, um trecho de rio ou para conjuntos de bacias hidrográficas. Além disso, é possível considerar apenas parcelas específicas de entrada e saída - aquelas mais diretamente medidas ou monitoradas, para subsidiar a gestão da disponibilidade de água de uma área de interesse. Isso porque a determinação do balanço hídrico completo de uma bacia é complexa e depende do conhecimento parametrizado de fatores do ciclo hidrológico (precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração, infiltração), variáveis climáticas, condições do solo e sua utilização, hidrogeologia da bacia, usos da água existentes, histórico de monitoramento dos principais parâmetros que indicam a qualidade da água, entre outros.

No caso da ARC-Jurubatuba, o balanço hídrico foi calculado considerando-se as parcelas gerais dos usos consuntivos da água que incluem todos os tipos de demandas por recursos hídricos subterrâneos e superficiais outorgados, e as respectivas ofertas hídricas, provenientes de mananciais superficiais e subterrâneos.

11.1. Demandas em águas subterrâneas

Na área de estudo, foram compilados 755 poços destinados à captação de águas subterrâneas.

Com base nas condições observadas em campo e nas informações disponíveis em cadastros existentes acerca desses poços, foi adotada a seguinte classificação:

- ✓ Ativos: compreendem aqueles que estão equipados e em operação;
- ✓ Desativados: se encontram sem operação de bombeamento e podem se encontrar tanto equipados como não equipados;
- ✓ Lacrados: representam os poços inativos que possuem algum tipo de proibição de operação do poço e uso da água;
- ✓ Aterrados/soterrados: são poços que foram desmobilizados e que, de alguma forma tiveram sua estrutura (revestimento) preenchida;

- ✓ Tamponados: são os poços que, segundo informações obtidas no local ou documentação recebida do proprietário, foram desativados, desmobilizados e preenchidos com materiais inertes seguindo orientações técnicas;
- ✓ Inexistentes: são aqueles casos que não foram observados poços no endereço do pré-cadastro ou, segundo informações obtidas durante a visita, não se confirmou a existência de poços no local; e
- ✓ Sem acesso: representam os locais onde não foi possível a vistoria da equipe, devido a não autorização ou a não existência de pessoas na área.

Assim sendo, quanto à situação ou condição observada dos poços registrados na base de dados do projeto, foram identificados: 122 poços ativos (16%), 61 desativados (8%), 178 classificados como abandonados/inexistentes (24%) e 394 sem informação ou sem acesso (52%), conforme apresentado no **Quadro 28**.

Quadro 28 - Situação geral dos poços cadastrados.

Situação do Poço	Observação	Nº de Poços	% Total
Ativos	-	122	16,0
Desativados	-	61	8,0
Sem acesso ao poço	-	394	52,0
Abandonados/Inexistentes	Lacrado	25	24,0
	Aterrados/soterrados	15	
	Tamponados	40	
	Inexistentes	98	
Total		755	100,0

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Dos 755 poços cadastrados, apenas 278 (cerca de 37%) possuem informações sobre a vazão de água extraída. Para os poços que não apresentam esse dado, foi estimada uma vazão média com base nos valores registrados no cadastro de poços.

O cálculo da vazão média considerou tanto a situação do poço, quanto à origem da informação (dados de campo ou de cadastro). Dessa forma, foram determinadas oito vazões médias distintas, conforme apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Vazão média estimada para os poços sem informação desse parâmetro.

Situação do Poço	Fonte do dado	Nº de Poços com vazão Informada (A)	Soma das vazões Informadas (m³/h) (B)	Vazão Média Estimada (m³/h) (B/A)
Ativo	campo	85	452,1	5,32
	cadastro	7	38,5	5,50
Desativado	campo	20	119,5	5,98
	cadastro	1	6,8	6,80
Abandonado	campo	10	89,75	8,98
	cadastro	1	1,2	1,20
Sem acesso ao poço	campo	42	240,9	5,74
	cadastro	112	679,4	6,07

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Para quantificar a demanda total de água subterrânea extraída na área de estudo, foram considerados os poços classificados como ativos, desativados e sem acesso, totalizando 577 poços (**Anexo 12**). Os poços abandonados foram desconsiderados, uma vez que não há perspectiva de futuras captações.

Com base nessa abordagem, a demanda estimada de água subterrânea desses usos outorgados é de 3.384,52 m³/h, conforme apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Poços considerados para a determinação da demanda total de água subterrânea na área de estudo.

Situação do Poço	Ativo		Desativado		Sem acesso ao poço		Total Geral		Abandonado/Inexistente		Total Geral + Aband./Inexist.	
Fonte do dado	Nº Poços	Vazão (m³/h)	Nº Poços	Vazão (m³/h)	Nº Poços	Vazão (m³/h)	Nº Poços	Vazão (m³/h)	Nº Poços	Vazão (m³/h)	Nº Poços	Vazão (m³/h)
Campo	104	553,16	47	280,83	102	585,04	253	1419,03	131	1176,38	384	2595,41
Cadastro	18	99,00	14	95,20	292	1771,29	324	1965,49	47	56,40	371	2021,89
Total	122	652,16	61	376,03	394	2356	577	3384,52	178	1232,78	755	4617,30

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

A água subterrânea captada nos aquíferos da área de estudo é utilizada para diversas finalidades. Para a classificação dos diferentes usos, foi adotada a Instrução Técnica DPO nº 10/2017 (DAEE, 2017), cujas categorias são as seguintes:

- Industrial: uso em empreendimentos industriais, nos seus sistemas de processo, refrigeração, uso sanitário, combate a incêndios e outros;
- Urbano: toda água captada que vise, predominantemente, ao consumo humano em núcleos urbanos (sede, distrito, bairro, vila, loteamento, condomínio etc.);
- Recreação e Paisagismo: uso em atividades de recreação, tais como esportes náuticos e pesca; bem como para composição paisagística de propriedades (lago, chafariz etc.);
- Comércio e Serviços: uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário;
- Doméstico: uso sanitário em residências, urbano ou rural, incluindo consumo humano; e
- Outros: uso em atividades que não se enquadram nas acima discriminadas.

Na área de estudo, a maior parte dos poços e da vazão de água subterrânea extraída é destinada ao uso doméstico, totalizando 172 poços (30%) e 951,7m³/h (28%) do volume captado. Essas informações estão detalhadas na **Tabela 5**.

Tabela 5 - Captação total dos poços conforme a finalidade de uso.

Finalidade de uso	Nº Poços	Vazão total captada(m³/h)
Comércio e Serviços	5	33,2
Doméstico	172	951,7
Industrial	101	588,9
Outro	51	329,1
Recreação e Paisagismo	6	35,7
Urbano	104	610,3
Sem Informação	138	835,7
Total Geral	577	3384,5

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Considerando apenas os poços ativos outorgados, a principal finalidade de uso é a doméstica, com 37 poços (30%), seguida pelo uso urbano, com 33 poços (27%). No entanto, em termos de volume de captação de águas subterrâneas, os poços classificados como "sem informação" são os que apresentam o maior valor, totalizando 198,2 m³/h (30% do volume total). Em seguida, destacam-se os poços de uso urbano, com 181,5 m³/h (28%) e os de uso doméstico, com 165,8 m³/h (25%) (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Vazão total captada dos poços ativos outorgados conforme finalidade de uso.

Finalidade de Uso	Nº Poços	Vazão total captada (m³/h)
Doméstico	37	165,8
Industrial	12	62,0
Outro	8	33,1
Recreação e Paisagismo	3	11,5
Urbano	33	181,5
Sem Informação	29	198,2
Total Geral	122	652,2

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Na área de estudo, 327 poços (57%) não possuem informação sobre o aquífero explorado, sendo responsáveis por uma extração total de 1.979,1 m³/h (58%). Entre os poços que apresentam essa informação, a maioria capta o Sistema Aquífero Cristalino, com 183 poços (32%) e uma vazão total de 1.054,3 m³/h (31%), conforme pode ser visto na **Tabela 7**.

Tabela 7 - Distribuição dos poços conforme aquífero captado.

Poços ativos, desativados e sem informação.		
Sistema Aquífero	Nº Poços	Vazão total captada(m³/h)
Cristalino (1)	183	1054,3
Misto (2)	21	124,0
Sedimentar (3)	46	227,2
Sem Informação (4)	327	1979,1
Total Geral	577	3384,5

Observações: Quanto ao Sistema Aquífero, os poços foram classificados no cadastro efetuado no presente estudo da seguinte forma: (1) inclui poços "aquífero cristalino" e "cristalino aquífero cristalino fraturado"; (2) inclui poços aquífero "misto 1", "misto 2" e "misto 3"; (3) inclui poços "aquífero São Paulo", "aquífero Terciário Formação São Paulo" e aquífero sedimentar"; (4) inclui poços com informações não confiáveis, não informada, aquífero alterado e freático.

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Considerando apenas os poços ativos, 57 poços (47%) não possuem informação sobre o aquífero captado, sendo responsáveis por uma extração total de 341,3 m³/h (52%)

do volume total). Entre os poços com informação disponível, a maior parte está associada ao Sistema Aquífero Cristalino, com 47 poços (39%) e uma vazão total de 224,5 m³/h (35%), conforme pode ser visualizado na **Tabela 8**.

Tabela 8 - Distribuição de poços ativos por aquífero explotado.

Poços Operando		
Sistema Aquífero	Nº Poços	Vazão total captada (m³/h)
Cristalino	47	224,5
Misto	3	13,7
Sedimentar	15	72,7
Sem Informação	57	341,3
Total Geral	122	652,2

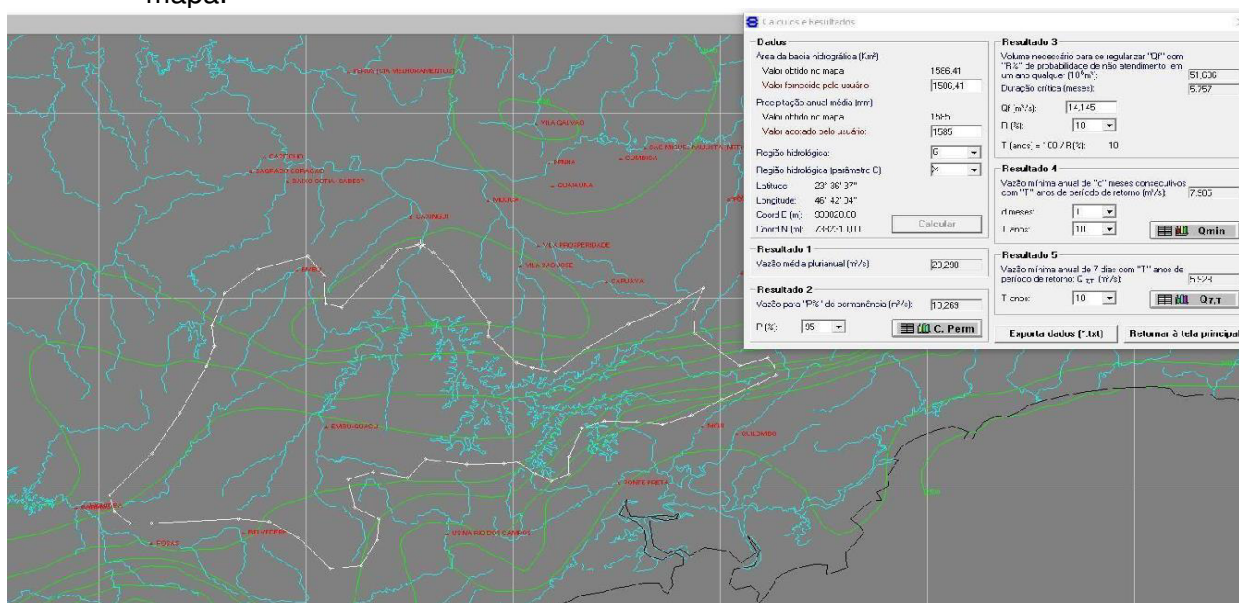
Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

11.2. Balanço hídrico das águas subterrâneas na ARC-Jurubatuba

O balanço hídrico da área estudada foi estimado com base na disponibilidade hídrica calculada por meio do método de regionalização hidrológica, conforme proposto por Liazzi *et al.* (1988). A demanda foi determinada a partir dos dados dos poços cadastrados no presente projeto, conforme detalhado nos itens anteriores.

Conforme o estudo de regionalização hidrológica, a vazão de referência ($Q_{95\%}$) da bacia contribuinte até o limite jusante da área de estudo é da ordem de 10,3 m³/s (**Figura 60**). Esse valor equivale ao escoamento de base (Q_b) dos cursos d'água, proveniente dos aquíferos, e pode ser considerado, para fins de avaliação de cenários de uso e de balanço hídrico, como a disponibilidade potencial total de água subterrânea na região (DAEE, 2024).

Figura 60 - Delimitação da bacia de contribuição compreendida pela linha branca traçada no mapa.



Observação: O resultado 2 corresponde à Vazão Q_b .
Fonte: DAEE (2024).

A disponibilidade hídrica considerada nesse trabalho foi calculada no estudo “Área de Restrição e Controle para a captação e uso das águas subterrâneas na região de Jurubatuba” realizado pelo DAEE (2024), utilizando o seguinte critério: por se encontrar numa pequena porção da bacia de contribuição, foi considerada uma proporção aproximada de 8% correspondente a área de estudo, da ordem de 120 km², em relação à área total de 1586 km² da bacia de contribuição. Utilizando este fator, a disponibilidade de água subterrânea, a partir dos 10,3 m³/s, é de 0,824 m³/s.

Assim sendo, o balanço hídrico foi calculado com base em dois cenários distintos, considerando-se diferentes estimativas de vazão de demanda:

- ✓ **Cenário 1:** considera apenas a demanda dos poços ativos (122 poços), totalizando uma vazão de 0,181 m³/s; e
- ✓ **Cenário 2:** inclui a demanda dos poços ativos, desativados e sem informação/sem acesso (577 poços), com uma vazão total de 0,940 m³/s.

Quando considerada apenas a demanda dos poços ativos outorgados (**Cenário 1**), a situação hídrica pode ser considerada equilibrada, com um comprometimento de apenas 21,98% da vazão de referência.

No entanto, ao se considerar a demanda total dos poços ativos, desativados e sem informação/sem acesso (**Cenário 2**), o cenário torna-se crítico, com um comprometimento de 114,08% da vazão de referência, indicando uma demanda superior à disponibilidade hídrica (**Tabela 9**). Cabe destacar que esse cenário pode ser ainda mais grave, dada a existência de poços clandestinos na área de estudo, os quais não são registrados ou monitorados.

Tabela 9 - Balanço Hídrico da área de estudo.

Cenários	Captação Subterrânea		Disponibilidade (m³/s) (B)	Balanço (%) (A/B)
	Nº de Poços	Demanda (m³/s) (A)		
Cenário 1: poços ativos	122	0,181	0,824	21,98
Cenário 2: poços ativos, desativado, sem informação/sem acesso	577	0,940	0,824	114,08

Fonte: Ilustração elaborada no presente projeto - FEHIDRO 2021-AT-COB-136.

Em 2008, no estudo realizado pela DAEE/SERVMAR (2008), existiam 513 poços cadastrados e apresentavam vazão outorgada de 33.681 m³/dia, considerando a exploração de água regime de 20 h/dia. Por outro lado, no período de 2017 a 2024, o estudo do DAEE (2024) apresentou número total de 446 poços outorgados na região considerada, dos quais 281 são ativos e 165 inativos.

Considerando uma demanda de água subterrânea de 0,382 m³/s, correspondente aos 281 poços ativos, e uma disponibilidade de 0,824 m³/s, o balanço hídrico apresenta um saldo positivo de 0,463 m³/s.

Ressalta-se que parte da água extraída dos aquíferos é descartada, seja na forma de efluentes, seja por perdas físicas nos sistemas de distribuição coletiva ou, individualmente, provenientes de poços particulares. Quando isso ocorre, essa parcela pode contribuir para a recarga das reservas subterrâneas. O mesmo se aplica às perdas físicas dos sistemas públicos de abastecimento e de esgotamento sanitário, que

exercem função semelhante na recarga dos aquíferos. Caso esses volumes extraídos e lançados fossem considerados nos cálculos, haveria um acréscimo na disponibilidade total anteriormente mencionada neste trabalho (DAEE, 2024).

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste documento técnico, o qual é intitulado de “*Relatório Parcial 4 (RP4)*”, cumpre entrega prevista no Plano de Trabalho (Relatório Parcial 1 - RP1 nº 171.268-205 – IPT, 2024a) de 08/02/2024, bem como atende aos termos readequados para o conteúdo e conforme prazo previsto no cronograma de atividades apresentados na Carta CIMA/SPRSF – 021/24 (17/07/2024), referente ao item 3.4 (*Consolidação dos resultados, elaboração dos produtos temáticos principais*), com a “*Elaboração e atualização do modelo conceitual de Fluxos subterrâneos*”, “*Balanco hídrico*” e “*Caracterização da qualidade das águas subterrâneas*”. Além disso, este relatório apresenta resultados complementares executados em relação aos itens 3.3.2 (*Campanhas de amostragem de água subterrânea*), 3.3.3 (*Perfilagem Geofísica*) e 3.3.4 (*Amostragem estratificada*).

Avalia-se que o conteúdo alcançado neste Relatório RP4 atendeu aos objetivos pretendidos nesta etapa e constitui subsídios fundamentais para consubstanciar o Relatório Final do projeto compreendendo uma síntese de todos relatórios parciais; a proposição do “Modelo de Gestão da ARC – Jurubatuba” (item 3.5); o estabelecimento das “Diretrizes para o Programa de Monitoramento” (item 3.6); bem como a realização da divulgação, apresentações e cartilha sobre o estudo.

EQUIPE TÉCNICA

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE – CIMA

Seção de Planejamento Territorial, Recursos Hídricos, Saneamento e Florestas - SPRSF

Responsável Técnico: Geólogo Dr. José Luiz Albuquerque Filho – IPT

Engenheira Ambiental Ma. Marcela Maciel de Araújo – IPT

Engenheira Ambiental Ana Cecília Hardt – FIPT

Geóloga Marcele Carla Nicolau – FIPT

Geóloga Thaiz Lima de Oliveira – FIPT

Cientista Ambiental Hemily Julia Barros Bernardo – FIPT

Geógrafo Me. Luiz Gustavo Faccini – IPT

Geóloga Me. Nádia Franqueiro Correa – IPT

Geólogo Me. Pedro Rabello Crisma – IPT

Técnico Antônio José Catib Baladore – IPT

Técnico José da Silva – IPT

Tecnólogo Nivaldo Paulon – IPT

Técnico Ailton Marambaia Santa – IPT

Estagiária Geologia Laiz Oliveira Leite Silva – CIEE/IPT

Estagiária Tecnologia em Gestão Ambiental Tamires Gomes Fiel – CIEE/IPT

Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental - SIRGA

Técnico Josué Rodrigues Fischer – IPT

Técnica Maria de Lourdes Monteiro Santos – IPT

Técnico Rogério Luiz Bastos – IPT

COORDENADORIA DE INTELIGÊNCIA DE MERCADO E NOVOS NEGÓCIOS - CIME

Biblioteconomista Edna Baptista dos Santos Gubitoso - IPT

Apoio Administrativo

Secretária Rosangela Aparecida Carelli – IPT

Supervisora Administrativa Susi Ferreira – IPT

Técnica Administrativa Maria Castro da Silva – IPT

Consultoria

Biotita Hidrogeologia e Meio Ambiente

Geólogo Me. Emanuel L'apicciarella

Geóloga Larissa Lima de Lucena

Acqua Terra Geologia Ambiental

Engenheiro Ambiental Dr. Marcos Barbosa

Geólogo Dr. Sasha Tom Hart

Acompanhamento e Colaboração

Responsável Técnico: Engenheiro Amb. Valburg de Sousa Santos Jr. – FABHAT

Consultor: Geólogo Dr. Marcio Costa Alberto – Geoinovações

Engenheira Amb. Vitória de Almeida V. Hidalgo – Fundação Ezute/FABHAT

Arquiteto Me. Fabiano Fernandes Toffoli – CETESB

Geóloga Marina Quaresma Fernandes – CETESB

Geólogo José Eduardo Campos – SP Águas

Tecnólogo em Segurança do Trabalho Edson Pereira da Silva – SP Águas

Engenheiro Químico Cleuber Jose de Carvalho – COVISA

Farmacêutico Industrial José Eduardo Pincerno Pouza – COVISA

Engenheira Química Sueli Moroni da Silva Machado – FIESP

Geóloga Dra. Sibeles Ezaki – Instituto de Pesquisas Ambientais

Geólogo Dr. Reginaldo Bertolo – Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS)/Instituto de Geociências/USP

Geólogo Renivaldo Guzzi – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

João Octávio Marinho Tappis – Engenheiro Ambiental Geoinovações

Engenheiro Civil Paulo Alberto Teixeira Ugolini – Centro de Vigilância Sanitária

Química Dra. Larissa Ciccotti Freire – Universidade Federal do ABC

Engenheira Civil Vanessa Meireles da Silva – Departamento de Estradas de Rodagem

Engenheira Química Elisangela Erika M. – Secretaria do Verde e Meio Ambiente de São Paulo

Geógrafo Me. Maykon Ivan Palma – Secretaria do Verde e Meio Ambiente de São Paulo

Geólogo Milton Tadeu Motta – Secretaria do Verde e Meio Ambiente de São Paulo

Entidades colaboradoras

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB

Coordenadoria de Vigilância em Saúde – COVISA

Centro de Vigilância Sanitária - CVS

SP Águas – Agência de Águas do Estado de São Paulo

Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - FABHAT

Universidade de São Paulo - USP

São Paulo, 03 de setembro de 2025.

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
Seção de Planejamento Territorial, Recursos
Hídricos, Saneamento e Florestas

Assinado Digitalmente

Geólº Dr. José Luiz Albuquerque Filho
Pesquisador e Responsável Técnico
CREA SP Nº 0600998502 – RE 6093

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
Seção de Planejamento Territorial, Recursos
Hídricos, Saneamento e Florestas

Assinado Digitalmente

Engª Ambiental Dra. Priscila Ikematsu
Gerente Técnica
CREA SP 05062802751 – RE 8644

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Assinado Digitalmente

Geólº. Fabricio Araújo Mirandola
Diretor Técnico
CREASP 05062055808 – RE 8658

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS LIVRES 2003. Publicação Mensal. Portugal, setembro de 2003. Número 128. Ano XIX. (www.epal.pt)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. São Paulo: ABNT, 2017. Disponível em: https://www.exactusmetrologia.com.br/sites/default/files/3-nbr_iso_iec_17025-2017_versao_exclusiva_treinamento.pdf. Acesso em: 22 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15847:2010 — Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

Barbosa, M. B. (2015). *Sistema de informações geográficas aplicado ao gerenciamento da contaminação da antiga ZUPI 131, Jurubatuba, São Paulo*. Dissertação de mestrado.

Barbosa, M. B., & Bertolo, R. A. (2020). Aplicação e desenvolvimento dos métodos de caracterização de aquíferos fraturados utilizando poços tubulares. Tese de Doutorado.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, col.1, p.470, 08 jan. 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 84, p.127, 07 maio 2021.

CBH-AT - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. **Deliberação CBH-AT, nº 01, de 16 de fevereiro de 2011.** Que estabelece áreas de restrição e controle para a captação e uso das águas subterrâneas no município de São Paulo, na região de Jurubatuba e dá outras providências. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation//5112/del_cbh-at.pdf. Acesso em 16 fev. 2023.

CBH-AT - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Deliberação CBH-AT, nº 139 de 15 de dezembro de 2021. Rerratifica a Área de Restrição e Controle para a captação e uso das águas subterrâneas no município de São Paulo, na região de Jurubatuba e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: São Paulo, 23 dez. 2021.

CBH-AT - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Deliberação nº 130 de 13 de agosto de 2021. Aprova a indicação de empreendimentos para financiamento com recursos do FEHIDRO em 2021. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: São Paulo, 17 fev. 2021. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation//CBH-AT/19654/deliberacao-cbh-at-n-130-de-13-08-2021-aprova-a-indicacao-de-empreendimentos-para-financiamento-com-recursos-do-fehidro-em-2021.pdf>

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria n. 009/2016/E/C/I, de 14 de janeiro de 2016. Estabelece os critérios de que trata o artigo 1º da Resolução SMA n. 94, de 14 de dezembro de 2015, referentes à exigência de acreditação de atividades de amostragem de águas subterrâneas. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, São Paulo, 14 jan. 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria Nº 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea. **Diário Oficial [do] Estado**. São Paulo, 131(240). p. 60. 12 dez. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Áreas Cadastradas no Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://CETESB.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2021/03/Endereco.pdf>. Acesso em jul. 2025.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Área Crítica do Jurubatuba**. Disponível em: <https://CETESB.sp.gov.br/areas-contaminadas/areas-contaminadas-criticas/area-contaminada-critica-do-jurubatuba/>. Acesso em jul. 2025.

CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação CRH nº 052, de 15 de abril de 2005**. Institui no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1zowCoeYPtDkPg7uVZ2_k-xpUa9BLWF1Z/view. Acesso em 16 fev. 2023.

CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação CRH nº 265, de 28 de abril de 2022. Referenda a Deliberação CBH-AT nº 139, de 15 de dezembro de 2021 que “Rerratifica a Área de Restrição e Controle para a Captação e uso das águas subterrâneas no município de São Paulo, na região de Jurubatuba e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: São Paulo, 04 mai. 2022.

DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. Estudo de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Região Administrativa 1. 1975.

DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. Portaria n. 1594, de 5 de outubro de 2005. Institui área de restrição e controle temporário na região de Jurubatuba. Diário Oficial do Estado de São Paulo. São Paulo, 5 out. 2005.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. SERVIMAR SERVIÇOS TÉCNICOS AMBIENTAIS. **Delimitação de áreas de restrição e controle de captação e uso das águas Subterrâneas no Município de São Paulo**. Bloco B: Aquífero Cristalino - Relatório Final - Caracterização da Quantidade e Qualidade das Águas Subterrâneas e Proposta de Restrição e Controle de Uso. São Paulo: DAEE/Servimar, 2008. v. 1, 166 p.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. (2017). Instrução Técnica DPO nº 10, de 30 de maio de 2017. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://www.doe.sp.gov.br/executivo/secretaria-de-meio-ambiente-infraestrutura-e-logistica/instrucao-tecnica-dr-n-10-de-30-de-maio-de-2017-20240423113111209261169>. Acesso: 02 de junho de 2025.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. Área de Restrição e Controle para a captação e uso das águas subterrâneas na região de Jurubatuba, São Paulo, 2024.

DATAGEO – Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo. **Metadados - Áreas Contaminadas e Reabilitadas** (Shapefile). São Paulo: 2025. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/?ctx=DATAGEO#> acesso em 21 mai. 2025.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. – EMPLASA 2005. Mapa de uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de São Paulo. Escala 1:25.000.

Fanti, A. C. (2015). Investigação de aquífero fraturado para entendimento de fluxo e transporte de contaminantes clorados: estudo de caso em Valinhos. Dissertação de mestrado.

Fernandes, A. J., Fiume, B., Bertolo, R. A., & Hirata, R. (2016). Modelo geométrico de fraturas e análise da tectônica rúptil aplicados ao estudo do fluxo do aquífero cristalino, São Paulo (SP). *Geologia USP. Série Científica*, 16(3), 71-88.

Fiume, B. (2013). *Geologia estrutural de detalhe para elaboração de modelo conceitual de circulação de água subterrânea: estudo de caso em Jurubatuba, SP*. Dissertação de mestrado.

Feitosa, F. A. C., Manoel Filho, J., Feitosa, E. C., & Demétrio, J. G. A. (2008). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Brasília: CPRM.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, Washington, 104p.

Fregona, L. G. G. (2023). Avaliação temporal da atenuação de compostos etenoclorados na água subterrânea de uma área industrial no bairro de Jurubatuba, São Paulo, Brasil. Dissertação de mestrado.

GEOSAMPA – Mapa Digital da Cidade de São Paulo. **Download de Camadas** – Licenciamento Ambiental: Área Contaminada e Reabilitada (shapefile). São Paulo: 2025. Disponível em: https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx Acesso em 05 abr. 2025.

GIANCURSI F. D.; LOPES M. F. C. 1980. Aspectos Hidrológicos da Região Grande São Paulo. Mesa Redonda: Aspectos Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Publ. Esp.SBG/ABGE. São Paulo. p. 117 - 128.

Hart, S. T. (2023). Temporal conceptual models for contaminated complex site management, based on a remediation case of chlorinated solvent commingled plumes in weathered and fractured bedrock. Tese de Doutorado.

HIRATA, R. C. A. & FERREIRA, L. M. R. 2001. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências* 31(1), p 43-50.

IG - Instituto Geológico. Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço / Mara Akie Iritani, Sibeles Ezaki. São Paulo. 2010.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba, no Município de São Paulo - Plano de Trabalho – Relatório Parcial 1 (RP1)**. São Paulo, 08 de fevereiro de 2024 (IPT, Relatório 171.268-205). 2024a.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba, no Município de São Paulo - Relatório Parcial 2.1 (RP2.1)**. São Paulo, 08 de maio de 2024 (IPT, Relatório 172 380-205). 2024b.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba, no Município de São Paulo - Relatório Parcial 2.2 (RP2.2)**. São Paulo, 19 de julho de 2024 (IPT, Relatório 172 592-205). 2024c.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudos Hidrogeológicos na Região de Jurubatuba, no Município de São Paulo - Relatório Parcial 3.1 (RP3.1)**. São Paulo, 29 de outubro de 2024 (IPT, Relatório 173.234-205). 2024d.

JULIANI, C. 1992. O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). ABAS/ ABGE /SBG/ SP, p. 3 - 20.

Lapicciarella, E. S. P. (2009). *Contaminação e áreas de restrição de uso de água subterrânea no entorno do canal Jurubatuba em São Paulo-SP* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

LIAZI, A.; CONEJO, J. L.; PALOS, J. C. F.; CINTRA, P. S. Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo. São Paulo: **Revista Águas e Energia Elétrica – DAEE**, ano 5, n.14. 1988.

Lima, P. L. (2018). Caracterização de detalhe do perfil vertical de contaminação em um aquífero cristalino fraturado e intemperizado-Jurubatuba–São Paulo–SP. Tese de Doutorado.

Nascimento, V. A. D. (2023). Modelo conceitual hidrogeológico de um caso de contaminação do aquífero fraturado por solventes clorados na Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação de mestrado.

Pede, M. A. Z. (2004). Caracterização da condutividade hidráulica do embasamento cristalino alterado saturado na região metropolitana de São Paulo. Dissertação de mestrado.

Pino, D. S. (2019). Aplicação do método Discrete Fracture Network para definição do modelo conceitual hidrogeológico do aquífero fraturado da região de Jurubatuba, São Paulo. Tese de Doutorado.

RICCOMINI, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 256 f.122

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; TAKIYA, H. 1992. Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). ABAS/ ABGE /SBG/ SP, p. 21 - 45.

Ribeiro, L. A. F. S. (2012). Perfilagens geofísicas de poços tubulares profundos, região do Canal Jurubatuba, São Paulo (SP). *Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.*

ROCHA, G. ; GONÇALVES, V. G. ; REBOUÇAS, A. C. ; BARRETO, L. M. B. 1989. Hidrogeologia da Bacia de São Paulo. Workshop de Geologia da Bacia de São Paulo. IG- USP, SBG/SP. São Paulo. p. 44 - 59.

SALGADO, P.E.T & MARONA, H.R.N 2004. Informações Gerais e ecotoxicológicas de Solventes Clorados. Série Cadernos de Referência Ambiental. v.15. Salvador, 509p.

SÃO PAULO (Estado). Lei Nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em:

<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/alteracao-lei-7663-30.12.1991.html>

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 59.263, de 5 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: São Paulo, SP, p.3, 06 jun. 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente – SMA. Resolução n. 100, de 17 de outubro de 2013. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental (SEAQUA). **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, republicada em 22 out. 2013

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente – SMA. Resolução n. 94, de 14 de dezembro de 2015. Prorroga o prazo para exigência de acreditação de atividades de amostragem estabelecido no caput do art. 3.º da Resolução SMA n. 100, de 17 de outubro de 2013, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 14 dez. 2015.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA Nº 10, de 8 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a definição das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: seção 1, São Paulo, SP, p. 43, 10, fev. 2017, 2017a Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2017/02/resolucao-sma-010-2017-definicao-das-atividades-potencialmente-geradoras-de-areas-contaminadas.pdf>. Acesso em: 20 maio de 2024.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA Nº11, de 8 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a definição das regiões prioritárias para a identificação de áreas contaminadas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: seção 1, São Paulo, SP, p. 5, 10, fev. 2017b. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/legislacao/2022/07/resolucao-sma-011-7/#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20defini%C3%A7%C3%A3o%20da%20identifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1reas%20contaminadas>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SÃO PAULO (Município). Lei n. 17.965, de 19 de junho de 2023. Aprova Projeto de Intervenção Urbana para o perímetro do Arco Jurubatuba; cria as Áreas de Intervenção Urbana Vila Andrade, Jurubatuba e Interlagos. ***Diário Oficial da Cidade de São Paulo***, São Paulo, 20 jun. 2023.

SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar Nº 1.413/2024. Altera as funções das agências reguladoras do estado com a transformação do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) na *SP Águas - Agência de Águas do Estado de São Paulo*. Data 23 de setembro de 2024.

SÃO PAULO (Município). **Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento – SMUL. Projeto de Intervenção Urbana (PIU) Arco Jurubatuba.** *Prefeitura do Município de São Paulo / Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento, 2024a.*

SÃO PAULO (Município). Lei n. 18.081, de 19 de janeiro de 2024 (Projeto de Lei n. 586/2023). Dispõe sobre a revisão parcial da Lei n. 16.402, de 22 de março de 2016, para compatibilização com alterações da Lei n. 17.975, de 8 de julho de 2023 – Revisão Intermediária do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, e dá outras providências. ***Diário Oficial da Cidade de São Paulo***, Edição Extra, São Paulo, 19 jan. 2024b

SÃO PAULO (Município). Decreto nº 64.472, de 11 de agosto de 2025. Regulamenta a Lei nº 17.965, de 19 de junho de 2023, que aprova o Plano de Intervenção Urbana para o perímetro do Arco Jurubatuba, em atendimento ao inciso III do § 3º do artigo 76 da Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014, e cria as Áreas de Intervenção Urbana Vila Andrade, Jurubatuba e Interlagos. ***Diário Oficial da Cidade de São Paulo***, São Paulo, 12 ago. 2025, p. 2. Disponível em: legislacao.prefeitura.sp.gov.br. Acesso em: 2 set. 2025a.

SÃO PAULO. (Prefeitura). **Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Município de São Paulo.** Coordenação de Licenciamento Ambiental. Grupo Técnico Permanente de Áreas Contaminadas. Disponível em: https://prefeitura.sp.gov.br/documents/d/meio_ambiente/59-gtac_jul_2025-pdf Acesso em 21 jul. 2025b.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – Seade. Disponível em: www.seade.gov.br. Acesso em: 02 mar. 2024.

SERVMAR SERVIÇOS TÉCNICOS AMBIENTAIS. **Delimitação de áreas de restrição e controle de captação e uso das águas Subterrâneas no Município de São Paulo.** Bloco B: Aquífero Cristalino - Relatório Final - Caracterização da Quantidade e Qualidade das Águas Subterrâneas e Proposta de Restrição e Controle de Uso. São Paulo: Servmar, 2008. v. 1, 166 p.

SIGAM/SEMIL. Sistema Integrado de Gestão Ambiental – Acesso à Informação – SigamGeo Público. 2024. São Paulo, SP. Disponível em: <https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=16796>. Acesso em: 02 mar. 2024.

Silva, J. A. F. D. (2018). Estimativa de recarga e caracterização hidroquímica e isotópica das águas subterrâneas dos aquíferos da região do canal do Jurubatuba. Tese de Doutorado.