

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

AMANDA DE CASTRO PEREIRA

**Investigação Ambiental de Área de Curtume Contaminada: Estudo de caso em
uma área industrial do Rio Grande do Sul**

São Paulo
2022

AMANDA DE CASTRO PEREIRA

**Investigação Ambiental de Área de Curtume Contaminada: Estudo de caso em
uma área industrial do Rio Grande do Sul**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Profa. Dra. Marilda Mendonça Guazzelli Ramos Vianna

São Paulo
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Pereira, Amanda de Castro

Investigação Ambiental de Área de Curtume Contaminada: Estudo de caso em uma área industrial do Rio Grande do Sul / A. C. Pereira -- São Paulo, 2022.

92 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Áreas Contaminadas (gerenciamento) 2.Meio Ambiente (investigação)
3.Cromo 4.Água subterrânea 5.Solo I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

PEREIRA, Amanda de Castro. **Investigação Ambiental de Área de Curtume Contaminada: Estudo de caso em uma área industrial do Rio Grande do Sul.** 2022. 92 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Esta monografia aborda um tema de relevância mundial relacionado à contaminação de áreas urbanas e industriais por atividades de manuseio e beneficiamento de couro. No Brasil, grande parcela das indústrias coureiro-calçadistas está localizada no Rio Grande do Sul, sendo este setor um importante pilar da economia gaúcha. No âmbito deste assunto, o presente estudo apresenta a execução de Investigação Confirmatória de Passivos Ambientais em área onde historicamente se exerciam atividades de recuperação de rebarbas de couro. Para tanto, são discutidos dados referentes a origem, características e dinâmica da contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos utilizados no processo, principalmente com relação ao cromo, em suas frações tri e hexavalente. As metodologias empregadas na realização das atividades investigatórias consideram os dispostos em normativas e resoluções vigentes no Brasil e, como resultados obtidos, tem-se a confirmação de contaminação ambiental por cromo e atualização do modelo conceitual da área, o qual indica incertezas e lacunas que devem ser minimizadas nas próximas etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.

Palavras-chaves: Áreas Contaminadas (gerenciamento), Meio Ambiente (investigação), Cromo, Água subterrânea, Solo.

ABSTRACT

PEREIRA, Amanda de Castro. **Environmental investigation of tannery-contaminated area: case study in industrial area in the state of Rio Grande do Sul**. 2022. 92 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

This final paper addresses a topic of worldwide relevance: the contamination of industrial and urban areas by the manipulation and processing of leather. In Brazil, a large portion of the industries in the leather-footwear sector are located in the state of Rio Grande do Sul, and it is one of the most important pillars of its economy. Concerning this subject, this study presents a confirmatory investigation of environmental liabilities in an area where, historically, the recovery of leather shavings was carried out. In order to do that, data related to the origin, characteristics, and dynamics of the contamination of soil and groundwater by compounds utilized in the process, mostly related to chromium in its tri and hexavalent fractions, were discussed. The methodologies used in the execution of the investigatory activities consider the ones presented as current norms in Brazil and, as obtained results, there is the confirmation of environmental contamination by chromium and the updating of the concept model of the area, which indicates uncertainties and gaps that must be minimized in the next steps of the management of contaminated areas.

Key-words: Contaminated Areas (management), Environment (investigation), Chromium, Groundwater, Soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de circulação de água no solo e subsolo.	20
Figura 2. Esquema ilustrativo das fases livre e residual de contaminantes imiscíveis.	21
Figura 3. Zonas de circulação de água no solo e subsolo.	23
Figura 4. Diagrama de Pourbaix para o cromo em meio aquoso (25 °C e 1 atm). ...	24
Figura 5. Fluxograma das etapas de avaliação de passivo ambiental.	29
Figura 6. Aspectos gerais da metodologia de sondagem utilizada na área interna do empreendimento.	37
Figura 7. Aspectos gerais da metodologia de sondagem utilizada na área externa do empreendimento.	38
Figura 8. Realização das medições de VOCs.	39
Figura 9. Acondicionamento de amostras de solo em frascos para envio ao laboratório.	39
Figura 10. Instalação dos poços de monitoramento (colocação de revestimentos).	40
Figura 11. Instalação dos poços de monitoramento (colocação de pré-filtro).	41
Figura 12. Instalação dos poços de monitoramento (colocação de bentonita).	41
Figura 13. Instalação dos poços de monitoramento (configuração final dos poços).	42
Figura 14. Amostragens de águas subterrâneas.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões e valores de referência apresentados para cromo em legislação nacional.	16
Tabela 2. Estratégias de investigação confirmatória na zona não saturada (solo). ...	26
Tabela 3. Modelo conceitual aplicado da área estudada (MC 1A).	32
Tabela 4. Informações das sondagens.	44
Tabela 5. Informações construtivas dos poços de monitoramento.	45
Tabela 6. Cotas resultantes do nivelamento entre os poços de monitoramento.	47
Tabela 7. Medições de VOC's durante a realização das sondagens (ppm).	50
Tabela 8. Parâmetros com resultados analíticos de solo relevantes para investigação ambiental (ST-01 a ST-07).	53
Tabela 9. Parâmetros com resultados analíticos de solo relevantes para investigação ambiental (ST-08 a ST-14).	53
Tabela 10. Parâmetros com resultados analíticos de solo relevantes para investigação ambiental (ST-15 a ST-21).	54
Tabela 11. Parâmetros com resultados analíticos de águas subterrâneas relevantes para investigação ambiental.	57
Tabela 12. Matriz de lacuna de dados a serem obtidos em etapa de Investigação Detalhada.	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral.....	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1 Contaminação de solos e águas subterrâneas por indústrias coureiras	13
4.2 Contaminação: origem, características e toxicidade	14
4.3 Dinâmica dos contaminantes.....	19
4.3.1 Hidrogeologia.....	19
4.3.2 Comportamento dos contaminantes em subsuperfície	20
4.4 Investigação confirmatória de passivos ambientais	25
4.5 Legislações e normas básicas vigentes.....	28
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	30
6 METODOLOGIA.....	35
6.1 Sondagens investigatórias.....	37
6.2 Amostragens de solos e medições de vocs	38
6.3 Instalação de poços de monitoramento	40
6.4 Amostragens de águas subterrâneas.....	42
6.5 Cadastro e nivelamento dos poços de monitoramento	43
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
7.1 Execução das sondagens e instalação dos poços de monitoramento	44
7.2 Geologia e hidrogeologia local	46
7.3 Mapa potenciométrico	47
7.4 Avaliação de vocs no solo.....	50
7.5 Qualidade ambiental do solo.....	51
7.6 Qualidade ambiental da água subterrânea.....	56
7.7 Modelo conceitual atualizado.....	58
7.8 Representatividade e incertezas associadas	64
8 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS	66

ANEXO I 71

1 INTRODUÇÃO

A poluição urbana no Brasil é marcada por diversos fatores culturais e econômicos, entre eles: o modelo de industrialização, a expansão urbana acelerada e forma de organização do espaço. Estas causas decorrentes de um limitado ou inexistente controle social (GÜNTHER, 2006).

Paralelo ao crescimento metropolitano, surge a necessidade de novas tecnologias e produtos e, desta forma, a progressiva demanda por combustíveis e outros produtos químicos. O resultado desse desenvolvimento, entretanto, é a grande quantidade de poluentes dispostos no meio ambiente, provenientes de resíduos de processos industriais (SUTHERSAN & PAYNE, 2005 *apud* CAETANO, 2014).

Nos últimos séculos, os padrões de produção e consumo das indústrias passaram a refletir negativamente na qualidade das águas, do ar, dos solos, da fauna e da flora. Devido à mobilidade de diversos poluentes, muitas são as formas como eles se dispersam em efluentes e resíduos. Por esta razão, vastas extensões de terras, ar e águas são impactadas social e ambientalmente, causando riscos em todo o planeta (FRANCO & DRUCK, 1998).

As indústrias de fabricação e/ou tratamento de couro, por exemplo, tem como um de seus principais insumos os compostos de cromo, utilizados na etapa de curtimento do material. O cromo, que pode ser encontrado no meio ambiente em suas frações tri e hexavalente, é um potencial contaminante dos solos e águas subterrâneas, sendo o cromo VI um composto tóxico e cancerígeno quando exposto a animais e seres humanos (GODOY, 2014).

Por outro lado, órgãos ambientais criam leis e normativas que visam o correto Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC). A Investigação Confirmatória (IC), tema que será abordado neste estudo, é definida como o segundo passo para a caracterização de áreas contaminadas, tendo como principal finalidade a confirmação de contaminações identificadas em fase anterior do GAC (Fase I - Avaliação Preliminar).

Desta forma, nesse trabalho são discutidos assuntos relacionados a origem, características e dinâmica da contaminação de solos e águas subterrâneas pelo desenvolvimento de atividades de manuseio e beneficiamento de couro, assim como os processos de gerenciamento de áreas contaminadas e legislações pertinentes ao tema.

Ainda, é apresentado estudo de caso que executa uma Investigação Confirmatória de Passivos Ambientais em antiga área industrial de reaproveitamento de rebarbas de couro situada no Rio Grande do Sul, bem como os resultados obtidos de tal estudo e atualização do modelo conceitual da área contaminada em investigação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa contribuir para o conhecimento sobre contaminações ambientais por cromo, em suas formas tri e hexavalente, expondo os resultados obtidos através da execução de Investigação Confirmatória em área localizada no Rio Grande do Sul, bem como avaliar a importância dessa etapa de estudos para o correto gerenciamento de áreas contaminadas (GAC).

2.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar dados referentes a origem, características e dinâmica da contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos utilizados no beneficiamento de couro, principalmente com relação ao cromo;
- b) Apresentar um estudo de caso referente a execução de Fase II (Investigação Confirmatória) do GAC em área localizada no Rio Grande do Sul;
- c) Analisar a aplicação de leis e normativas vigentes no GAC;

- d) Interpretar os resultados analíticos obtidos das amostras de solos e águas subterrâneas coletadas no estudo de caso, confirmando a existência ou não de contaminação na área investigada;
- e) Atualizar o modelo conceitual da área investigada.

3 JUSTIFICATIVA

Estima-se que aproximadamente 2 bilhões de pessoas no mundo usam águas subterrâneas como fonte de abastecimento de água potável. Nos Estados Unidos 147 milhões de pessoas desfrutam deste recurso, ou seja, cerca de 50% da população (GALANTE, 2008). Ainda, CETESB (2001) aponta que 71,6% dos municípios do estado de São Paulo são total ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas, reforçando a necessidade de proteção da qualidade deste recurso hídrico.

Deste modo, torna-se cada vez mais necessária a realização de investigações ambientais que, seguindo corretamente as legislações e normativas vigentes, trazem informações e resultados robustos a respeito da qualidade ambiental de solos e águas subterrâneas contaminados, permitindo assim a remediação e reabilitação de áreas impactadas.

No âmbito deste assunto, a presente pesquisa aborda um tema de relevância mundial relacionado às contaminações oriundas de atividades de curtimento, tratamento e/ou manuseio de couro. No Brasil, esse tema é justificado pelo grande número de indústrias coureiras em operação, que acarretam na existência de muitas áreas contaminadas por compostos de cromo, principal insumo utilizado no processo de beneficiamento de couro.

Bavaresco (2016) afirma que o setor coureiro-calçadista ocupa grande importância industrial para o Estado do Rio Grande do Sul, sendo um dos pilares da economia gaúcha e, portanto, estima-se a existência de muitas áreas contaminadas por indústrias de beneficiamento de couro no estado, tornando novamente de extrema relevância a obtenção de dados e estudos que direcionem o correto gerenciamento e reabilitação dessas áreas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Contaminação de solos e águas subterrâneas por indústrias coureiras

O couro é um produto resultante do processo de transformação da pele de animais em materiais não putrescíveis utilizados para usos diversos, tais como a confecção de calçados, mobílias e vestuários (GODOY, 2014).

Este processo, chamado de curtimento, trata-se da aplicação de produtos químicos às peles, deixando-as com características físicas e mecânicas específicas e adequadas para sua utilização, tais como resistência, cor, textura, maciez, impermeabilidade, toque, flexibilidade e elasticidade (HELENE, 2016).

Os produtos utilizados pelos curtumes se referem a compostos de cromo resistentes à degradação natural que, quando utilizados em concentrações acima dos valores recomendados, representam riscos à saúde e meio ambiente (GODOY, 2014). Dentre eles, os sais de cromo são os principais produtos utilizados, aplicando-se teores de 2 a 3% de óxido de cromo (Cr_2O_3) em relação à massa de pele (CÂMARA & GONÇALVES, 2007). O dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) também pode ser utilizado como curtente, contudo, exige maior proteção quanto ao manuseio, uma vez que apresenta cromo em sua forma hexavalente, agregando potencial carcinogênico e tóxico ao produto (MOREIRA & TEIXEIRA, 2003).

A problemática evidenciada na utilização dos sais de cromo está relacionada, principalmente, ao descarte dos resíduos, pois estes se classificam como resíduos perigosos (Classe I) conforme norma ABNT NBR 10004 de 2004 (GODOY, 2014). Um estudo relacionado à contaminação de águas subterrâneas foi desenvolvido no Brasil pelo Instituto de Geociências, CETESB e DAEE, apontando que as atividades que apresentam maiores índices de risco de geração de carga poluidora se referem às indústrias do couro (PINTO et al., 2004).

Cunha e Shiraiwa (2010) mencionam que resíduos de curtumes não adequadamente tratados podem chegar até o lençol freático, rios e reservatórios com alto potencial de contaminação. Ainda, o resíduo gerado a partir do recorte das peças de couro possui alta toxicidade, além de permanecerem no ambiente por muito tempo,

pois se tratam de resíduos não biodegradáveis e que são, muitas vezes, dispostos em locais irregulares sem o devido tratamento (GODOY, 2014).

Os curtumes também são responsáveis pela utilização de grandes volumes de água no processo. Estudos realizados pelo Centro Técnico de Couro – SENAI apontam que o consumo total de água utilizada para o processamento de uma tonelada de pele é de 25 a 30 m³, ou seja, cerca de 0,63 m³ por pele (CÂMARA & GONÇALVES, 2007).

Por necessitarem de grande quantidade de água no processo, os curtumes também são geradores de efluentes líquidos, os quais possuem altos teores de cloretos, sulfetos, cromo, cálcio, além de alta demanda bioquímica de oxigênio (HELENE, 2016). Quando mal gerenciados, esses efluentes também acabam contaminando o ambiente.

Solos e ambientes aquáticos contaminados por cromo são comumente remediados através de escavação ou bombeamento do material contaminado, adição de redutor químico, precipitação seguida de sedimentação, troca iônica e adsorção. Ainda, Cr(VI) pode ser reduzido a Cr(III) no solo a partir de reações redox utilizando espécies inorgânicas, transferência de elétrons, reações com substâncias orgânicas não húmicas ou redução por substâncias húmicas do próprio solo (MATOS et al., 2008).

4.2 Contaminação: Origem, características e toxicidade

O presente estudo evidencia o cromo como principal contaminante ambiental da área. Este é um elemento químico metálico de símbolo Cr, número atômico 24, encontrado no grupo 6 da Classificação Periódica dos elementos. Em temperatura ambiente, ele se encontra no estado sólido.

Matos et al. (2008) cita que o elemento cromo existe em diversos estados de oxidação, contudo, somente Cr(III) e Cr(VI) são estáveis o suficiente para ocorrer no ambiente. O autor menciona que a presença de Cr(III) é importante na dieta de humanos e animais, uma vez que se relaciona ao metabolismo de glicose, lipídeos e proteínas. Por outro lado, Cr(VI) é carcinogênico, mutagênico e tóxico para animais e

humanos. No meio ambiente, Cr(VI) apresenta maior mobilidade se comparado ao Cr(III), uma vez que seus ânions são transportados facilmente através do solo.

O cromo aparece, em suas formas tri e hexavalente, na composição de óxidos, sulfatos, cromatos, dicromatos e sais básicos (CETESB, 2021). Sua forma metálica não é encontrada livre na natureza, mas sim obtida através do processamento industrial do minério de crômio. O cromo é principalmente utilizado na fabricação de ligas metálicas e estruturas da construção civil, além da utilização de compostos de cromo no tratamento de couro (curtumes), fabricação de tintas e pigmentos, preservantes de madeira e galvanoplastia (CETESB, 2021).

CETESB (2021) aponta que compostos de cromo são naturalmente encontrados em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, animais e plantas. No solo, suas concentrações geralmente são baixas, na ordem de 2 a 60 mg/kg. Na água, são comumente encontradas concentrações em torno de 1 µg/L em ambientes não contaminados.

No ar, o Cr(VI) é relativamente estável, contudo, reduzindo ao estado trivalente quando em contato com a matéria orgânica do solo e água. Na cadeia alimentar aquática o cromo não bioacumula, sendo que o Cr(VI) absorvido por peixes é transformado em Cr(III) (CETESB, 2021).

No que diz respeito a toxicidade, esta possui relação com o estado de oxidação do cromo e sua rota de exposição. Em exposição a partir de via oral, compostos de Cr(VI) são mais tóxicos do que os compostos de Cr(III). Altas doses de compostos de Cr(VI) quando acidentalmente ingeridas podem causar falência renal aguda. Na exposição ocupacional, que ocorre por inalação de ar contaminado, o cromo é um importante agente causador de dermatites de contato em trabalhadores. Ainda, por ser corrosivo, pode causar ulcerações crônicas na pele e perfurações no septo nasal (CETESB, 2021).

A Agência internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o Cr(III) como pertencente ao Grupo 3: não classificável quanto a carcinogenicidade. Utiliza-se tal classificação para agentes onde a evidência de câncer é inadequada ou limitada em

animais de experimentação e inadequada no ser humano. Já o Cr(VI) é classificado no Grupo 1: cancerígeno para o ser humano (CETESB, 2021).

A Tabela 1 apresenta as padrões e valores orientadores utilizados em normativas vigentes para determinação da qualidade de solos e águas contendo cromo.

Tabela 1. Padrões e valores de referência apresentados para cromo em legislação nacional.

Meio	Concentração	Comentário	Referência
Cromo total em solo	75 mg/kg	Valor de prevenção	CONAMA 420/2009 e valores orientadores para solo e água subterrânea do Estado de São Paulo – CETESB DD 256/2016/E
	150 mg/kg	VI cenário agrícola	
	300 mg/kg	VI cenário residencial	
	400 mg/kg	VI cenário industrial	
	40 mg/kg	VRQ	
Cromo VI em solo	0,4 mg/kg	VI cenário agrícola	
	3,2 mg/kg	VI cenário residencial	
	10 mg/kg	VI cenário industrial	
Água potável	0,05 mg/kg	VMP (padrão de potabilidade)	Portaria GM/MS 888/2021
Água subterrânea	50 µg/L	VMP (consumo humano)	CONAMA 396/2008
	1000 µg/L	VMP (dessedentação)	
	100 µg/L	VMP (irrigação)	
	50 µg/L	VMP (recreação)	
Água subterrânea	50 µg/L	VI	Valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo – CETESB DD 256/2016/E
Águas doces	0,05 mg/L	VM (classes 1 e 2)	CONAMA 357/2005
	0,05 mg/L	VM (classe 3)	
Águas salinas	0,05 mg/L	VM (classe 1)	
	1,1 mg/L	VM (classe 2)	
Águas salobras	0,05 mg/L	VM (classe 1)	

Meio	Concentração	Comentário	Referência
	1,1 mg/L	VM (classe 2)	
Cromo III em efluente	1,0 mg/L	VM (padrão de lançamento)	CONAMA 430/2011
Cromo VI em efluente	0,1 mg/L		

Fonte: Adaptado de CETESB, 2021.

Além do cromo, investigou-se também na área em estudo, a qual será detalhada no Capítulo 5, a presença de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e Bifenilas Policloradas (PCBs), assim como foram realizadas medições *in loco* de compostos orgânicos voláteis (VOCs). Tais grupos de compostos serão brevemente apresentados a seguir.

Almeida (2014) menciona que os HPAs formam uma classe complexa de compostos orgânicos que tem em sua estrutura dois ou mais anéis aromáticos formados por carbonos e hidrogênios. Em função de sua massa molecular, os HPAs podem se subdividirem em duas classes:

- De baixo peso molecular, que possuem até três anéis aromáticos e são considerados petrogênicos (Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno e Antraceno);
- De alto peso molecular, contendo até seis anéis aromáticos e considerados pirolíticos (Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)antraceno, Criseno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno, Benzo(ghi)perileno, Indeno(1,2,3-cd)pireno).

Os HPAs constituem-se como um grande grupo de poluentes orgânicos persistentes (POPs), podendo se acumular e permanecerem no meio ambiente por um longo tempo, demonstrando a importância na realização de monitoramentos. Além disso, sua distribuição no ambiente depende das suas propriedades físicas, químicas e características climáticas (ALMEIDA, 2014).

No que diz respeito a toxicidade, Almeida (2014) menciona que, em razão dos seus efeitos carcinogênicos e mutagênicos, uma lista de 16 HPAs são considerados

pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) como poluentes prioritários na realização de estudos ambientais.

Já as PCBs, conforme Penteado e Vaz (2001), se caracterizam como sendo compostos organoclorados resultantes da reação entre o grupo bifenila com cloro anidro na presença de catalisador. Trata-se de um composto sintético fortemente disseminado por conta de suas propriedades físico-químicas, dentre elas a alta constante dielétrica e elevada estabilidade térmica.

Embora a produção e uso de muitos PCBs tenha sido banida de alguns países, estima-se que 1.200.000 toneladas tenham sido produzidas mundialmente. Deste total, 60% foi utilizado em transformadores e capacitores, 25% como aditivos na formulação de plastificantes, tintas, adesivos e pesticidas e 15% para fluídos de transferência de calor (PENTEADO e VAZ, 2001). Cabe ressaltar a nova Lei nacional nº 14.250/21, de 25 de novembro de 2021, que instrui as empresas que ainda possuem aparelhos contendo PCBs ou que foram contaminados por tal substância a retirá-los de operação, promovendo a destinação final ambientalmente adequada até o prazo de 2025, visando a eliminação controlada do uso de PCBs em equipamentos (BRASIL, 2021).

Penteado e Vaz (2001) citam que as consequências de contaminações por PCBs foram avaliadas para casos de exposição em acidentes e/ou por exposição ocupacional, onde os sintomas observados são cloracne, hiperpigmentação, problemas oculares, além da elevação do índice de mortalidade por câncer no fígado e vesícula biliar, sendo este um grupo de compostos tóxicos quando em contato com seres humanos.

Os compostos orgânicos voláteis (VOCs) se caracterizam como sendo produtos químicos de origem orgânica favoráveis a evaporação em condições ambientais, sendo produzidos pela queima de combustíveis fósseis por automotores, em postos de gasolina e também em indústrias que utilizam VOCs como solventes (SOUZA e HOFFMANN, 2020).

Souza e Hoffmann (2020) mencionam que os VOCs, assim como os demais compostos citados neste trabalho, são prejudiciais à saúde humana, podendo, em

contato com seres humanos, causar asma, alergia, doenças pulmonares e até mesmo câncer, como é o caso do benzeno.

4.3 Dinâmica dos contaminantes

4.3.1 Hidrogeologia

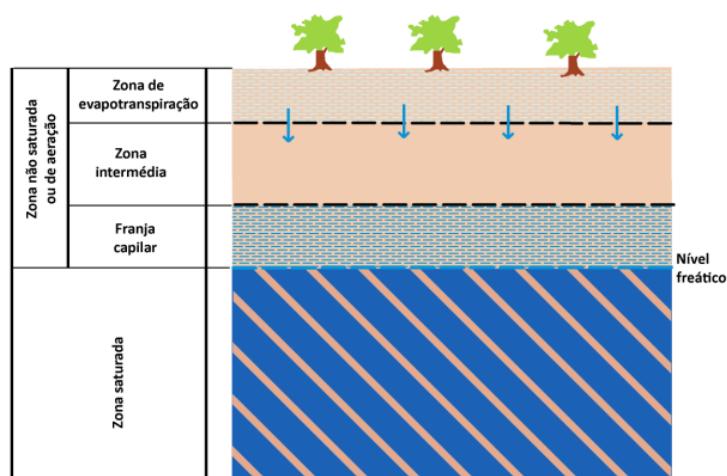
A hidrogeologia se define como a ciência que estuda as águas subterrâneas. Segundo Domenico e Schwartz (1998), conforme citado por Ribeiro et al. (2007):

“Hidrogeologia é o estudo das leis que governam o movimento das águas subterrâneas, as interações mecânicas, físicas e termais dessa água com o sólido poroso, e o transporte de energia, constituintes químicos e a matéria particulada pelo fluxo”.

Quando se tratando da circulação de água no solo e subsolo, Teixeira (2011) menciona a existência de quatro zonas distintas onde a água possui características próprias e leis particulares de movimentação (Figura 1), são elas:

- **Zona não saturada:** Compreende-se como a zona que se estende desde a superfície do terreno até a parte superior da zona saturada, onde os poros são preenchidos com água e ar.
- **Zona saturada:** Na zona saturada os espaços porosos ou fraturas presentes são completamente preenchidos por água. Nesta zona a água circula de pontos de carga hidráulica maior para pontos de carga hidráulica menor, podendo mover-se horizontal ou verticalmente dependendo da carga hidráulica existente no local (TEIXEIRA, 2011).

Figura 1. Zonas de circulação de água no solo e subsolo.



Fonte: Adaptado de GONZÁLEZ DE VALLEJO et al. (2002 *apud* TEIXEIRA, 2011).

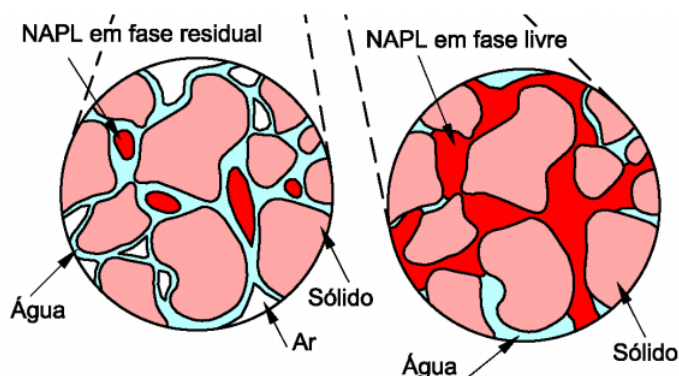
4.3.2 Comportamento dos contaminantes em subsuperfície

Conforme Bertolo (2020b), os contaminantes, quando atingem a subsuperfície, podem ser encontrados em 4 diferentes fases, são elas:

- **Fase dissolvida:** é a fração de contaminante que se apresenta dissolvida nas águas subterrâneas. Os contaminantes dissolvidos se movem para jusante do ponto de vazamento, acompanhando o fluxo hidrogeológico;
- **Fase sorvida:** trata-se da parcela de contaminante que se adere à superfície (adsorção) ou internamente (absorção) ao solo;
- **Fase vapor:** é onde temos a porosidade do solo preenchida por contaminantes na forma de gases;
- **Fase separada/imiscível ou NAPL (*Non-Aqueous Phase Liquid*):** é formada por substâncias que dissolvem pouco em água, sendo observadas em quantidades mais elevadas que o poder de dissolução da água. Sua migração em meio poroso é governada pela gravidade, flutuabilidade e forças capilares. Ainda, divide-se em duas fases: livre e residual (Figura 2).
 - Fase livre: é a fração do contaminante imiscível que possui mobilidade entre os poros da matriz do solo/aquífero através da pressão hidrostática;

- Fase residual: fração do contaminante imiscível que permanece presa em poros individuais em decorrência de forças capilares, após interrompida a pressão contínua.

Figura 2. Esquema ilustrativo das fases livre e residual de contaminantes imiscíveis.



Fonte: Adaptado de BERTOLO (2020b).

No que diz respeito ao comportamento do cromo, ATSDR (2012) cita que sua ocorrência pode ser vista na forma de complexos dissolvidos e/ou sorvido em materiais argilosos, orgânicos ou óxidos de ferro. Ou seja, seguindo as divisões citadas acima, o cromo pode ser encontrado em subsuperfície nas fases dissolvida em meio as águas subterrâneas e/ou sorvida às partículas do solo.

ATSDR (2012) ressalta que o Cr(III) é pouco solúvel e pouco reativo, conferindo baixa mobilidade e toxicidade. Sob condições de pH adequado, o Cr(III) precipita na forma de hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) ou com moléculas orgânicas. Já o Cr(VI) possui maior mobilidade, uma vez que seus ânions são facilmente transportados pelo solo, além de poderem estar presentes na forma de cromato (CrO_4^{2-}) ou cromato ácido (HCrO_4^-) quando em condições oxidantes, sendo estas formas tóxicas para os organismos vivos.

Já os HPAs apresentam, conforme Almeida (2014), baixa solubilidade em água e características lipofílicas, considerando o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}). Portanto, possuem maior tendência de associação às fases sólidas, como sorvidos a partículas. Ou seja, são comumente encontrados nas fases sorvida e separada.

Assim como os HPAs, Penteado e Vaz (2001) mencionam que as PCBs se caracterizam por serem compostos orgânicos hidrofóbicos, ou seja, com baixa dissolução em água. Ressalta-se que podem representar até 85% do total de compostos organoclorados presentes em sedimentos contaminados. Além disso, PCBs contendo até 5 átomos de cloro são predominantemente encontrados na fase vapor, ou seja, PCBs em geral podem ser encontrados em subsuperfície nas fases sorvida, separada e/ou vapor.

4.3.3 Fenômenos de transporte

O transporte de massa depende de três fatores principais, que são: as características da substância contaminante (densidade, concentração, polaridade, entre outros), o meio poroso (teor e tipo de matéria orgânica, distribuição de vazios, etc) e as condições ambientais (climáticas, hidrogeológicas, temperatura, pressão atmosférica, e outros) (KNOP, 2007).

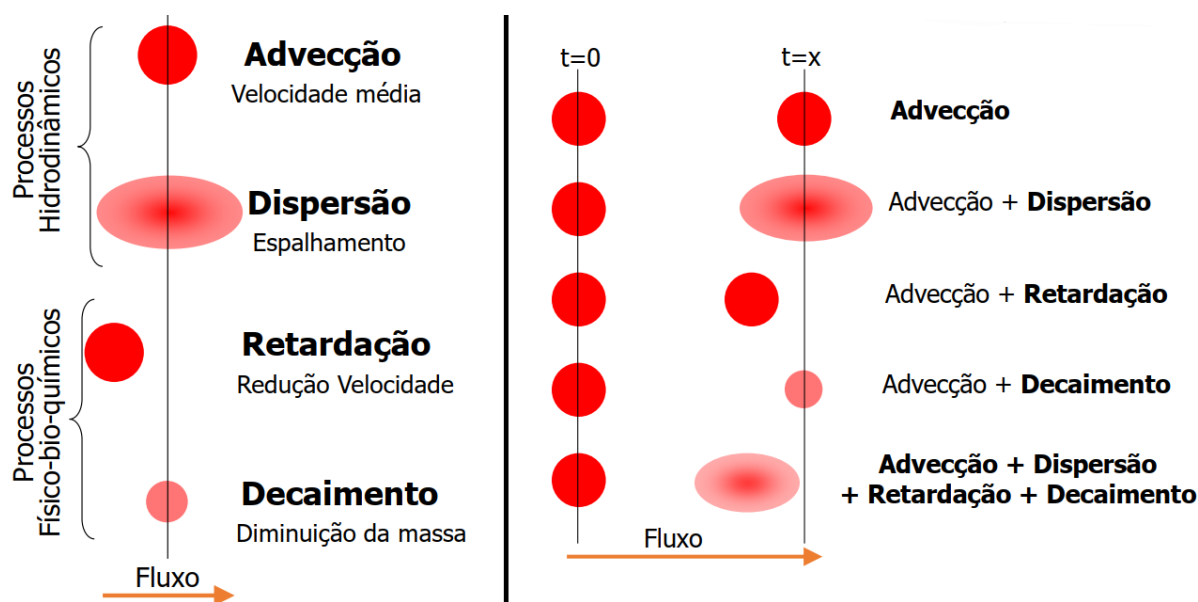
Galante (2008) ressalta que o conhecimento do comportamento do contaminante no subsolo, assim como dos fenômenos de transporte que abrangem cada fase de desagregação, são de fundamental importância para que sejam compreendidas as características das plumas de contaminação.

Bertolo (2020a) explica os processos que influenciam o transporte de contaminantes em águas subterrâneas (Figura 3), são eles:

- **Advecção:** é o principal processo hidrodinâmico responsável pela migração de contaminantes em aquíferos, pois se refere a velocidade média do contaminante. Tal processo é expresso pela Lei de Darcy;
- **Dispersão:** é o processo hidrodinâmico de espalhamento dos contaminantes, que acontece através da variação de velocidade do contaminante em níveis micro e macroscópio no aquífero;
- **Retardação:** é o processo físico-químico onde ocorre a redução da velocidade do contaminante por meio de fenômenos de adsorção e troca iônica
- **Decaimento:** processo físico-bio-químico que promove a diminuição da massa de contaminante. Os principais processos de decaimento são a

biodegradação, precipitação química, reações redox, volatilização e decaimento radioativo.

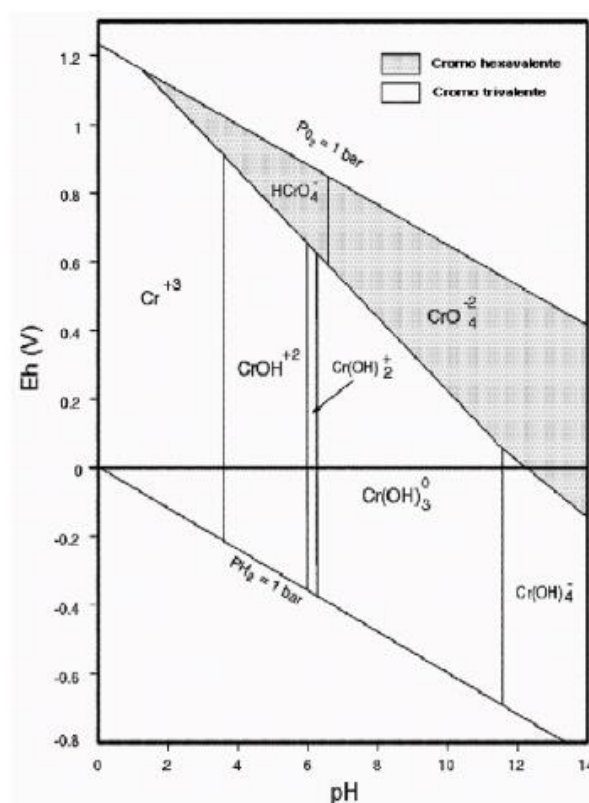
Figura 3. Zonas de circulação de água no solo e subsolo.



Fonte: Adaptado de BERTOLO, 2020a.

Reações químicas através dos componentes da matriz e pelas condições redox do meio regem a distribuição dos compostos Cr(III) e Cr(VI) no ambiente. Em um meio contaminado, o diagrama termodinâmico Eh vs. pH (diagrama de Pourbaix) (Figura 4) é comumente utilizado para auxiliar o entendimento da distribuição dos compostos de Cr(III) e Cr(VI).

Figura 4. Diagrama de Pourbaix para o cromo em meio aquoso (25 °C e 1 atm).



Fonte: Adaptado de Palmer e Wittbrodt, 1991.

Analisando-se a Figura 4, é possível observar o cromo hexavalente bastante estável em todo o campo superior do gráfico, que apresenta águas bastante oxidadas e pHs mais elevados. Já o cromo trivalente se encontra em águas predominantemente mais redutoras e de pHs mais ácidos, se apresentando insolúvel na maior parte das ocasiões e formando o hidróxido de cromo, o estado redox mais estável em condições ambientais. Ainda, cabe mencionar que o cromo hexavalente é mais solúvel, sendo assim, as espécies $HCrO_4^-$ e CrO_4^{2-} são encontradas sempre dissolvidas.

Helene (2016) afirma que os mecanismos de transporte que regem os metais dependem primeiramente da forma que são encontrados no solo, isto é, imóveis e insolúveis ou móveis e solúveis. Tal fato depende das reações de oxidação e redução aos quais estão expostos. Portanto, quando na forma insolúvel, o cromo tende a sofrer precipitação direta em função da saturação e solubilidade, ou mesmo quando complexados a outros compostos, como por exemplo o ferro (HELENE, 2016).

Estudos comprovam que o cromo possui características que possibilitam sua sorção pelo solo (processo de retardação). Matos (2016) avaliou a capacidade de sorção de cromo em quatro solos subtropicais (dois Argissolos, um Latossolo e um Cambissolo) de diferentes composições mineralógicas. Os estudos evidenciaram aumento da capacidade de sorção de Cr(III) com o aumento do teor de matéria orgânica e óxido de ferro dos solos. Ainda, a sorção de Cr(III) aumentou a partir da elevação do pH, o que aumenta a carga sobre as superfícies de sorção.

Kimbrough et al. (1999) menciona que quando o Cr (VI) em solução atinge o aquífero, sua conversão em Cr (III) é frequente, quando em predomínio de condições redutoras. Os agentes redutores comumente encontrados em solo são a matéria orgânica, Fe (III), enxofre, sulfato de hidrogênio, amônio, nitrato e sulfeto de ferro, sendo estes capazes de reduzir o Cr (VI) inclusive em condições de superfície.

4.4 Investigação Confirmatória de Passivos Ambientais

A investigação confirmatória de passivos ambientais se refere a segunda etapa do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC). Tem como objetivo a comprovação ou descarte de suspeitas de contaminação (substâncias e focos) fora ou dentro da área estudada, as quais devem ser caracterizadas na primeira etapa do GAC (avaliação preliminar) (MARKER, 2020a). Tal constatação deve ser realizada através da amostragem exploratória dos meios de interesse (água, solo) e comparação de valores analíticos com os valores orientadores estipulados em legislação vigente. (MARKER, 2020a).

Marker (2020b) cita que a escolha da(s) estratégia(s) de amostragem depende, principalmente, do conhecimento existente a respeito da área e fontes de contaminação e objetivos atrelados a investigação. A seguir (Tabela 2) são apresentadas as principais estratégias utilizadas para amostragem na zona não saturada (solo).

Tabela 2. Estratégias de investigação confirmatória na zona não saturada (solo).

Estratégias de amostragem (distribuição, meios amostrados)	Parâmetros (Substâncias químicas de interesse)	Objetivo e justificativa da amostragem
Dirigidos a fonte/foco potencial no solo	<ul style="list-style-type: none"> • pH, condutividade, metais • VOCs (compostos orgânicos voláteis): BTEX, solventes/ organoclorados • SVOCs: PAHs • POPs: pesticidas • PCBs/PAH 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprovar existência de foco de contaminação • Comprovar risco genérico da contaminação (VI)
Sistemático, porém dirigido a matrizes complexas (resíduos sólidos)	Todos os parâmetros menos voláteis	Orientativo para a composição de depósitos de resíduos, escombros e solos; classificação segundo NBR 10004
Sistemática no solo (geoestatística)	Todos	<ul style="list-style-type: none"> • Comprovar risco genérico da contaminação (VI) • Aproximar-se ao foco (requer várias etapas de amostragem cada vez mais detalhadas)
Coleta de amostra composta de solo (multiincremento)	Metais, SVOCs, pesticidas POPs (não recomendado para VOCs devido à volatilização durante a homogeneização)	<ul style="list-style-type: none"> • Aproximar-se a um foco • Caracterizar contaminação difusa • Caracterizar exposição (valor médio) em unidade de decisão
Gases de solo: rastreamento (SGS) e determinação quantitativa	Voláteis + metano	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar focos de contaminações com Voláteis (TPH /solventes na água subterrânea, lixo orgânico) • Análise quantitativa
Outros métodos de resposta rápida, de rastreamento/screening (geofísicos, geoquímicos)	Vários, direto e indireto	Detectar focos de contaminações com Voláteis (TPH/solventes no solo, na água subterrânea, resíduos orgânicos)

Fonte: Adaptado de MARKER, 2020b.

Quando aplicadas a caracterização de cromo em solo, as amostragens devem ser realizadas em horizonte argiloso e/ou com menor fração granulométrica, visto que compostos metálicos tendem a sorver em perfis de solo com tais características. Ainda, amostragens na franja capilar devem também ser realizadas, considerando o fluxo das águas subterrâneas e eventuais processos de sorção e retardação de tal contaminante (BERTOLO, 2020a).

Já as águas subterrâneas devem ser amostradas considerando as substâncias químicas de interesse, profundidade do foco, possibilidade de fase livre, direção de fluxo e possíveis resultados obtidos das amostragens de solos (MARKER, 2020c).

Marker (2020c) ainda menciona que tais amostragens devem ser realizadas através de poços de monitoramento localizados o mais próximo possível das evidências de contaminação e devidamente instalados por empresas capacitadas conforme procedimentos complexos orientados pelas Normas ABNT.

Quando aplicada a amostragem de metais, atenta-se também a filtração da amostra, atividade que visa eliminar a porção sólida em suspensão, cujo conteúdo químico pode corromper sobremaneira a interpretação hidroquímica da fase dissolvida.

Outro objetivo final da investigação confirmatória de passivos ambientais é a atualização do modelo conceitual da área desenvolvido na etapa de avaliação preliminar. Tal atividade deve ser realizada considerando os resultados obtidos em investigação confirmatória, os quais restringirão as áreas suspeitas de contaminação e direcionarão o aprofundamento dos estudos e adensamento da malha de sondagens e poços de monitoramento conforme necessidade.

CETESB (2022) relata em seu manual de gerenciamento de áreas contaminadas que o segundo modelo conceitual da área (MCA 2) é um relato escrito que pode conter ilustrações dos resultados obtidos através da investigação confirmatória, o qual deve conter principalmente a caracterização das fontes de contaminação, das substâncias químicas de interesse, das rotas potenciais ou reais de exposição e possíveis bens a proteger.

O Grupo NICOLE (2022) também divulgou um boletim que introduz dos elementos necessários para correta elaboração do MCA 2. O documento cita que nesta fase deve haver a caracterização da área, consolidando dados do meio físico e extensão dos compostos de interesse. Também deve haver o rastreamento de lacunas de dados que por ventura ainda existam, como por exemplo, a obtenção do gradiente hidráulico e velocidade da água subterrânea, além do balanço hídrico da área e concentrações máximas aceitáveis das substâncias de interesse.

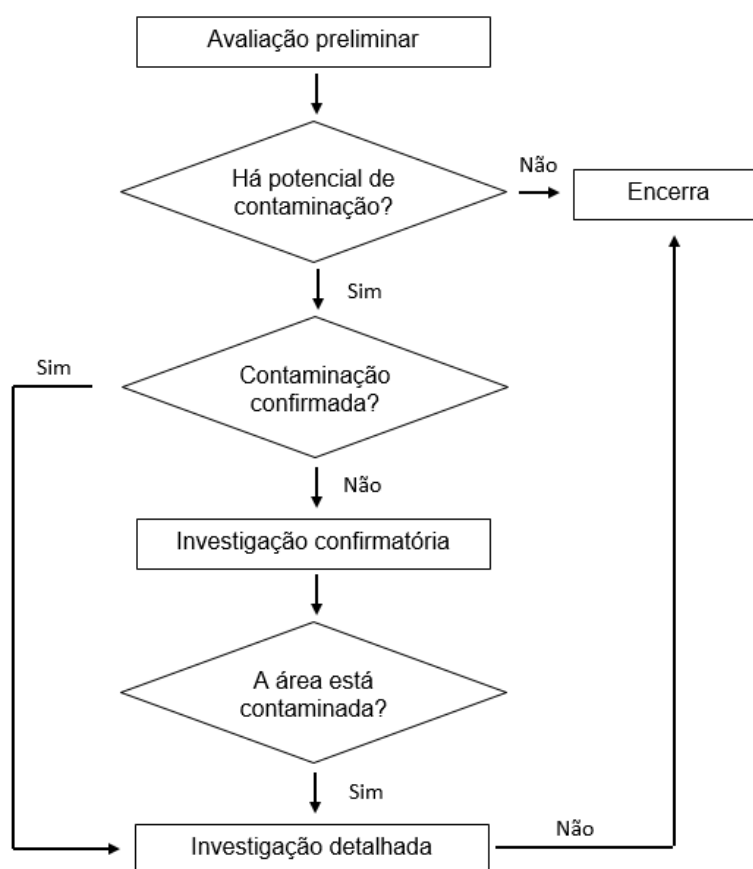
4.5 Legislações e normas básicas vigentes

No âmbito do assunto relacionado ao gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas elaborou, a partir de 2007, uma série de documentos técnicos com a finalidade de orientar procedimentos de avaliação e remediação de passivos ambientais, sendo os principais:

- **ABNT NBR 15.515-1/2007:** Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar. Nesta norma são estabelecidos procedimentos para realização de avaliação preliminar de passivo ambiental, que tem por objetivo identificar os indícios de contaminação do solo e/ou água subterrânea na área de estudos (ABNT, 2007a).
- **ABNT NBR 15.515-2/2011:** Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória. Esta norma apresenta os requisitos mínimos necessários para o desenvolvimento de investigação confirmatória de passivos ambientais onde já foram encontrados indícios de contaminação, através de estudos realizados em conformidade com a ABNT NBR 15.515-1 (ABNT, 2011).
- **ABNT NBR 15.515-3/2013:** Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação detalhada. São estabelecidos nesta norma os procedimentos mínimos exigidos para realização de investigação detalhada de passivos ambientais em áreas em que já foi confirmada a contaminação de solo e/ou água subterrânea por meio das ABNT NBR 15.515-2 e 15.515-3 (ABNT, 2013b).

A Figura 5 ilustra as etapas da avaliação de passivo ambiental.

Figura 5. Fluxograma das etapas de avaliação de passivo ambiental.



Fonte: Adaptado de ABNT, 2007.

Com relação à qualidade do solo e água subterrânea, é aplicada a Resolução CONAMA 420/2009, que “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas” (CONAMA, 2009).

Esta resolução fixa, em seu Anexo II, valores orientadores de prevenção e investigação para o solo, onde os VMP do segundo são atribuídos de acordo com seus usos preponderantes, que são: uso agrícola, residencial e industrial. Para águas subterrâneas a resolução define valores orientadores apenas para investigação (CONAMA, 2009).

Contudo, no que diz respeito ao diagnóstico de contaminações ambientais por derivados de petróleo, a preocupação constante observada se refere aos BTEX,

porém nenhuma delas faz menção aos hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH). Desta forma, atualmente a legislação utilizada para obtenção de VMP do parâmetro TPH é a Lista Holandesa (Soil Remediation Circular) (SRC, 2013).

A Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea especifica padrões de forma a garantir o princípio de versatilidade do solo, ou seja, os padrões devem ser definidos de forma a não restringir o uso do solo (FINOTTI *et al.*, 2001).

Sendo assim, esta lista especifica valores ABC para solo e água subterrânea, onde valores inferiores ao valor A consideram o solo como não contaminado e superiores a esse valor indicam que pode ser requerida uma investigação preliminar. Já os valores superiores ao valor B apontam a presença de contaminação na área, onde podem ser necessárias investigações ambientais que busquem a definição da extensão da contaminação e riscos. Por fim, valores superiores ao valor C apresentam a necessidade de intervenções e remediação na área (FINOTTI *et al.*, 2001).

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

Todas as informações descritas a seguir tiveram como base a monografia desenvolvida por Matzembacher (2020), que caracterizou a área em estudo e desenvolveu nela a primeira etapa do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) – Avaliação Preliminar, permitindo assim o seguimento nos estudos investigatórios apresentados no decorrer deste trabalho.

A área se localiza na região metropolitana do município de Porto Alegre/RS e possui 5,1 hectares. Historicamente, foram desenvolvidas atividades de reciclagem e beneficiamento de papel (1943 a 1965) e recuperação de rebarbas de couro (1965 a 2017) na área. Ainda, a parcela não construída da área total do imóvel foi utilizada para disposição de resíduos sólidos da construção civil (RSCC) entre os anos de 2012 e 2017.

Após inspeção e reconhecimento da área Matzembacher (2020) pode, com o auxílio do proprietário do imóvel, reconstituir os processos produtivos desenvolvidos e tornar conhecida a localização das principais fontes de contaminação da área. Por

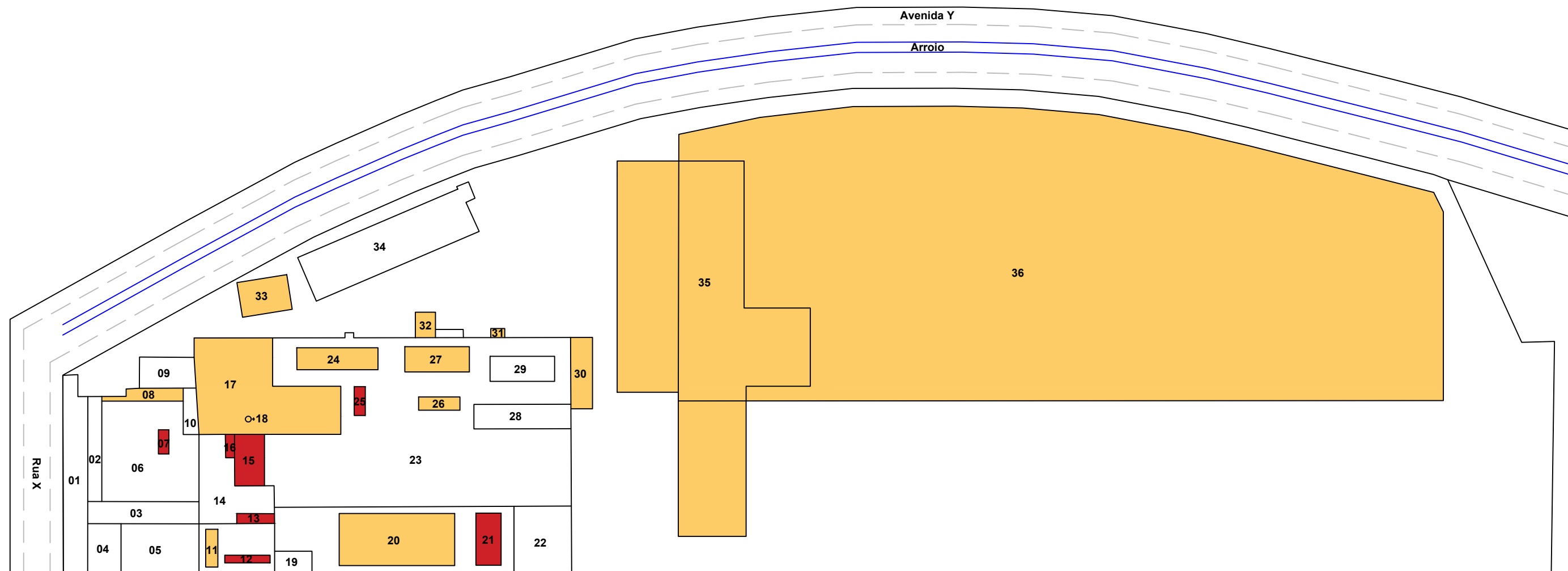
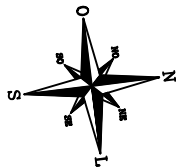
conta disso, o autor classificou o modelo conceitual preliminar como sendo do tipo MC 1A, conforme dispostos contidos na DD 38/2017C (CETESB, 2017).

As informações referentes as áreas potencialmente contaminadas e com suspeitas de contaminação levantadas por Matzembacher (2020), bem como demais informações pertinentes ao modelo conceitual da área estão dispostas na Tabela 3. A localização de cada uma dessas áreas é apresentada no Mapa 1 (pág. 32).

Tabela 3. Modelo conceitual aplicado da área estudada (MC 1A).

Nº	Área/setor	Fonte	Classificação da fonte	Contaminantes	Mecanismos de liberação	Vias de transporte	Meios afetados / receptores			
7	Calandra	Manchas de óleo no piso	Área suspeita	BTEX, TPH, HPA	Lixiviação através do piso não impermeabilizado com posterior infiltração para o solo e água subterrânea. Volatilização	Ar, solo e água subterrânea	Ar, solo, água subterrânea, animais e homem			
8	Área de moagem do papelão	Óleos e lubrificantes utilizados nos moinhos	Área potencial							
11	Prensas hidráulicas	Óleos e lubrificantes utilizados nas prensas	Área potencial							
12	Túnel de pintura	Manchas de óleo no piso	Área suspeita							
13	Compressor de ar	Presença de resíduos dispostos na área	Área suspeita	Todos os grupos de substâncias CONAMA 420/09						
15	Área de manutenção	Maquinários que utilizam óleos e lubrificantes	Área suspeita	BTEX, TPH, HPA						
16	Caldeira a óleo	Manchas de óleo no piso	Área suspeita							
17	Área de mistura	Produtos acrílicos utilizados nessa etapa do processo	Área potencial	Todos os grupos de substâncias CONAMA 420/09						
20	Área de hidratação	Possíveis derramamentos de efluentes ricos em cromo	Área potencial							
21	Área de moagem do couro	Manchas de óleo no piso	Área suspeita	BTEX, TPH, HPA						

N°	Área/setor	Fonte	Classificação da fonte	Contaminantes	Mecanismos de liberação	Vias de transporte	Meios afetados / receptores
24	Máquina contínua	Óleos e lubrificantes utilizados no maquinário	Área potencial				
25	Prensa	Manchas de óleo no piso	Área suspeita				
26	Calandra	Óleos e lubrificantes utilizados na calandra	Área potencial				
27	Lixadeira	Poeira/material particulado do processo de lixamento	Área potencial	Todos os grupos de substâncias CONAMA 420/09			
30	Depósito de produtos químicos	Produtos diversos armazenados na área	Área potencial				
31	Tanque de <i>fuel</i>	Possíveis derramamentos de combustíveis	Área potencial	BTEX, TPH, HPA			
32	Área de carregamento do pó da lixadeira	Possíveis derramamentos de material	Área potencial	Todos os grupos de substâncias CONAMA 420/09			
33	Estação de tratamento de água	Possíveis produtos e/ou insumos utilizados	Área potencial				
35	Galpões de madeira para secagem do couro	Possíveis derramamentos de líquido rico em metais (possivelmente cromo) e compostos acrílicos e/ou vinílicos	Área potencial				



LEGENDA

- 01) Recuo viário

02) Vestiário

03) Entrada principal

04) Administrativo

05) Expedição

06) Área de produção de papelão

07) Calandra

08) Área de moagem do papelão

09) Depósito de madeiras

10) Caldeira a lenha

11) Prensas hidráulicas

12) Túnel de pintura

13) Compressor de ar
- 14) Área aberta

15) Área de manutenção

16) Caldeira a óleo

17) Área de mistura (acrílicos + MP)

18) Poço artesiano

19) Quadro de força

20) Área de hidratação da MP

21) Área de moagem do couro

22) Depósito de MP

23) Área de trânsito de empilhadeiras

24) Máquina contínua

25) Prensa

26) Calandra
- 27) Lixadeira

28) Rampa de acesso

29) Estufa a vapor

30) Depósito de produtos químicos

31) Tanque de fuel

32) Área de carregamento do pó da lixadeira

33) Estação de tratamento de água

34) Piscina/açude

35) Galpões de madeira para secagem do couro

36) Área de disposição de RSOC

- Áreas com potencial de contaminação (AP)
- Áreas suspeitas de contaminação (AS)

00	EMIÇÃO INICIAL	24/08/2020
Revisão	Discriminação	Data
AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR INDÚSTRIA X RIO GRANDE DO SUL		
Unidade:	METRO	Assunto
Fiscalização:		Prancha
Data:	AGOSTO/2020	
Arquivo:		Escala: 1/1.250
MODELO CONCEITUAL DA ÁREA		

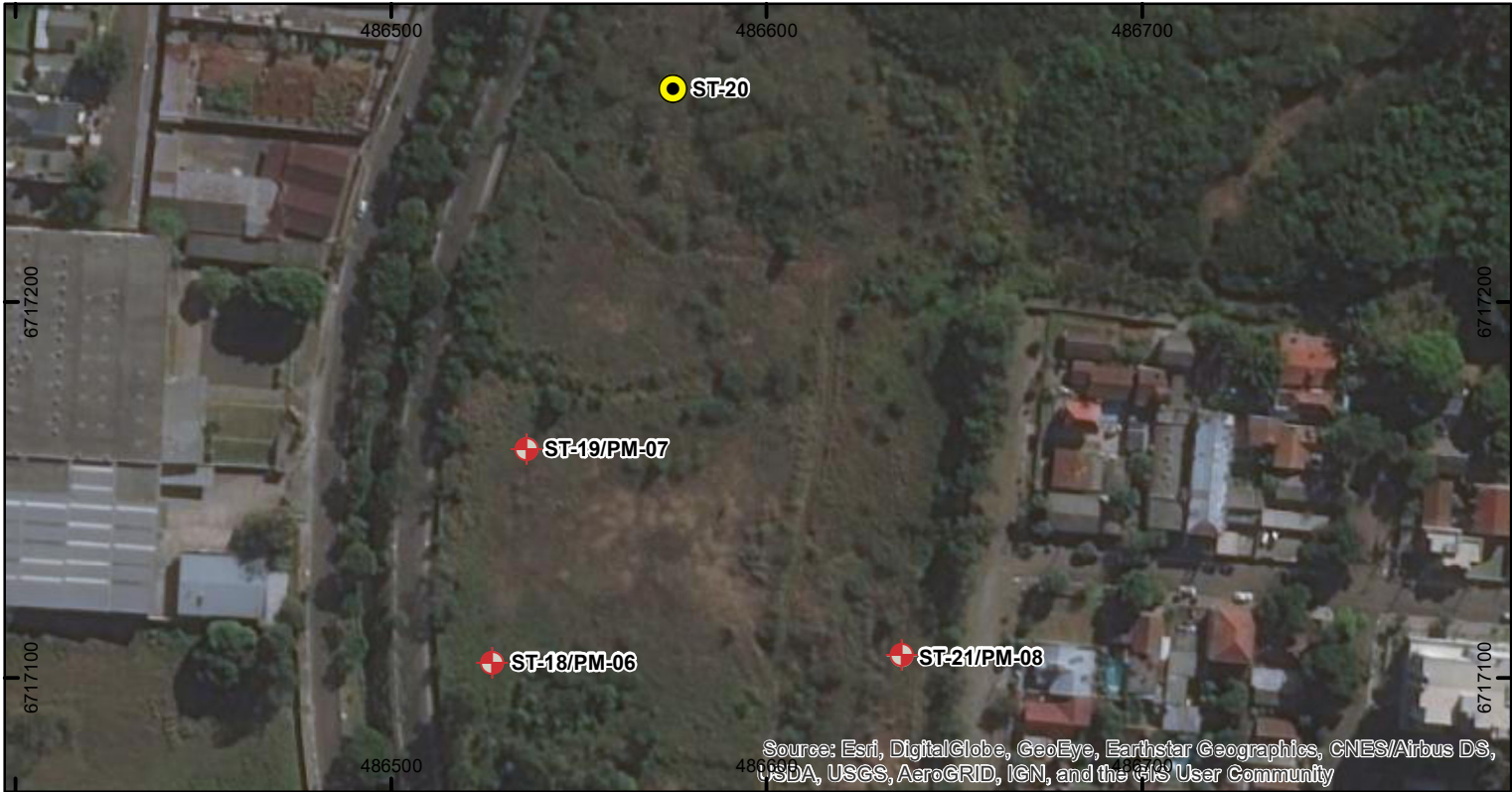
Como principais considerações do estudo de Matzembacher (2020) tem-se a verificação de possíveis indícios de contaminação na área, como manchas de óleo no pavimento, além da própria atividade exercida historicamente. Considerando estes fatores, o autor menciona diversas substâncias químicas de interesse para quantificação, dentre elas os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e hidrocarbonetos aromáticos voláteis (BTEX), que são comumente encontrados em produtos derivados de petróleo, como óleos, combustíveis e etc. Ainda, em função da atividade de beneficiamento e manuseio de rebarbas de couro exercida no local, tem-se a necessidade de quantificação de substâncias inorgânicas, como é o caso dos metais. Por fim, visto que não foi possível a definição precisa dos produtos utilizados em diversas porções da área, também se indicou a quantificação de todas as substâncias contidas na Resolução CONAMA 420/09.

6 METODOLOGIA

Os trabalhos de investigação confirmatória consideraram o preconizado na resolução NBR 15.515-2 – Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea – Parte 2: Investigação Confirmatória (ABNT, 2011).

A metodologia escolhida para realização da Investigação Confirmatória considerou o modelo conceitual desenvolvido por Matzembacher (2020), o qual foi classificado como MC 1A. Neste caso, o plano de amostragem deve estar voltado às substâncias químicas de interesse e direcionada a todas as fontes potenciais de contaminação identificadas, ou seja, utiliza-se a estratégia de amostragem direcionada.

Desta forma, foram executadas vinte e uma (21) sondagens para amostragens de solos e instalados oito (08) poços de monitoramento para coletas de águas subterrâneas, as quais foram distribuídas de maneira a abranger todas as áreas potenciais e/ou com suspeita de contaminação. O Mapa 2 apresenta a localização das sondagens e poços de monitoramento.



LEGENDA

- Área Investigada
- Poços de Monitoramento
- Sondagens

01	EMIÇÃO INICIAL	Novembro/2021
Revisão	Discriminação	Data
INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL CONFIRMATÓRIA		
INDÚSTRIA X		
RIO GRANDE DO SUL		
Unidade:	METRO	ASSUNTO
Fiscalização:		Prancha
Data:	Novembro/2021	
Arquivo:		
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DE SONDAENS E POÇOS		Escala: 1:2.300

6.1 Sondagens investigatórias

Todos os serviços de sondagens foram realizados de acordo com a NBR 15.492/2007: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As sondagens investigatórias denominadas ST-01 a ST-17 foram executadas com o auxílio de trado mecanizado com broca helicoidal de 6". Já as sondagens ST-18, ST-19 e ST-21 tiveram camada de aterro com resíduos sólidos da construção civil (RSCC) removida com o auxílio de retroescavadeira, sendo perfurados com trado mecanizado após o limite inferior do aterro. Por fim, a ST-20 foi realizada integralmente com retroescavadeira.

Durante o acesso ao substrato ocorreu a descrição do perfil geológico local, verificação de eventuais resíduos enterrados, bem com detecção da profundidade do nível freático (NA) no ponto sondado, se existente. As Figura 6 e Figura 7 a seguir ilustram os aspectos gerais da metodologia utilizada.

Figura 6. Aspectos gerais da metodologia de sondagem utilizada na área interna do empreendimento.

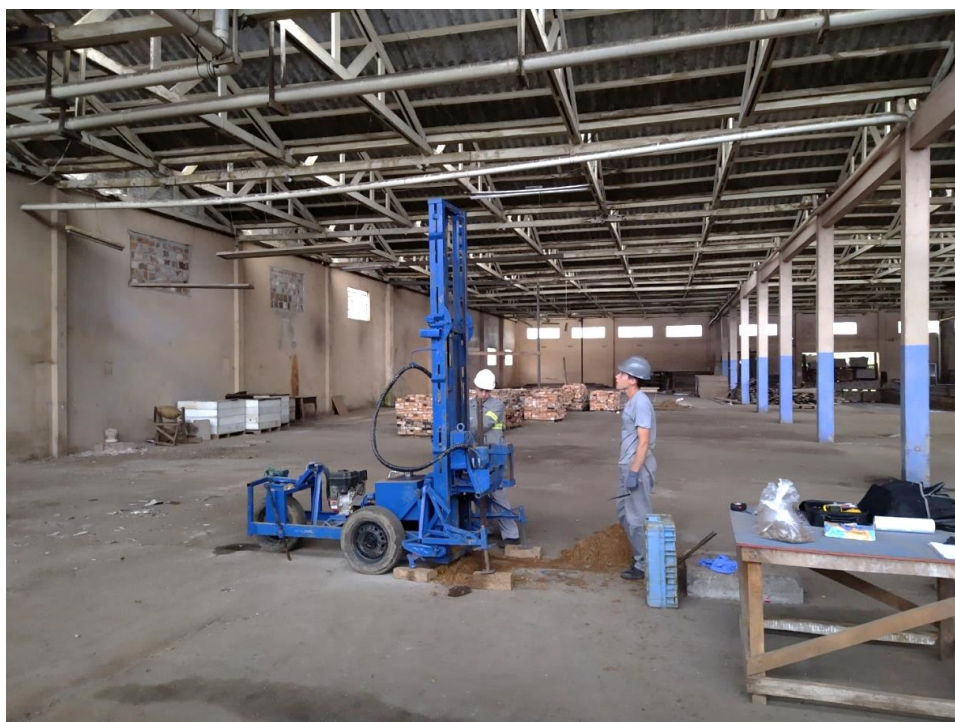


Figura 7. Aspectos gerais da metodologia de sondagem utilizada na área externa do empreendimento.



6.2 Amostragens de solos e medições de VOCs

As amostragens de solos são realizadas conforme a normativa da ABNT NBR 16.434/2015: Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento (ABNT, 2015), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Ainda, durante a realização das sondagens, a cada 0,50 metros foram efetuadas medições de VOC *in situ* em alíquotas de solo coletadas ao longo dos perfis na zona não saturada (Figura 8).

A determinação da profundidade de coleta de amostras para envio ao laboratório foi realizada respeitando a seguinte ordem: evidência visual ou odor de contaminantes, maior medição de VOC medido *in situ* com concentração representativa de possíveis contaminações e, na ausência destes, realizou-se a coleta em horizonte com menor fração granulométrica (horizonte argiloso), visto o espesso perfil arenoso na área da indústria e a tendência de eventuais contaminantes presentes na área de estudos permanecerem sorvidos nesses horizontes.

Uma vez selecionadas as alíquotas de solo para análise, estas foram acondicionadas em frascos específicos, limpos e devidamente identificados, sendo armazenados em caixas térmicas com gelo e posteriormente encaminhados para análise em laboratório (Figura 9).

Figura 8. Realização das medições de VOCs.



Figura 9. Acondicionamento de amostras de solo em frascos para envio ao laboratório.



6.3 Instalação de poços de monitoramento

A construção dos poços de monitoramento é desenvolvida considerando os dispostos nas NBR 15.495-1/2007: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: projeto e construção e NBR 15.495-2/2008: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: desenvolvimento, ambas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Figura 10 a Figura 13).

A instalação dos poços de monitoramento ocorreu nas mesmas perfurações realizadas para desenvolvimento das sondagens denominadas ST-01, ST-03, ST-12, ST-14, ST-17, ST-18, ST-19 e ST-21. De maneira análoga, estes foram denominados de acordo com numeração crescente de PM-01 a PM-08.

Após a instalação, todos os poços de monitoramento foram desenvolvidos, visando assim remover o material sedimentar residual dos procedimentos de perfuração e propiciar a acomodação adequada do pré-filtro no espaço anular externo as tubulações instaladas. Esses procedimentos foram realizados de acordo com a NBR 15.495-2: Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento.

Figura 10. Instalação dos poços de monitoramento (colocação de revestimentos).



Figura 11. Instalação dos poços de monitoramento (colocação de pré-filtro).



Figura 12. Instalação dos poços de monitoramento (colocação de bentonita).



Figura 13. Instalação dos poços de monitoramento (configuração final dos poços).



6.4 Amostragens de águas subterrâneas

As coletas das amostras de água subterrânea oriundas dos oito (08) poços de monitoramento foram realizadas através do método de baixa vazão (*low flow*), de acordo com as condicionantes impostas pela NBR 15.847/2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Figura 14).

A metodologia de amostragem por baixa vazão foi adotada para garantir maior qualidade e minimizar ao máximo o efeito de turbulência na extração de água da formação geológica. Na aplicação deste método, garante-se equilíbrio entre entrada e saída de água no poço de monitoramento. Estabelece-se um regime de fluxo laminar sem provocar rebaixamento e turbulência. Nestas condições, uma vez realizada a purga do volume relativo ao poço e à extensão de mangueira, e estabilizados os parâmetros físico-químicos da amostra, garante-se que a água extraída seja corresponde à água da formação geológica em foco.

As amostras de água subterrânea coletadas para análise de metais foram filtradas em campo com filtros descartáveis do tipo *Speed Filter*, com malha de 0,45

micra, antes de serem colocadas em frascos limpos fornecidos pelo laboratório, identificadas, acondicionadas em caixas térmicas com gelo e imediatamente despachadas para o laboratório.

As amostras coletadas foram acondicionadas e preservadas atendendo os procedimentos previstos no manual da CETESB – Amostragem de Solo e Água Subterrânea. Após a coleta as amostras foram imediatamente despachadas para análise em laboratório analítico.

Figura 14. Amostragens de águas subterrâneas.



6.5 Cadastro e nivelamento dos poços de monitoramento

No intuito de determinar as cotas piezométricas dos poços de monitoramento instalados na área e, posteriormente, as direções preferenciais de fluxo das águas subterrâneas (potenciometria), realizou-se o cadastramento dos poços com o auxílio de *GPS* de mão e nivelamento relativo dos poços com o auxílio de nível óptico.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Execução das sondagens e instalação dos poços de monitoramento

A Tabela 4 apresenta as informações gerais das sondagens executadas e profundidades de amostragens de solos. Na Tabela 5 estão dispostas as informações construtivas dos poços de monitoramento instalados.

O Anexo I ilustra os detalhes de cada perfil de sondagem executado, bem como as características construtivas, respectiva posição do nível freático e a estratigrafia do substrato geológico interceptado.

Tabela 4. Informações das sondagens.

ST/PM	Diâmetro	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)	Profundidade da amostragem de solo (m)
ST-01/PM-01	6"	4,45	3,20	2,00
ST-02	6"	3,00	2,20 e 2,60	1,00
ST-03/PM-02	6"	4,00	1,30	3,90
ST-04	6"	3,00	1,30	1,50
ST-05	6"	3,50	3,20	1,50
ST-06	6"	4,00	3,80	1,50
ST-07	6"	4,00	4,00	3,90
ST-08	6"	4,50	4,00	2,00
ST-09	6"	3,50	3,20	1,00
ST-10	6"	3,50	3,00	1,50
ST-11	6"	3,50	3,30	1,50
ST-12/PM-03	6"	4,60	2,60	1,00
ST-13	6"	3,00	2,70	1,50

ST/PM	Diâmetro	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)	Profundidade da amostragem de solo (m)
ST-14/PM-04	6"	4,70	3,80	4,50
ST-15	6"	4,00	3,70	3,50
ST-16	6"	2,70	1,70	1,50
ST-17/PM-05	6"	3,10	2,00	1,50
ST-18/PM-06	6"	4,00	1,50	1,50
ST-19/PM-07	6"	4,50	1,50	1,50
ST-20	6"	2,00	1,60	1,50
ST-21/PM-08	6"	4,00	1,50	1,50

Tabela 5. Informações construtivas dos poços de monitoramento.

PM	Profund. (m)	N.A. estabilizado (m)	Bentonita (m)	Pré-filtro (m)	Rev. Liso (m)	Rev. Ranhurado (m)
ST-01/PM-01	4,45	1,98	0,3 a 0,5	0,5 a 4,45	0,0 a 1,45	1,45 a 4,45
ST-03/PM-02	4,00	1,78	0,3 a 0,5	0,5 a 4,0	0,0 a 1,0	1,0 a 4,0
ST-12/PM-03	4,60	2,66	0,4 a 0,6	0,6 a 4,6	0,0 a 1,6	1,6 a 4,6
ST-14/PM-04	4,70	3,80	0,8 a 1,0	1,0 a 4,7	0,0 a 1,7	1,7 a 4,7
ST-17/PM-05	3,10	1,78	0,4 a 0,6	0,6 a 3,1	0,0 a 1,1	1,1 a 3,1
ST-18/PM-06	4,00	1,35	1,0 a 1,2	1,2 a 4,0	0,0 a 1,0	1,0 a 4,0
ST-19/PM-07	4,50	1,40	1,0 a 1,2	1,2 a 4,5	0,0 a 1,5	1,5 a 4,5
ST-21/PM-08	4,00	1,85	1,1 a 1,3	1,3 a 4,0	0,0 a 2,0	2,0 a 4,0

7.2 Geologia e hidrogeologia local

Conforme CPRM (2006), o município de Novo Hamburgo é caracterizado, a sul, por porções baixas, relacionadas à depósitos sedimentares recentes e, a norte, por encostas, sendo estas formadas por basaltos pertencentes a Formação Serra Geral e arenitos contidos na Formação Botucatu (*apud* MATZEMBACHER, 2020).

CPRM (2006 *apud* MATZEMBACHER, 2020) apresenta também o Mapa Geológico Integrado do Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre, onde consta que a gleba se localiza sobre Depósitos de Leques Aluviais, onde se encontram sedimentos recentes relacionados a arenitos arcoseanos, conglomerados e arenitos conglomeráticos, imaturos e fracamente consolidados, além de porções arenosas e argilosas. Esta unidade possui limite em contato com a Formação Botucatu, a qual constitui arenitos finos a grosseiros, bimodais, com estratificação cruzada acanalada de grande porte, formados em contexto de *paleoerg* com grandes campos de dunas. Verificam-se também, de forma menos presente, arenitos finos a porções argilosas relacionadas às fácies de interdunas.

No que se refere a hidrogeologia da área, domina localmente a Unidade Hidrogeológica Botucatu, subunidade f3, constituída por litologias essencialmente areníticas e já afastadas da encosta, contudo ainda sofrendo alguma influência estrutural desta, o que corrobora para o comportamento mais homogêneo (CPRM, 2006 *apud* MATZEMBACHER, 2020).

Na área avaliada, a partir das sondagens executadas, verifica-se substrato composto por perfis sedimentares que migram arenosos a argilosos com composições intermediárias e que variam horizontalmente e verticalmente, evidenciando forte heterogeneidade local do substrato geológico. Na área ocupada por pavilhões, as sondagens evidenciam espessos perfis arenosos, com indícios de associação a antigos aterros executados para nivelamento do terreno, de maneira a propiciar a construção das benfeitorias. É importante ressaltar que se trata de pavilhões bastante antigos, de forma que as técnicas e equipamentos utilizados na construção civil eram distintos dos utilizados atualmente.

O sistema do aquífero superficial se caracteriza do tipo livre, com interceptação do freático local entre 1,35 e 3,80 metros de profundidade, este condicionando a presença de aterros e heterogeneidades verticais e laterais do substrato geológico local.

7.3 Mapa potenciométrico

O nivelamento foi executado a partir do PM-01, para o qual se atribuiu cota de referência no valor de 20 metros. As demais cotas, obtidas a partir do nivelamento relativo entre os poços, são apresentadas na Tabela 6 juntamente com os níveis estáticos dos poços e referidas cotas piezométricas relativas.

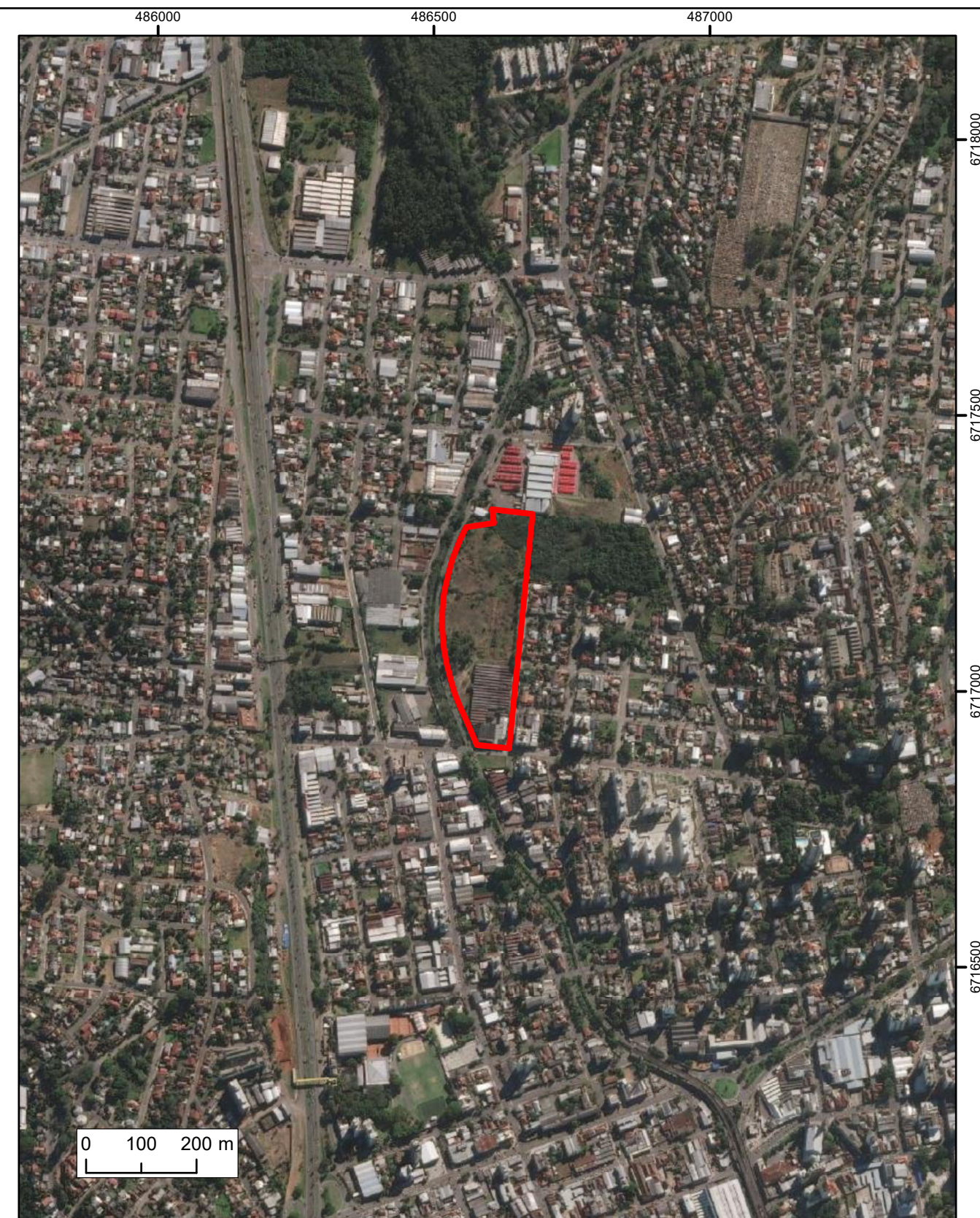
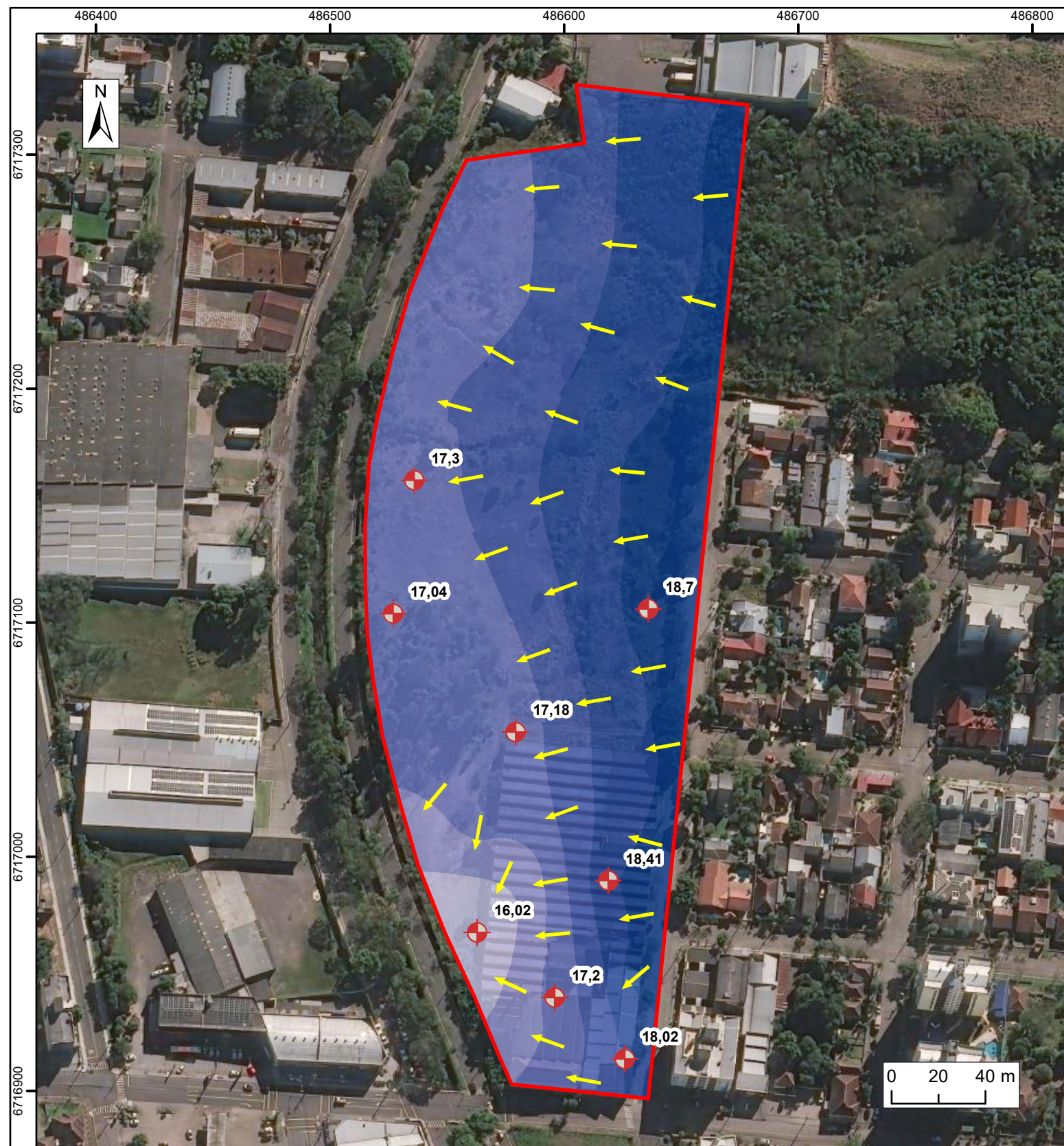
Tabela 6. Cotas resultantes do nivelamento entre os poços de monitoramento.

Poço de Monitoramento (PM)	Cota (metros)	NA Estabilizado (m)	Cota Piezométrica (metros)
ST-01/PM-01	20,00	1,98	18,02
ST-03/PM-02	20,19	1,78	18,41
ST-12/PM-03	19,86	2,66	17,20
ST-14/PM-04	19,82	3,80	16,02
ST-17/PM-05	18,96	1,78	17,18
ST-18/PM-06	18,39	1,35	17,04
ST-19/PM-07	18,70	1,40	17,30
ST-21/PM-08	20,55	1,85	18,70

Salienta-se que a cota piezométrica relativa de um poço de monitoramento é a subtração da profundidade do seu nível d'água pela cota relativa obtida através do nivelamento.

A partir dos cálculos da cota piezométrica foi elaborado o mapa potenciométrico da área (Mapa 3, pág. 45) referente a condição existente de fluxo do aquífero freático encontrada em 17 de outubro de 2019. Segundo o mapa elaborado e apresentado a seguir, é possível determinar a direção de fluxo preferencial das águas de leste para

oeste, no sentido de um curso hídrico localizado à oeste da área estudada. Tal resultado é coerente e já esperado, uma vez que aquíferos rasos comumente possuem sentido de fluxo na direção de curso hídricos.



LEGENDA

Intervalos Potenciométricos (m):

- < 16,5
- 16,5 - 17,0
- 17,0 - 17,5
- 17,5 - 18,0
- 18,0 - 18,5
- > 18,5

- Cotas Piezométricas (m)
- Limite do Empreendimento
- Sentido de Fluxo

01	EMIÇÃO INICIAL	Novembro/2021
Revisão	Discriminação	Data
INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL CONFIRMATÓRIA		
INDUSTRIA X		
RIO GRANDE DO SUL		
Unidade:	METRO	ASSUNTO
Fiscalização:		Prancha
Data:	Novembro/2021	
Arquivo:		
MAPA POTENCIOMÉTRICO		Escala: 1:2.217

7.4 Avaliação de VOCs no solo

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos das medições de VOCs realizadas ao longo dos perfis de sondagens.

Tabela 7. Medições de VOC's durante a realização das sondagens (ppm).

Sondagem	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
ST-01/PM-01	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
ST-02	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-	-	-
ST-03/PM-02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
ST-04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
ST-05	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	-	-
ST-06	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
ST-07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	-
ST-08	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	-
ST-09	0,7	0,9	0,2	0,3	0,5	0,2	0,4	-	-
ST-10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
ST-11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
ST-12/PM-03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ST-13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
ST-14/PM-04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ST-15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
ST-16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
ST-17/PM-05	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-	-	-
ST-18/PM-06	1,1	0,4	0,2	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	-
ST-19/PM-07	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ST-20	0,1	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-
ST-21/PM-08	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-

Com base nas leituras de VOCs *in situ* realizadas ao longo dos perfis de sondagens, conclui-se a obtenção de baixas concentrações quanto a presença de vapores orgânicos no solo, sendo a concentração máxima de 1,1 ppm, encontrada no ponto ST-18/PM-06 a 0,5 m de profundidade.

7.5 Qualidade ambiental do solo

Considerando a grande quantidade e variedade dos produtos utilizados na indústria, optou-se pela quantificação de todas as substâncias químicas contidas no escopo da Resolução CONAMA 420/09, além de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), sendo este parâmetro citado apenas na Lista Holandesa de Valores (SRC, 2013).

Os resultados analíticos obtidos nas amostras de solos coletadas na área (Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10) não detectaram concentrações acima dos limites e padrões de referência utilizados durante a investigação ambiental confirmatória realizada (CONAMA 420/09 e SRC, 2013).

Cabe ressaltar que o ponto denominado ST-01/PM-01 foi inicialmente alocado como sendo o ponto de *background* da área, contudo, não foi possível executá-lo fora dos limites do imóvel, gerando incertezas quanto a sua representatividade. Neste ponto, os resultados analíticos apresentaram concentrações traços para o cromo e, por isso, descartou-se sua utilização para realização de comparações com os demais pontos.

Assim como na ST-01/PM-01, em todas as demais sondagens executadas foram observadas concentrações traços para cromo trivalente, além de cromo hexavalente na ST-16.

Altas concentrações dos compostos metálicos alumínio, ferro e manganês também foram evidenciadas nas amostragens de solos, as quais sugerem associação ao substrato geológico. Salienta-se que, em razão da descaracterização do ponto de *background*, não foi possível comparar tais concentrações às naturalmente presentes na área, tornando necessária a execução de nova amostragens para definição das concentrações de *background*.

Por fim, evidenciaram-se concentrações traços para alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (*HPAs*) nas ST-16 e ST-18, fenóis não clorados nas ST-02 (cresóis) e ST-18 (fenol).

Tabela 8. Parâmetros com resultados analíticos de solo relevantes para investigação ambiental (ST-01 a ST-07).

Parâmetros	Unid.	ST-01/ PM-01	ST-02	ST-03/ PM-02	ST-04	ST-05	ST-06	ST-07	CONAMA 420/09	SRC, 2013
Alumínio	mg/kg	21300	10100	10200	4540	11900	11300	4160	-	-
Ferro	mg/kg	12600	17600	28600	5880	11700	11000	2490	-	-
Manganês	mg/kg	18,0	17,6	306	21,9	33,2	34,2	117	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	-	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	< 0,00062	< 0,00059	< 0,00062	< 0,00059	< 0,00058	< 0,00058	< 0,00061	1,5	-
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg/kg	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	25	-
Cresóis totais	mg/kg	< 0,0018	0,012	< 0,0019	< 0,0018	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0018	14	13
Fenol	mg/kg	< 0,0031	< 0,0029	< 0,0031	< 0,0029	< 0,0029	< 0,0029	< 0,0031	10	14
Cromo trivalente	mg/kg	15,0	8,3	15,1	15,3	22,9	11,5	7,7	300 (soma)	180
Cromo hexavalente	mg/kg	< 0,41	< 0,4	< 0,41	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	300 (soma)	78
PCBs	mg/kg	< 0,0043	< 0,0041	< 0,0044	< 0,0041	< 0,0041	< 0,0041	< 0,0043	0,03	1

Tabela 9. Parâmetros com resultados analíticos de solo relevantes para investigação ambiental (ST-08 a ST-14).

Parâmetros	Unid.	ST-08	ST-09	ST-10	ST-11	ST-12/ PM-03	ST-13	ST-14/ PM-04	CONAMA 420/09	SRC, 2013
Alumínio	mg/kg	18700	11200	19900	21400	19000	17200	20400	-	-
Ferro	mg/kg	12400	9930	15800	16100	16000	14200	49400	-	-
Manganês	mg/kg	46,9	25,6	43,3	37,4	34,6	24,9	143	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	-	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	< 0,00058	< 0,00057	< 0,0006	< 0,00059	< 0,00061	< 0,00061	< 0,00066	1,5	-

Parâmetros	Unid.	ST-08	ST-09	ST-10	ST-11	ST-12/ PM-03	ST-13	ST-14/ PM-04	CONAMA 420/09	SRC, 2013
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg/kg	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	25	-
Cresóis totais	mg/kg	< 0,0017	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0018	< 0,0018	< 0,0018	< 0,002	14	13
Fenol	mg/kg	< 0,0029	< 0,0029	< 0,003	< 0,003	< 0,0031	< 0,0031	< 0,0033	10	14
Cromo trivalente	mg/kg	11,1	12,3	18,9	14,2	19,2	13,6	25,3	300 (soma)	180
Cromo hexavalente	mg/kg	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,41	< 0,4	< 0,43	300 (soma)	78
PCBs	mg/kg	< 0,004	< 0,004	< 0,0042	< 0,0042	< 0,0043	< 0,0043	< 0,0046	0,03	1

Tabela 10. Parâmetros com resultados analíticos de solo relevantes para investigação ambiental (ST-15 a ST-21).

Parâmetros	Unid.	ST-15	ST-16	ST-17/ PM-05	ST-18/ PM-06	ST-19/ PM-07	ST-20	ST-21/ PM-08	CONAMA 420/09	SRC, 2013
Alumínio	mg/kg	5090	9910	5150	5210	10000	28600	12200	-	-
Ferro	mg/kg	2650	7800	4010	2400	11600	11000	8160	-	-
Manganês	mg/kg	36,5	119	173	23,8	55,6	39,4	69,9	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	< 0,0025	0,003	< 0,0025	0,003	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	-	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	< 0,00062	0,002	< 0,00057	0,035	< 0,0006	< 0,00061	< 0,00057	1,5	-
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg/kg	< 0,0025	0,003	< 0,0025	0,003	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	25	-
Cresóis totais	mg/kg	< 0,0018	< 0,0017	< 0,0017	< 0,0017	< 0,0018	< 0,0018	< 0,0017	14	13
Fenol	mg/kg	< 0,0031	< 0,0029	< 0,0029	0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,0029	10	14
Cromo trivalente	mg/kg	5,8	108	8,9	19,4	12	21,4	60,9	300 (soma)	180
Cromo hexavalente	mg/kg	< 0,41	0,452	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	300 (soma)	78
PCBs	mg/kg	< 0,0043	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,0042	< 0,0042	< 0,004	0,03	1

Conforme já mencionado, concentrações traços de cromo trivalente foram observadas em todas as amostragens de solos realizadas. Tais resultados estão possivelmente relacionados às atividades exercidas no local, que por muito tempo consistiram no manuseio e beneficiamento de couro, material que contém altas concentrações de cromo em sua composição e também utiliza insumos contendo cromo para curtimento. Por se tratar de uma indústria antiga, estima-se que pouquíssimas atividades de gerenciamento de resíduos e efluentes eram desenvolvidas, acarretando no descarte irregular desses resíduos e diversos derramamentos de efluentes no interior do imóvel.

No que diz respeito aos valores traços observados para cresóis na ST-02, não foram identificadas fontes ativas de contaminação para esse composto na área, entretanto, as atividades historicamente exercidas podem ter utilizado insumos ou demais produtos que contenham o composto. Contudo, visto as baixas concentrações evidenciadas para esse parâmetro, além da ausência do mesmo nas demais sondagens realizadas no entorno desta (ST-13) e demais locais do empreendimento, conclui-se que este não representa risco a segurança e saúde humana.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) evidenciados nas ST-16 e ST-18, mais precisamente benzo(h,g,i)perileno, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3,cd)pireno tem como origem principal os derivados de petróleo. Na ST-16, as concentrações traços estão possivelmente relacionadas a um tanque de combustível (de composição desconhecida e denominada de *fuel* pelo proprietário da área) historicamente disposto no local da amostragem. Já na ST-18, as concentrações evidenciadas podem se relacionar ao aterro disposto nesta parcela da área, onde foram evidenciados blocos de asfalto, além de possivelmente conterem demais materiais e resíduos com a presença de derivados de petróleo em suas composições.

Na ST-18 foi evidenciada também pequena concentração de fenol, que possivelmente está também relacionada ao material/resíduo de origem incerta disposto nesta parcela da área.

Por fim, cabe mencionar que os equipamentos e maquinários utilizados na indústria eram predominantemente abastecidos por combustível e demandavam

aplicação contínua de óleos lubrificantes, os quais podem conter em suas composições os contaminantes observados com concentrações traços no imóvel.

7.6 Qualidade ambiental da água subterrânea

As análises nas alíquotas de águas subterrâneas (Tabela 11) coletadas nos poços de monitoramento detectaram concentrações acima do padrão de referência utilizado (CONAMA 420/09 e *SRC*, 2013) para os compostos ferro e manganês nos poços denominados PM-05 a PM-08, além de concentrações de arsênio e cromo trivalente no PM-05. Ainda, identificaram-se valores traços para bifenilos policlorados (PCBs) no PM-01, conforme também apresentado.

Conforme relatado, detectaram-se concentrações acima dos limites permitidos pela legislação vigente (CONAMA 420/09) para arsênio e cromo trivalente no PM-05. Considerando as atividades exercidas historicamente na área e localização do poço, é possível atribuir as altas concentrações evidenciadas para esses compostos metálicos às atividades exercidas no local, visto que este poço se localiza em área onde historicamente se localizava o depósito de produtos químicos e insumos utilizados no processo. Ainda, considera-se relevante a existência de uma tubulação de coleta pluvial municipal, onde se observou forte odor de efluentes, possivelmente lançados irregularmente por residências e indústrias na rede pluvial, os quais podem conter os mais diversos tipos de compostos, incluindo cromo e arsênio.

Evidenciaram-se também concentrações traços de bifenilas policloradas (PCBs) no PM-01, substâncias sintéticas utilizadas como fluidos isolantes em transformadores, capacitores e demais equipamentos elétricos. No interior do imóvel não foram identificados equipamentos com relações ou vínculos que justificassem a presença desse contaminante no local. Considerando a ausência de concentrações expressivas de PCBs nas análises de solo, estima-se que as concentrações evidenciadas na água subterrânea tenham origem antrópica com fonte localizada fora da área, sendo este transportado através de fenômenos físicos até as águas freáticas do local.

As concentrações de ferro e manganês detectadas recebem incrementos naturais a partir da constituição do solo por minerais ferrosos e manganesianos, estes lixiviados periodicamente a partir destes solos até o aquífero, incluso processos eventuais de oxidação do meio a partir do embasamento cristalino.

7.7 Modelo conceitual atualizado

A partir dos resultados obtidos é possível concluir a ocorrência de impactos ambientais gerados pelas atividades de manuseio e beneficiamento de couro exercidas historicamente no local. Esse fato se dá pela presença de cromo em todas as amostragens realizadas em solos, ainda que em concentrações inferiores aos limites permitidos em legislação, e pela concentração acima dos limites estabelecidos em água subterrânea no PM-05.

Contudo, as informações obtidas na Investigação Confirmatória não forneceram informações suficientes para determinação da gravidade e/ou dimensões da contaminação, deixando lacunas de dados que precisam ser abordados nos estudos de detalhamento na área investigada. Tais lacunas são descritas na Tabela 12 (pág. 57), sendo esta realizada com base no boletim técnico de auxílio na elaboração de modelos conceituais elaborado pelo grupo NICOLE (NICOLE, 2021).

Portanto, é de suma importância o avanço das etapas do GAC na área, realizando-se assim que possível as atividades pertinentes a etapa 3 – Investigação Detalhada de Passivos Ambientais.

Atenta-se ao agravante relacionado a existência de um curso hídrico localizado a cerca de 80 metros para oeste do PM-05 (onde se evidenciou contaminação em água subterrânea), sendo este um potencial receptor da contaminação diagnosticada, pois, segundo o mapa potenciométrico gerado, concluiu-se fluxo preferencial de leste para oeste, em sentido ao curso hídrico. Por isso, recomenda-se a obtenção da condutividade hidráulica do aquífero, que indicará a velocidade de espalhamento e mobilização da pluma de contaminante até potenciais receptores.

É importante considerar também possíveis focos de contaminação não identificados, uma vez que se observaram concentrações expressivas de cromo nas águas subterrâneas em contrapartida as baixas concentrações obtidas para as amostragens de solos. Tal evidência traz incertezas quanto a metodologia utilizada, sendo possível a realização de amostragens de solos em horizonte não representativo, além da alocação direcionada de pontos investigatórios, a qual pode desconsiderar possíveis fontes não identificadas. Desta forma, sugerem-se amostragens de solos em mais de uma profundidade, a fim de determinar também o padrão vertical de distribuição do cromo nos solos, bem como ampliação da malha de sondagens e poços de monitoramento, buscando pelo hot spot da contaminação, tanto em solo quanto em água, para delimitação das plumas de contaminação.

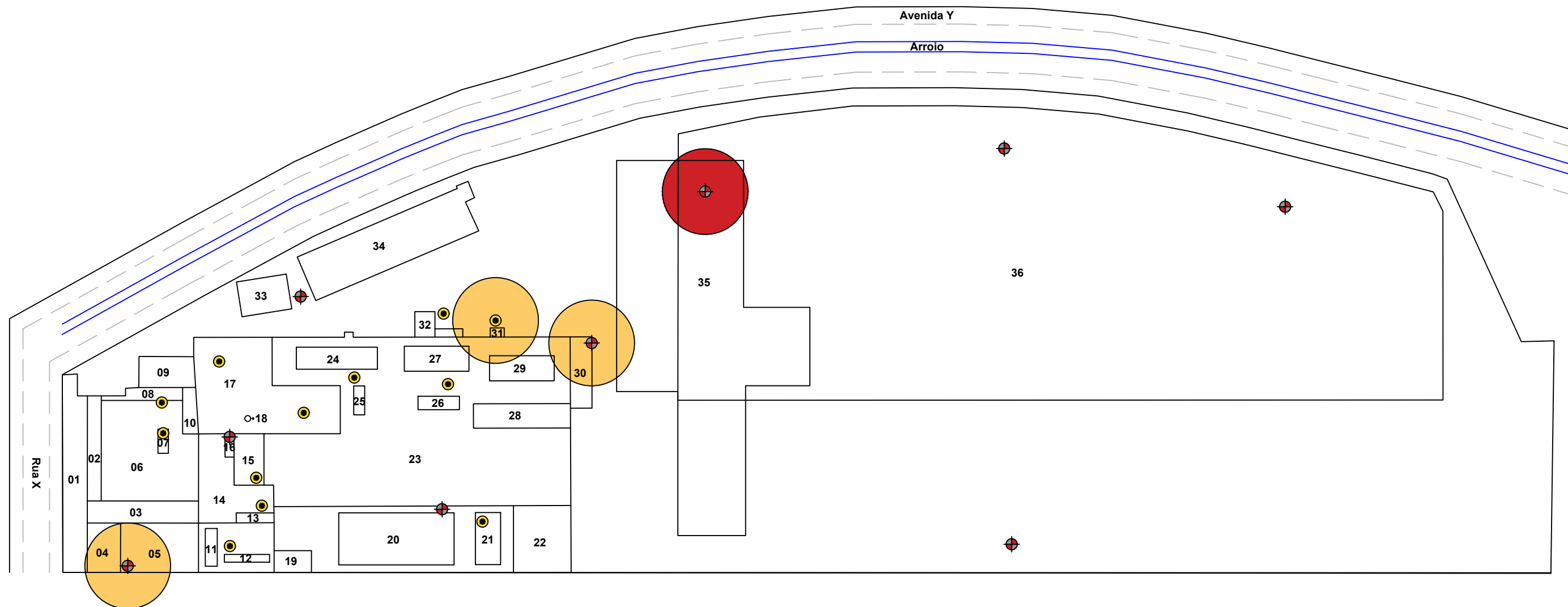
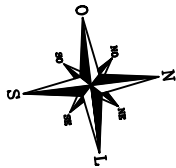
Estudos de background também devem ser realizados buscando caracterizar as condições naturais do substrato geológico e hidrogeologia da área e entorno, uma vez que o ponto desenvolvido para estes fins apresentou valores traços de compostos exclusivamente antrópicos (PCBs) e, portanto, foi descaracterizado.

Considerando os dispostos acima, a atualização do modelo conceitual (Mapa 4, pág. 58) foi realizada dividindo tais resultados em duas áreas, as com suspeita de contaminação apenas em solo e com suspeita em solo e água subterrânea. Nas áreas onde se vislumbrou contaminação apenas em solo, sugere-se realização de adensamento da malha de sondagens, alocando no mínimo mais 3 pontos para amostragens de solos no entorno do ponto existente. Já para as áreas com suspeita de contaminação em solo e água subterrânea é indicado o adensamento da malha de sondagens e poços de monitoramento, alocando também no mínimo mais 3 pontos para amostragens de solos e águas subterrâneas no entorno.

Tabela 12. Matriz de lacuna de dados a serem obtidos em etapa de Investigação Detalhada.

Tema	Pergunta	Lacuna de dado	Abordagem e análise	Prioridade
Entorno	Existem fatores externos que podem influenciar nos resultados obtidos?	Usos do solo no entorno da área, localização de redes coletoras de efluentes e pluviais	Mapeamento de redes subterrâneas (quando possível e conhecidas) e caracterização do entorno	Alta
Geologia	A área estudada possui substrato geológico natural ou é composto por aterro, resíduos e etc? Determinar esses dados com maior precisão	Seções estratigráficas com a delimitação do substrato natural e alterado	Desenvolvimento de sondagens de reconhecimento	Alta
	Qual é a caracterização analítica e física do substrato?	Mineralogia, CTC, fração de carbono orgânico, granulometria/textura	Realização de análises físicas e químicas para quantificação de tais parâmetros	
Hidrogeologia	Qual é a velocidade de movimentação da água subterrânea?	Condutividade hidráulica	Ensaio hidráulicos	Alta
	Quais são as características da zona saturada do solo?	Caracterização do Kh, porosidade efetiva, porosidade total	Determinação de parâmetros hidráulicos do meio investigado	
Contaminantes	Qual é o tamanho da possível pluma de contaminação horizontal e vertical em solo no entorno da ST-18/PM-06?	Perfis, mapas de contorno e seções que delimitem claramente os limites das plumas, caso confirmadas as contaminações	Amostragens de água e solo (em mais de uma profundidade) no entorno dos pontos existentes e/ou uso de ferramentas de screening (XRF portátil)	Alta
	Qual é o tamanho da possível pluma de contaminação horizontal e vertical em solo no entorno da ST-16?			
	Qual é o tamanho da possível pluma de contaminação horizontal e vertical em solo e água subterrânea no entorno da ST-17/PM-05?			

Tema	Pergunta	Lacuna de dado	Abordagem e análise	Prioridade
	Qual é o tamanho da possível pluma de contaminação horizontal e vertical em solo e água subterrânea no entorno da ST-01?			
	Quais são as características naturais da área no que diz respeito às substâncias químicas de interesse (SQIs)?	Estudos de background	Amostragens de água e solo	Alta
	Qual é o fluxo de massa das SQIs nas vias de exposição?	Fluxo de massa	Modelagem analítica e/ou numérica	Média



LEGENDA

- 01) Recuo viário

02) Vestiário

03) Entrada principal

04) Administrativo

05) Expedição

06) Área de produção de papelão

07) Calandra

08) Área de moagem do papelão

09) Depósito de madeiras

10) Caldeira a lenha

11) Prensas hidráulicas

12) Túnel de pintura

13) Compressor de ar

14) Área aberta

15) Área de manutenção

16) Caldeira a óleo

17) Área de mistura (acrílicos + MP)

18) Poço artesiano

19) Quadro de força

20) Área de hidratação da MP

21) Área de moagem do couro

22) Depósito de MP

23) Área de trânsito de empilhadeiras

24) Máquina contínua

25) Prensa

26) Calandra

27) Lixadeira

28) Rampa de acesso

29) Estufa a vapor

30) Depósito de produtos químicos

31) Tanque de fuel

32) Área de carregamento do pó da lixadeira

33) Estação de tratamento de água

34) Piscina/açude

35) Galpões de madeira para secagem do couro

36) Área de disposição de RSCC

- Áreas com suspeita de contaminação em solo e água subterrânea.

Áreas suspeitas de contaminação em solo

Sondagem executada em investigação confirmatória

PM instalado em investigação confirmatória

00		EMIÇÃO INICIAL	11/11/2021
Revisão		Discriminação	Data
INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL CONFIRMATÓRIA			
INDÚSTRIA X			
RIO GRANDE DO SUL			
Unidade:	METRO	Assunto	Prancha
Fiscalização:		MODELO CONCEITUAL ATUALIZADO	
Data:	NOVEMBRO/2021		
Arquivo:			
			Escala: 1/1.250

7.8 Representatividade e incertezas associadas

As incertezas agregadas aos estudos se concentram predominantemente na metodologia escolhida para desenvolvimento das sondagens, amostragens de solos e instalação de poços de monitoramento.

Isso ocorre porque o método de perfuração com trado helicoidal, realizando-se as amostragens de solos diretamente no trado, já é considerada ultrapassada. Nessa metodologia, os perfis de solos se “mesclam” no movimento de subida e descida do trado, acarretando em contatos geológicos indesejáveis e possíveis contaminações cruzadas. Utilizando metodologias e ferramentas atuais como, por exemplo, o uso de liners, obtém-se o mínimo de deformação possível do solo, possibilitando uma amostragem muito mais representativa e confiável. Ainda, no caso de amostragens para VOCs, aconselha-se também o uso da metodologia por cravação contínua, mais conhecida por Direct Push, associada a amostragem de solos com liners, de forma a não perder os compostos voláteis de interesse. Tais metodologias permitem também a realização de descrição do perfil litológico de forma mais precisa, o que impacta diretamente na correta instalação dos poços de monitoramento.

No que diz respeito a instalação de poços de monitoramento, atualmente são bastante utilizadas as perfurações com trado oco. Tal metodologia é muito útil porque o trado serve como um revestimento temporário, impedindo possíveis desmoronamentos e deslizamentos da parede do furo enquanto o revestimento do poço de monitoramento está sendo instalado internamente.

Contudo, as metodologias citadas acima ainda são pouco utilizadas no Rio Grande do Sul, principalmente em função dos custos agregados. A contratação de serviços com estes níveis de precisão e detalhamento são onerosas e escassas, visto que as empresas perfuradoras acabam não adquirindo tais equipamentos em função da falta de procura e não obrigatoriedade de utilização perante os órgãos ambientais. Felizmente, aos poucos, tais metodologias estão sendo introduzidas no estado, considerando a crescente necessidade de realização de investigações ambientais, principalmente em processos de compra e venda de imóveis, e solicitação do órgão ambiental estadual para a obtenção de licenças ambientais.

8 CONCLUSÕES

Os resultados analíticos das amostras de solo não detectaram concentrações acima dos padrões de referência utilizados (CONAMA 420/09 e SRC, 2013) para os compostos de interesse investigados, apenas concentrações traços para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (*HPAs*) nas ST-16 e ST-18, fenóis não clorados, na ST-02 e ST-18, e cromo em todas as sondagens realizadas.

As análises nas alíquotas de águas subterrâneas coletadas nos poços de monitoramento detectaram concentrações acima do padrão de referência utilizado (CONAMA 420/09) para os compostos metálicos ferro e manganês nos poços denominados PM-05, PM-06, PM-07 e PM-08, além de arsênio e cromo no PM-05, e concentrações traços de PCBs no PM-01.

Como principal conclusão das atividades investigatórias realizadas aponta-se a confirmação de contaminação ambiental por cromo na área. Os demais valores observados necessitam de detalhamento e adensamento da malha de amostragens para obtenção de informações conclusivas a respeito das possíveis contaminações evidenciadas.

De maneira geral, afirma-se que a metodologia de investigação confirmatória escolhida é coerente e foi aplicada com êxito, atendendo os objetivos principais relacionados aos estudos desse gênero e possibilitando o diagnóstico da área que, até a presente etapa do GAC, foi classificada como contaminada.

Vislumbra-se necessidade de continuidade das etapas do GAC, dando início a investigação detalhada na área o mais breve possível, a qual tem por objetivo preencher as lacunas identificadas na atualização do modelo conceitual desenvolvido para a área.

Por fim, com base na resolução CONAMA 420/09, a área requer medidas de proteção à saúde humana. Desta forma, não se deve realizar o remanejamento de solos até conclusão dos estudos de detalhe, assim como não se deve utilizar as águas subterrâneas para consumo ou em qualquer outra situação que possa causar contato dermal.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Chromium**. 592 p. Atlanta, Georgia, 2012.

ALMEIDA, Marcos. **Distribuição e origem de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em sedimentos superficiais da zona intermareal do estuário do Rio Paraguaçu, Bahia**. 2014, 78 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR: 15515-1: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR: 15515-2: Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR: 16210: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2013b.

BAVARESCO, Jovana. **Influência de características de solo na dinâmica do cromo e liberação de nitrogênio com aplicação de proteína hidrolisada de couro**. 2016. 78 pg. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS, 2016.

BERTOLO, Reginaldo Antonio. **Notas da disciplina de hidrogeologia e transporte de contaminantes, Aula 7.1: Transporte de contaminantes**. MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields, Universidade de São Paulo, 2020a.

BERTOLO, Reginaldo Antonio. **Notas da disciplina de hidrogeologia e transporte de contaminantes, Aula 8.1: Fluxo multifásico - Conceitos**. MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields, Universidade de São Paulo, 2020b.

BRASIL, Lei nº 14.250, de 25 de novembro de 2021. **Diário Oficial da União**. Poder Legislativo, Brasília/DF, Seção 1, pg. 3, 2021.

CAETANO, Marcelo Oliveira: **Equipamento compacto para o tratamento de águas subterrâneas contaminadas por BTEX e TPH**. 2014. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS, 2014.

CÂMARA, Renata Paes de Barros; GONÇALVES, Eduardo Vila. Análise dos custos ambientais da indústria do couro sob a ótica da eco-eficiência. **Custos e Agronegócios online**, v.3, n.1, p. 87-110, 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001, 73 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Decisão de Diretoria (DD) nº 38/2017C**: diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas no âmbito do licenciamento ambiental. São Paulo/SP, 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Fixa de Informação Toxicológica (FIT) – Crômio e seus compostos**. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. São Paulo/SP, p. 3, 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/introducao-ao-gerenciamento-de-areas-contaminadas/conceituacao/>>. Acesso em: 19/01/2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 420 de 30 de dezembro de 2009**. Brasil, 20 p.

CUNHA, Luiz Fernando Jorge; SHIRAIWA Shozo. **Aplicação do método eletromagnético indutivo na investigação da pluma de contaminação da água subterrânea por resíduos de cromo de curtume**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 29, p. 127 – 134, 2011.

FINOTTI, Alexandre R.; CAICEDO, Nelson O. Luna; RODRIGUEZ, Maria Teresa Raya. Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 29-46, abr/jun, 2001.

FRANCO, Tânia; DRUCK, Graça. Padrões de industrialização, riscos e meio ambiente. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, n. 2, p. 61-72, 1998.

GALANTE, Giovanna Cristina Setti. **Plumas de contaminação por hidrocarbonetos em diferentes cenários hidrogeológicos paulistas**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GODOY, Rafael Ferreira. **Remediação de Cromo Hexavalente utilizando Polissulfeto de Cálcio – Estudo de caso: Rio de Janeiro**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em engenharia urbana e ambiental) – Programa de Pós-Graduação em

engenharia urbana e ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2014.

GÜNTHER, Wanda M. Risso. Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana. **Revista São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 105-117, abr/jun 2006.

HELENE, Livia Portes Innocenti: **Diagnóstico ambiental de solo contaminado por cromo de curtume em Motuca (SP) por métodos geofísicos**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em geociências e meio ambiente) – Programa de Pós-Graduação em ciências e meio ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP, 2016.

KIMBROUGH, D.E., COHEN, Y., WINER, A.M. A critical assessment of chromium in the environment. **Critical Review in Environmental Science**, v. 29, n. 1, p. 1-46, 1999.

KNOP, Alexandre: **Estudo do comportamento de liners atacados por ácido sulfúrico**. 2007. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Geotecnia e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS, 2007.

MARKER, Andreas. **Notas da disciplina de avaliação preliminar e investigação confirmatória, Aula 11**: Abrangência da investigação confirmatória no contexto do GAC. MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields, Universidade de São Paulo, 2020a.

MARKER, Andreas. **Notas da disciplina de avaliação preliminar e investigação confirmatória, Aula 12**: Estratégias de investigação confirmatória e amostragem. MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields, Universidade de São Paulo, 2020b.

MARKER, Andreas. **Notas da disciplina de avaliação preliminar e investigação confirmatória, Aula 17**: Técnicas e boas práticas de amostragem de água subterrânea. MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields, Universidade de São Paulo, 2020c.

MATOS, Wladiana Oliveira; NÓBREGA, Joaquim de Araújo; SOUZA, Gilberto Batista; NOGUEIRA, Ana Rita Araujo. Especiação redox de cromo em solo acidentalmente contaminado com solução sulfocrômica. **Revista Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1450 - 1454, 2008.

MATZEMBACHER, Lucas Thetinski: **Aplicação das diretrizes nacionais em avaliação preliminar: estudo de caso em uma área industrial localizada no Rio Grande do Sul**. 2020. 74 f. Monografia (Especialização em gerenciamento de áreas contaminadas e revitalização de brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2020.

MOREIRA, Marina Vergílio; TEIXEIRA, Regina Cânovas. **Estado da arte tecnológico em processamento de couro: revisão bibliográfica no âmbito internacional**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 242 f, 2003.

NICOLE – Latin America Network for Soil and Water Management. **Grupo de trabalho de modelos conceituais**, Vol. 1, Ed. 1, 2021. Disponível em: < https://nicolelatinamerica.com/wp-content/uploads/2021/11/Boletim_MCA_Vol1_Ed1_Final.pdf>. Acesso em: 10/01/2022.

NICOLE – Latin America Network for Soil and Water Management. **Grupo de trabalho de modelos conceituais**, Vol. 1, Ed. 2, 2022. Disponível em: < <https://nicolelatinamerica.com/publicacoes-nova/#1629911211724-8a12852f-2350>>. Acesso em: 31/01/2022.

PALMER, C.D.; WITTBRODT, P.R. **Processes affecting the remediation of chromium-contaminated sites**. *Environmental Health Perspectives*, Durham, v. 92, p. 25-40, 1991.

PENTEADO, José Carlos Pires; VAZ, Jorge Moreira. O legado das bifenilas policloradas (PBCs). **Revista Química Nova**, v. 24, n. 3, p. 390 – 398, 2001.

PINTO, Carolina Afonso; VIANNA, Marilda M.G. Ramos; HAMASSAKI, Luiz T.; DIAZ, Francisco Rolando Valenzuela; DWECK, Jo; BÜCHLER, Pedro Maurício. **Caracterização térmica e mecânica do resíduo de curtume solidificado em cimento**. ICTR 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Florianópolis/SC, 2004.

RIBEIRO, Maria Lúcia; LOURENCETTI, Carolina; PEREIRA, Suell Yoshinaga; MARCHI, Mary Rosa Rodrigues. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 688-694, 2007.

Soil Remetiadion Circular – Lista Holandesa de Valores Orientadores. Holanda, 2013.

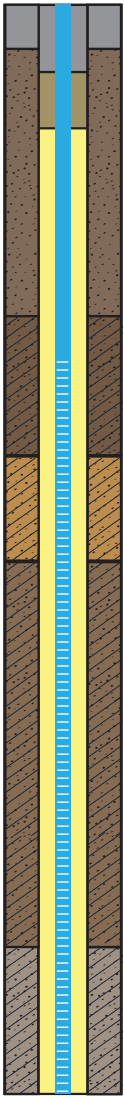








SOUZA, Valéria Menezes; HOFFMANN, Nora Katia Saavedra del Aguila. **Remoção de compostos orgânicos voláteis em uma área contaminada por combustíveis oriundos de petróleo**. XIX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA), Recife/PE, 2020.




TAN, C. et al. Adsorption behavior comparison of trivalent and hexavalent chromium on biochar derived from municipal sludge. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 190, p. 388–394, 2015.

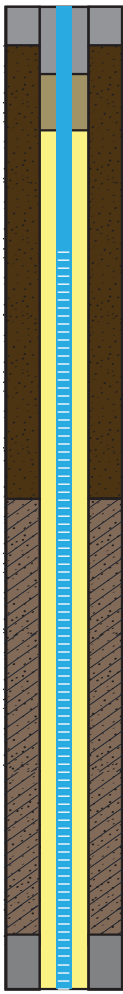


TEIXEIRA, José Augusto Alves: **Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos**. 2011. 507 f. Tese (Doutorado em Geociências) –







Programa doutoral em Geociências UA/UP, Universidade de Aveiro (UA) e Universidade do Porto (UP), 2011.





ANEXO I

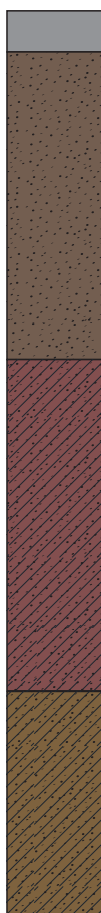



Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-01/PM-01	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 03/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150mm	Diâmetro do poço: 50mm
				DESCRIÇÃO	
0,0				Concreto/pavimento.	
0,15					
0,5		0,3		Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
1,0		0,1			
1,3					
1,5		0,2		Areia com argila, de coloração marrom. Sem odor.	
1,9					
2,0		0,0		Argila arenosa, ligeiramente plástica, de coloração variegada (cinza, laranja e marrom). Sem odor.	
2,3					
2,5		0,0			
3,0		0,0		Areia fina a areia com argila, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
3,5		0,0			
3,8					
4,0		0,0		Argila arenosa, moderadamente plástica, de coloração marrom acinzentado. Sem odor.	
4,45					
4,5		0,0			
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 3,2m				 N.A. estabilizado: 1,98m	
 Bentonita: 0,3m - 0,5m				 Rev. liso: 0,0m - 1,45m	
 Pré-filtro: 0,5m - 4,45m				 Rev. ranhurado: 1,45m - 4,45m	
Coleta de amostra: 2,0m					





Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-02	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 03/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,4	0,0	Concreto/Pavimento	
0,3				Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
0,5				Argila arenosa a com areia, ligeiramente plástica, de coloração variegada (cinza, vermelho, laranja). Sem odor.	
1,0				Areia com argila, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
1,5				Areia argilosa, ligeiramente plástica, de coloração variegada (cinza, marrom, laranja). Sem odor.	
2,0				Limite de interesse alcançado.	
2,1					
2,5		0,0	0,0		
3,0					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 2,2m e 2,6m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-03/PM-02		Coordenadas:	
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul			
				Cliente: Indústria X		Data: 03/10/2019	
				Diâmetro da sondagem: 150mm		Diâmetro do poço: 50mm	
				DESCRIÇÃO			
0,0		0,0	 	Concreto/pavimento.			
0,1				Areia fina com matéria orgânica, friável, de coloração marrom escuro a preto. Sem odor.			
0,5							
1,0							
1,5				Areia com argila, mole, de coloração variegada (cinza e marrom). Com odor de matéria orgânica.			
2,0							
2,5							
3,0				Argila arenosa, ligeiramente plástica, de coloração cinza. Com odor de matéria orgânica.			
3,5							
3,8							
4,0							
4,5							
5,0							
5,5							
6,0							





 Nível d'água: 1,3m	 N.A. estabilizado: 1,78m	
 Bentonita: 0,3m - 0,5m	 Rev. liso: 0,0m - 1,0m	
 Pré-filtro: 0,5m - 4,0m	 Rev. ranhurado: 1,0m - 4,0m	
Coleta de amostra: 3,9m		

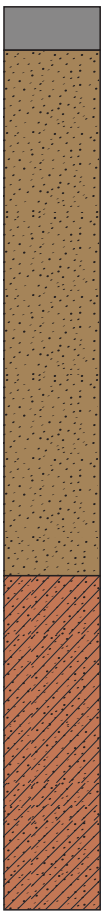
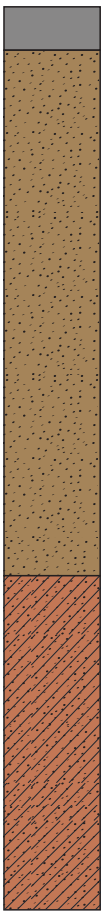



Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-04	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 03/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Concreto/Pavimento	
0,1					
0,5		0,0		Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
0,8					
1,0		0,0		Areia fina com argila, friável, de coloração marrom escuro a preto. Sem odor.	
1,3					
1,5		0,0		Argila arenosa a areia argilosa com matéria orgânica, mole/inconsistente, de coloração cinza escuro. Com odor de matéria orgânica.	
1,9					
2,0		0,0			
2,5				Areia com argila e matéria orgânica, mole/inconsistente, de coloração cinza escuro. Com odor de matéria orgânica.	
3,0		0,0			
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 1,3m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-05		Coordenadas:	
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul			
				Cliente: Indústria X		Data: 03/10/2019	
				Diâmetro da sondagem: 150 mm			
				DESCRIÇÃO			
0,0		0,4		Concreto/Pavimento			
0,1				Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.			
0,5							
1,0							
1,4				Argila arenosa a argila com areia, ligeiramente plástica a moderada, coesa, de coloração variegada (marrom, vermelho e cinza). Sem odor.			
1,5							
2,0							
2,5							
2,6							
3,0				Areia fina com argila, friável, de coloração marrom. Sem odor.			
3,5	Limite: Interesse alcançado.						
4,0							
4,5							
5,0							
5,5							
6,0							
 Nível d'água: 3,2m				 N.A. estabilizado: -			
Coleta de amostra: 1,5m							





Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-06	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 04/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,2	0,0	Concreto/Pavimento	
0,1				Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
0,5				Argila arenosa, ligeiramente plástica, de coloração variegada (marrom e vermelho). Sem odor.	
1,0				Areia argilosa, de coloração variegada (marrom e cinza). Odor de matéria orgânica.	
1,1				Areia com argila, friável, de coloração marrom claro. Odor de matéria orgânica. A partir de 3,8m coloração variegada (marrom e laranja).	
1,5		0,0			
2,0		0,0			
2,2		0,0			
2,5		0,0			
2,8		0,0			
3,0		0,0			
3,5		0,0			
4,0		0,0		Limite alcançado de N.A. sem medição de VOC significativo.	
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 3,8m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					

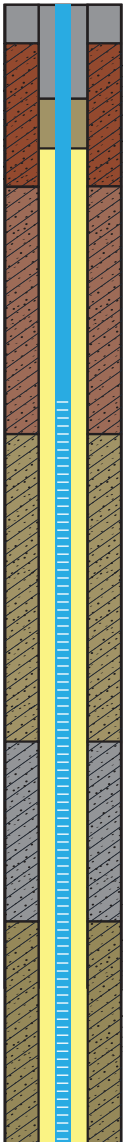








Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-07	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 04/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Concreto/Pavimento	
0,1				Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
0,5					
1,0					
1,5					
2,0				Areia com argila, friável, de coloração marrom a marrom claro. Sem odor. Em 3,5m suave odor de matéria orgânica.	
2,4					
2,5					
3,0					
3,5					
4,0		0,2		Limite alcançado de N.A. sem medição de VOC significativo.	
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
Nível d'água: 4,0m				N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 3,90m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-08	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 04/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,4		Concreto/Pavimento	
0,1				Areia fina, friável, de coloração marrom a marrom claro. Sem odor.	
0,5		0,0			
1,0		0,0			
1,5		0,0		Argila com areia, ligeiramente pegajosa, de coloração marrom avermelhado. Sem odor.	
1,6		0,0			
2,0		0,0		Areia argilosa, de coloração marrom avermelhado. Sem odor.	
2,4		0,1			
2,5		0,2		Areia fina, friável, de coloração marrom claro. Odor suave de matéria orgânica.	
3,0		0,1			
3,3		0,0		Argila com areia, coesa, plástica, de coloração variegada (marrom e cinza). Sem odor.	
3,5		0,0			
4,0		0,0		Limite alcançado de N.A. sem medição de VOC significativo.	
4,4		0,0			
4,5		0,0			
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 4,0m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 2,0m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-09	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 04/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,7	0,9	Concreto/Pavimento	
0,1				Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor. Em 1,0m variegando para tons cinzas.	
0,5					
1,0					
1,5				Areia com argila, de coloração marrom claro a laranja. Sem odor. Com o aumento da profundidade, coloração de marrom claro acinzentado.	
2,0		0,2	0,3		
2,2		0,3	0,5		
2,5		0,5	0,2		
3,0		0,2		Limite alcançado de N.A. sem medição de VOC significativo.	
3,5		0,4			
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 3,2m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,0m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-10	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 04/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
0,5		0,0			
1,0		0,0			
1,3		0,0			
1,5		0,0			
2,0		0,0		Argila arenosa, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa, de coloração variegada (marrom e vermelho). Sem odor.	
2,5		0,0			
2,7		0,0			
3,0		0,0		Areia com argila, de coloração marrom acinzentado. Sem odor.	
3,5		0,0		Limite alcançado de N.A. sem medição de VOC significativo.	
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
Nível d'água: 3,0m				N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					





Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-11	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 04/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Areia fina, friável, de coloração marrom. Sem odor.	
0,5		0,0			
1,0		0,0			
1,1		0,0		Argila com areia, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa, de coloração marrom avermelhado. Sem odor.	
1,5		0,0			
2,0		0,0			
2,2		0,0		Areia com argila, de coloração variegada (marrom e vermelho). Sem odor. Em 3,0m coloração marrom claro acinzentado.	
2,5		0,0			
3,0		0,0			
3,5		0,0		Limite alcançado de N.A. sem medição de VOC significativo.	
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 3,3m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					





Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-12/PM-03	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 08/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150mm	Diâmetro do poço: 50mm
				DESCRIÇÃO	
0,0				Concreto/pavimento.	
0,1					
0,5		0,0		Areia fina com argila, friável, de coloração marrom avermelhado. Sem odor.	
0,7					
1,0		0,0		Areia argilosa, friável, de coloração marrom claro a avermelhado. Sem odor.	
1,5		0,0			
1,7		0,0			
2,0		0,0		Areia fina a média com argila, friável, de coloração marrom amarelado a acinzentado. Sem odor.	
2,5		0,0			
3,0		0,0			
3,5		0,0		Areia média com argila, friável, de coloração cinza. Sem odor.	
3,7					
4,0		0,0		Areia média a grossa com argila, friável, de coloração marrom amarelado a acinzentado. Sem odor.	
4,5					
4,6					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 2,6m				 N.A. estabilizado: 2,66m	
 Bentonita: 0,4m - 0,6m				 Rev. liso: 0,0m - 1,6m	
 Pré-filtro: 0,6m - 4,6m				 Rev. ranhurado: 1,6m - 4,6m	
Coleta de amostra: 1,0m					

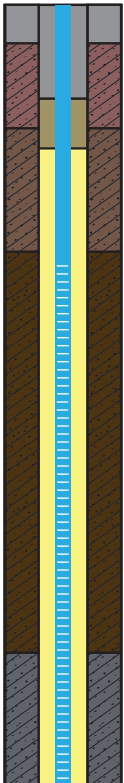

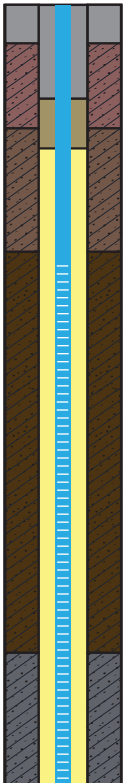







Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-13	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 08/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Areia fina argilosa, friável, de coloração marrom claro. Sem odor.	
0,5		0,0		Argila arenosa, moderadamente plástica, de coloração variegada (vermelho e cinza). Sem odor.	
0,6		0,0			
1,0		0,0		Areia fina com argila, friável, de coloração variegada (vermelho e cinza). Sem odor.	
1,5		0,0		Areia fina com argila, friável, de coloração variegada (marrom escuro e cinza escuro). Sem odor.	
2,0		0,0		Limite: Interesse alcançado.	
2,3		0,0			
2,5		0,0			
3,0		0,0			
3,5		0,0			
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
Nível d'água: 2,7m				N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					

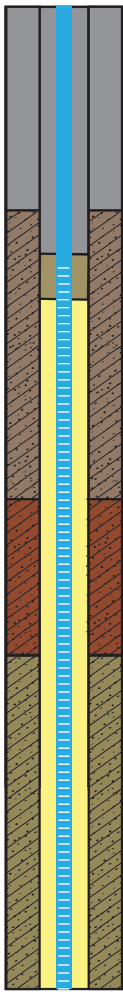

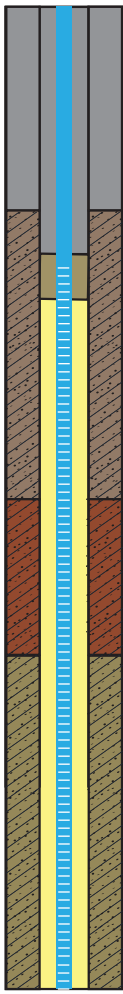

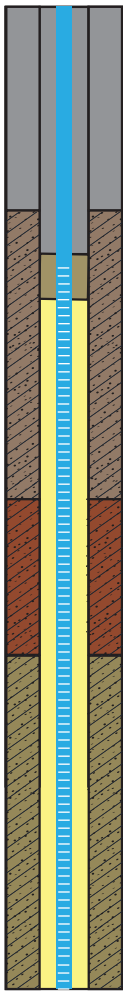






Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-14/PM-04		Coordenadas:	
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul			
				Cliente: Indústria X		Data: 08/10/2019	
				Diâmetro da sondagem: 150mm		Diâmetro do poço: 50mm	
				DESCRIÇÃO			
0,0		0,0		Areia fina com argila, friável, de coloração marrom a marrom escuro. Sem odor.			
0,4				Areia fina com argila, friável, de coloração marrom escuro. Sem odor.			
0,5							
1,0							
1,5				Argila arenosa, moderadamente plástica, coesa, de coloração marrom avermelhado. Sem odor.			
2,0							
2,5							
2,7				Argila com areia média a grossa, moderadamente plástica, de coloração marrom claro a avermelhado. Sem odor.			
3,0							
3,5							
3,9				Argila com silte, coesa, plástica, de coloração vermelho acinzentado. Sem odor.			
4,0							
4,5							
4,7							
5,0							
5,5							
6,0							

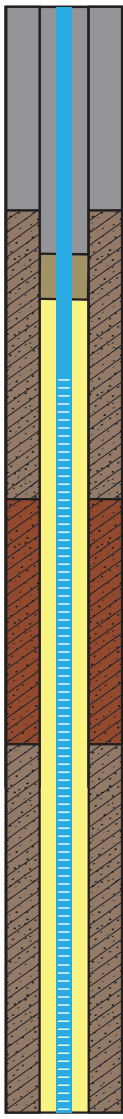








	Nível d'água: 3,8m		N.A. estabilizado: 3,8m	
	Bentonita: 0,8m - 1,0m		Rev. liso: 0,0m - 1,7m	
	Pré-filtro: 1,0m - 4,7m		Rev. ranhurado: 1,7m - 4,7m	
Coleta de amostra: 4,5m				

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-15	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 08/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Areia fina a média com argila, friável, de coloração variegada (marrom claro e marrom escuro). Sem odor.	
0,5		0,0			
1,0		0,0			
1,4		0,0		Areia fina a média com argila, friável de coloração marrom claro. Sem odor.	
1,5		0,0			
2,0		0,0		Argila arenosa, ligeiramente plástica, coesa, de coloração marrom claro a amarelada. Sem odor.	
2,5		0,0			
2,7		0,0			
3,0		0,0		Areia fina a média com argila, friável, de coloração marrom claro. Sem odor.	
3,5		0,0			
4,0		0,0		Limite: Interesse alcançado.	
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 3,7m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 3,5m					

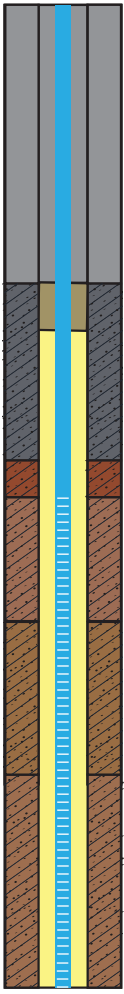
Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-16	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 08/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,0		Areia fina a média com argila, friável, de coloração marrom escuro. Presença de cascalhos (fragmentos de rocha/aterro). Sem odor.	
0,5		0,0			
1,0		0,0			
1,5		0,0			
2,0		0,0		Areia fina a média com argila, friável, de coloração marrom escuro. Sem odor.	
2,5		0,0			
2,7				Limite: Interesse alcançado.	
3,0					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 1,7m				 N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-17/PM-05	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 05/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150mm	Diâmetro do poço: 50mm
				DESCRIÇÃO	
0,0				Concreto/pavimento.	
0,1				Areia com argila, friável, de coloração marrom avermelhado a rosado. Sem odor.	
0,5		0,0		Areia argilosa, friável, de coloração marrom escuro. Sem odor.	
1,0		0,0		Areia argilosa, friável, de coloração marrom escuro a preto. Com odor de matéria orgânica.	
1,5		0,1			
2,0		0,0			
2,5		0,0		Argila arenosa, moderadamente plástica, de coloração cinza a cinza escuro. Com odor de matéria orgânica.	
2,6		0,0			
3,0		0,0			
3,1					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
 Nível d'água: 2,0m				 N.A. estabilizado: 1,78m	
 Bentonita: 0,4m - 0,6m				 Rev. liso: 0,0m - 1,1m	
 Pré-filtro: 0,6m - 3,1m				 Rev. ranhurado: 1,1m - 3,1m	
Coleta de amostra: 1,5m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-18/PM-06		Coordenadas:		
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul				
				Cliente: Indústria X		Data: 05/10/2019		
				Diâmetro da sondagem: 150mm		Diâmetro do poço: 50mm		
				DESCRIÇÃO				
0,0		1,1		Aterro (Resíduo da Construção Civil). Com odor.				
0,5		0,4		Areia fina a média com argila, friável, de coloração marrom claro. Sem odor.				
0,8		0,2						
1,0		0,1		Areia média argilosa, friável, de coloração marrom a marrom alaranjado. Sem odor.				
1,5		0,0						
2,0		0,0		Areia média a grossa com argila, friável, de coloração marrom claro. Sem odor.				
2,5		0,0						
2,6		0,0						
3,0		0,0						
3,5		0,0						
4,0		0,0						
4,5								
5,0								
5,5								
6,0								
 Nível d'água: 2,5m				 N.A. estabilizado: 1,35m				
 Bentonita: 1,0m - 1,2m				 Rev. liso: 0,0m - 1,0m				
 Pré-filtro: 1,2m - 4,0m				 Rev. ranhurado: 1,0m - 4,0m				
Coleta de amostra: 1,5m								

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-19/PM-07		Coordenadas:	
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul			
				Cliente: Indústria X		Data: 10/10/2019	
				Diâmetro da sondagem: 150mm		Diâmetro do poço: 50mm	
				DESCRIÇÃO			
0,0		0,3 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0	 	Aterro (Resíduo da Construção Civil). Com odor.			
Areia fina a média com argila, friável, de coloração marrom claro. Sem odor.							
Areia fina a média argilosa, friável, de coloração marrom a marrom avermelhado. Sem odor.							
Areia média a grossa argilosa, friável, de coloração marrom amarelado a avermelhado. Sem odor.							
 Nível d'água: 1,5m				 N.A. estabilizado: 1,4m			
 Bentonita: 1,0m - 1,2m				 Rev. liso: 0,0m - 1,5m			
 Pré-filtro: 1,2m - 4,5m				 Rev. ranhurado: 1,5m - 4,5m			
Coleta de amostra: 1,5m							

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	Amostragem	Nível d'água	Identificação: ST-20	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 09/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150 mm	
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,1		Aterro (Resíduos da construção civil). Sem odor.	
0,5		0,0		Areia fina a média argilosa, friável, de coloração marrom escuro acinzentado. Sem odor.	
0,75		0,0		Limite: Interesse alcançado.	
1,0					
1,5					
1,6					
2,0					
2,5					
3,0					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
Nível d'água: 1,6m				N.A. estabilizado: -	
Coleta de amostra: 1,5m					

Profundidade (m)	Perfil do Poço / Perfil Sondagem	VOC (ppm)	Nível d'água	Identificação: ST-21/PM-08	Coordenadas:
				Localização da sondagem: Rio Grande do Sul	
				Cliente: Indústria X	Data: 10/10/2019
				Diâmetro da sondagem: 150mm	Diâmetro do poço: 50mm
				DESCRIÇÃO	
0,0		0,1		Aterro (Resíduo da Construção Civil). Com odor.	
0,5		0,0			
1,0		0,0	▼	Areia fina a média com argila, friável, de coloração cinza a cinza escuro. Sem odor.	
1,1		0,0	▼	Areia fina a média argilosa, de coloração marrom alaranjado a cinza claro. Sem odor.	
1,5		0,0		Argila arenosa, moderadamente plástica, de coloração marrom alaranjado a cinza claro. Sem odor.	
1,8		0,0			
2,0		0,0		Areia fina a média argilosa, de coloração marrom alaranjado a cinza claro. Sem odor.	
2,5		0,0			
3,0		0,0		Argila arenosa, moderadamente plástica, de coloração marrom alaranjado a cinza claro. Sem odor.	
3,1		0,0			
3,5		0,0			
4,0		0,0			
4,5					
5,0					
5,5					
6,0					
▼ Nível d'água: 1,5m				▼ N.A. estabilizado: 1,85m	
■ Bentonita: 1,1m - 1,3m				■ Rev. liso: 0,0m - 2,0m	
■ Pré-filtro: 1,3m - 4,0m				■ Rev. ranhurado: 2,0m - 4,0m	
Coleta de amostra: 1,5m					