

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Sustentável e
Revitalização de *Brownfields*

LUCAS MORAES BUCCI

**Seleção de técnicas de remediação a partir da Investigação Detalhada de
uma área contaminada por cloreto de vinila em São Paulo, SP**

São Paulo – SP
2024

LUCAS MORAES BUCCI

**Seleção de técnicas de remediação a partir da Investigação Detalhada de
uma área contaminada por cloreto de vinila em São Paulo, SP**

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*.

Orientadora: Dra. Natália de Souza Pelinson

São Paulo - SP
2024

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

Bucci, Lucas Moraes

Seleção de técnicas de remediação a partir da Investigação Detalhada de uma área contaminada por cloreto de vinila em São Paulo, SP / L. M. Bucci -- São Paulo, 2024.

50 p.

Monografia (MBA em 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.Contaminação de aquíferos 2.Compostos organoclorados 3.Remediação por oxidação 4.Remediação 5.cloreto de vinila I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

A palavra que expressa a admiração, respeito e carinho pela Prof^ª Dr^a Natalia de Souza Pelinson é agradecimento. Agradeço pela paciência, pela partilha de conhecimento, pelo incansável apoio e pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Agradeço aos membros da banca examinadora por dedicar o tempo ao aperfeiçoamento do trabalho. Por fim, nada seria possível sem minha família que me apoiaram nessa formação acadêmica, sendo o presente trabalho uma prova do seu amor e incentivo incondicionais.

RESUMO

BUCCI, L. M. Gerenciamento de uma área contaminada por cloreto de vinila em São Paulo, SP: Seleção de técnicas de remediação a partir da Investigação Detalhada. Monografia; Curso de Especialização em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Orientadora: Natália de Souza Pelinson. São Paulo – SP, 2024. 50 p.

O cloreto de vinila (CV), um composto orgânico halogenado, é amplamente associado à produção do policloreto de vinila (PVC), que por sua vez é um polímero essencial na fabricação de plásticos. Vazamentos e descartes inadequados durante a manipulação de produtos contendo CV podem causar contaminação de solos e águas subterrâneas, liberando-o no ambiente, principalmente em áreas industriais. Entre as principais preocupações com a contaminação causada por cloreto de vinila, pode ser destacada a formação de vapores e produção de grandes plumas de contaminantes, uma vez que o CV pode ser classificado como um contaminante volátil Líquido- Não-Aquoso de Fase Densa (DNAPL). A detecção precisa de cloreto de vinila é uma etapa de suma importância no planejamento de remediação, fornecendo dados cruciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes. Tal detecção, delimitação da pluma e avaliação completa de áreas afetadas por cloreto de vinila ocorre com especial detalhamento na fase de Investigação Detalhada no Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Essa investigação orienta diretamente as metodologias de remediação, fornecendo dados embasados para decisões específicas. Neste contexto, a presente monografia teve como principal objetivo avaliar a investigação detalhada em uma área na Região Metropolitana de São Paulo, destacando preocupações ambientais e de saúde pública. Foram discutidos aspectos da seleção de metodologias de remediação adequadas, visando a redução efetiva dos impactos ambientais e na promoção de práticas de gestão responsáveis em locais afetados por esse composto.

Palavras-chave: contaminação de aquíferos; compostos organoclorados; remediação por oxidação; DNAPL; Gerenciamento de áreas contaminadas; cloreto de vinila

ABSTRACT

BUCCI, L. M. Management of vinyl chloride contaminated site in São Paulo, SP: Selection of remediation techniques based on Detailed Investigation. Monograph – Specialization Course in Contaminated Areas Management, Sustainable Urban Development, and Brownfield Revitalization. Polytechnic School of the University of São Paulo. Advisor: Natália de Souza Pelinson. São Paulo – SP, 2024. 50 p.

Vinyl chloride (VC), an organic halogenated compound, is associated with the production of polyvinyl chloride (PVC), a crucial polymer in plastic manufacturing. Leaks and improper disposal during the handling of products containing VC can lead to soil and groundwater contamination, releasing it into the environment, particularly in industrial settings. Among the primary concerns regarding vinyl chloride contamination, the formation of vapors and the production of extensive contaminant plumes stand out once the VC can be classified as a volatile Dense Non-Aqueous Phase Liquid (DNAPL) contaminant. Accurate detection of vinyl chloride is a critically important step in remediation planning, providing crucial data for the development of effective strategies. Precise detection, plume delineation, and a comprehensive assessment of areas affected by vinyl chloride occur with special detail in the Detailed Investigation phase of Contaminated Areas Management. This investigation directly guides remediation methodologies, providing well-founded data for specific decisions. In this context, the primary objective of this monograph was to evaluate detailed investigation in an area in the Metropolitan Region of São Paulo, highlighting environmental and public health concerns. Aspects of selecting appropriate remediation methodologies were discussed, aiming for the effective reduction of environmental impacts and the promotion of responsible management practices in areas affected by this compound.

Keywords:

aquifer contamination; organochlorine compounds; remediation by oxidation; DNAPL; Management of contaminated sites; vinyl chloride

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	JUSTIFICATIVA E QUESTÕES DE PESQUISA.....	11
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1	CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL EM <i>BROWNFIELDS</i>	12
3.2	SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS DE INTERESSE EM ÁREAS POTENCIALMENTE CONTAMINADAS	13
3.3	REGULAMENTAÇÃO NA REVITALIZAÇÃO DE <i>BROWNFIELDS</i> E NA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	14
3.4	MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE RISCO EM ÁREAS CONTAMINADAS.....	15
3.5	ESTRATÉGIAS DE REMEDIAÇÃO APLICADAS À CONTAMINAÇÃO POR CLORETO DE VINILA.....	16
4	ÁREA DE ESTUDO	21
4.1	ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO	22
4.1.1	PEDOLOGIA REGIONAL.....	25
4.1.2	MODELO GEOLÓGICO GERADO.....	25
4.2	MÉTODOS DE MAPEAMENTO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO	28
5	MATERIAL E MÉTODOS	30
5.1	PLANO DE INVESTIGAÇÃO DETALHADA	31
5.2	ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DA ÁREA (MCA)	38
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
6.1	ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL.....	40
6.2	ESCOLHA DE TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO	43
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	50

LISTA DE ABREVIATURAS

CV: Cloreto de vinila

CETESB: Companhia Ambiental do estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

DD: Decisão da diretoria

DNAPL: *Dense non-aqueous phase liquid*

EMPRABA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

HAP: Hidrocarboneto aromático policíclicos

IARC: *International Agency for Research on Cancer*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PVC: Policloreto de Vinila

SVOC: Compostos orgânicos semivoláteis

SQI: Substâncias químicas de interesse

VOC: Compostos voláteis orgânicos

1 INTRODUÇÃO

O cloreto de vinila (CV) pode ser classificado como uma substância química pertencente à classe dos compostos orgânicos halogenados (ATSDR; USEPA, 2024). Esta classe de compostos (orgânicos halogenados) é caracterizada pela presença de halogênios na molécula, sendo que o cloreto de vinila é um composto organoclorado frequentemente associada à produção do policloreto de vinila (PVC), um polímero amplamente utilizado na fabricação de materiais plásticos (WHO; IARC, 2008; Gilbert; Patrick, 2017).

As possíveis fontes de contaminação por cloreto de vinila incluem vazamentos, descartes inadequados e derrames relacionados à produção e manipulação de produtos contendo o composto, que podem resultar na liberação do CV para o meio ambiente, especialmente em áreas industriais ou historicamente ocupada por indústrias. A inalação do vapor de cloreto de vinila, por exemplo, pode ocorrer em ambientes abertos e fechados e representa um dos modos de exposição a esse contaminante (WHO; IARC, 2008).

Quanto à sua importância para a saúde humana, o cloreto de vinila é considerado relevante devido aos seus potenciais riscos à saúde humana. O cloreto de vinila pode ser, inclusive, classificado como um carcinógeno humano de acordo com a Agência Internacional de Pesquisa de Câncer (do inglês “*International Agency for Research on Cancer*” - IARC) desde 1974 (IARC, 2012; ATSDR; USEPA, 2024), o que significa que a exposição a essa substância pode aumentar o risco de desenvolvimento de câncer em seres humanos (ATSDR; USEPA, 2024).

Neste sentido, a avaliação da presença de cloreto de vinila (CV) em água subterrânea, conforme preconizado pela CETESB DD nº 038/2017/C e pela Resolução CONAMA 420/2009, é uma medida necessária no âmbito da gestão ambiental. Apesar disso, vale destacar que a presença de cloreto de vinila não se restringe apenas a efeitos na saúde humana; ela também pode acarretar impactos ambientais amplos, afetando ecossistemas aquáticos e recursos hídricos para além da área contaminada (Shouakar-Stash *et al.*, 2009).

O cloreto de vinila pode ainda ser classificado como um líquido não-aquoso mais denso do que a água, um DNAPL (do inglês “*Dense Non-Aqueous Phase Liquid*”, que em português significa “Líquido Não Aquoso de Fase Densa”) (Mccaulou; Jewett; Huling, 1995). No contexto de contaminação do solo e águas subterrâneas, os DNAPLs são substâncias que, quando liberadas no subsolo, podem migrar para camadas mais profundas devido à sua densidade superior à da água. Essa característica pode aumentar a complexidade da contaminação ambiental e, por conseguinte, da remediação da área impactada.

A avaliação do cloreto de vinila, no monitoramento e controle de áreas contaminadas, pode ser aplicada desde a fase de identificação da extensão da contaminação e suas fontes potenciais, até nos critérios para se estabelecer medidas de controle dessa substância. A detecção de cloreto de vinila assume, portanto, uma posição estratégica no planejamento de remediação, fornecendo informações essenciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes. A área, objeto de estudo desse trabalho foi escolhida devido a presença de uma estrutura litológica complexa, apresentando diferentes horizontes de solo e por estar impactada pela substância de interesse para esse trabalho, o cloreto de vinila.

A investigação detalhada desempenha um papel central nesse contexto, pois visa mapear precisamente a distribuição espacial e a concentração do cloreto de vinila em subsuperfície, utilizando técnicas como amostragem de solo, análises químicas e investigações indiretas (CETESB, 2017). A relação direta entre a investigação detalhada e a escolha das metodologias de remediação reside no fornecimento de dados para embasar decisões direcionadas.

A eficácia das metodologias de remediação, sejam elas físicas, químicas ou biológicas, dependerá intrinsecamente do conhecimento adquirido na etapa de investigação detalhada. Esta, por sua vez, não apenas informa sobre a presença do contaminante, mas também considera as particularidades do solo, hidrogeologia e outras variáveis que influenciam diretamente a escolha e o sucesso das técnicas de remediação. Neste contexto, a presente monografia teve como principal objetivo avaliar a etapa de investigação detalhada de uma área, do município de São Paulo, contaminada por cloreto de vinila. A presença de cloreto de vinila nessa *brownfield* específico a apresenta preocupações ambientais e de saúde pública, considerando o potencial carcinogênico dessa substância. A etapa de investigação detalhada nesse cenário torna-se, portanto, imperativa, dada sua importância para a compreensão integral da extensão da contaminação e para embasar a escolha das metodologias de remediação mais adequadas.

Assim, os resultados da etapa de Investigação Detalhada orientam a redução dos impactos ambientais negativos e proporcionam a proteção da saúde pública. De tal forma, a remediação de áreas contaminadas por cloreto de vinila é essencial, não apenas para atender requisitos normativos, mas também para garantir a preservação ambiental e promover práticas de gestão responsáveis em áreas contaminadas por este composto.

1.1 Justificativa e questões de pesquisa

A presença de cloreto de vinila (CV) em água subterrânea pode ser considerada uma preocupação relevante no contexto da gestão ambiental e gerenciamento de áreas contaminadas, em consonância às diretrizes da CETESB DD nº 038/2017/C (CETESB, 2017) e da Resolução CONAMA 420/2009 (CONAMA, 2009). Neste sentido, a avaliação detalhada, incluindo monitoramento e delimitação da pluma de contaminação de contaminantes voláteis ou semivoláteis, se reflete diretamente na seleção de técnicas de remediação, essenciais ao controle e à revitalização de áreas contaminadas abandonadas. Cabe destacar que a escolha criteriosa de técnicas de remediação em áreas contaminadas por cloreto de vinila pode ser desafiadora frente à complexidade dos desafios ambientais, porém é uma ferramenta relevante à preservação ambiental e à promoção de práticas responsáveis para monitoramento de atividades industriais.

Considerando a diversidade de técnicas disponíveis, a seleção criteriosa de métodos de remediação pode influenciar positivamente na redução da contaminação em áreas urbanas, especialmente em *brownfields*. Diante disso, a justificativa pode ser resumida em duas questões norteadoras: i) Como a escolha de técnicas de remediação adequadas pode contribuir para a eficácia no controle e redução da contaminação por cloreto de vinila em áreas urbanas, especialmente em *brownfields*? ii) De que maneira a avaliação detalhada da presença de um composto organoclorado em uma área contaminada em São Paulo pode embasar decisões estratégicas de gestão de águas subterrâneas?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O principal objetivo foi avaliar um caso de gerenciamento de uma área contaminada por cloreto de vinila no município de São Paulo (SP) quanto às técnicas utilizadas no projeto, bem como possíveis alternativa afim de ampliar o conhecimento sobre métodos práticos da etapa de investigação detalhada e de remediação de áreas contaminadas.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos para a presente monografia, podemos destacar:

- Analisar criticamente as técnicas de remediação atualmente aplicadas na área contaminada por cloreto de vinila, considerando a complexidade da área potencialmente contaminada e suas particularidades;

- Contextualizar a importância da investigação detalhada e das escolhas adequadas de técnicas de remediação dentro da gestão de *brownfields*;
- Fornecer subsídios para aprimorar as práticas de gestão ambiental em áreas contaminadas, visando não apenas a conformidade normativa, mas também a preservação ambiental e a promoção de ações responsáveis na gestão de contaminantes como o cloreto de vinila.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Contaminação Ambiental em *brownfields*

A preocupação com aspectos ambientais surge por meados da década de 1960, por conta de acidentes e grandes contaminações, trazendo impactos para a saúde ambiental e humana, com início na Revolução Industrial (Pott, 2017). Com isso surgiram os *brownfields*, que são áreas anteriormente utilizadas para atividades industriais ou comerciais que estão abandonadas, subutilizadas ou contaminadas. Desde a revolução industrial, se tornou comum a descarga de efluentes industriais em cursos d'água, liberação de material particulado na atmosfera ou a dispersão de rejeitos industriais no solo (Seiju, 2003).

As áreas com seus parâmetros de qualidade naturais alterado, vieram a ser estudadas no Brasil na década de 60 com a criação da “Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar – CICPAA”, criada em 1960 e posteriormente a Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas (CETESB), criada em 1973 por meio da Lei nº 118, pela necessidade de regulamentação para a atividade industrial. Esse fenômeno foi acentuado pelos danos ambientais que já estavam sendo observados em locais como a cidade de Cubatão, importante centro industrial no estado de São Paulo, antigamente apelidado de “Vale da morte” (Rei *et al.*, 2022).

Assim, devido a divulgação de casos de acidentes ambientais e poluição que impactaram a saúde daqueles moradores nas regiões afetadas, em 1999 a CETESB em parceria com a *Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), órgão do governo alemão, publicou a primeira edição do “Manual de Gerenciamento de áreas Contaminadas”, que conceitua “áreas contaminadas” como “local cujo solo sofreu dano ambiental significativo que o impede de assumir suas funções naturais ou legalmente garantidas”. O manual também apresentou a metodologia a ser utilizadas em casos de acidentes com dispersão de contaminantes ou após a alteração de localidade de indústrias, que deixavam em seu caminho as áreas com rejeitos industriais enterrados, qualidade da água alterados etc (CETESB, 2021).

As áreas classificadas como contaminadas estão sendo retroativamente recuperadas, a fim de proteger as pessoas que residem nas áreas previamente atingidas, assim como controlar para que mais comunidades não sejam atingidas (CETESB, 2021).

3.2 Substâncias químicas de interesse em áreas potencialmente contaminadas

Áreas impactadas por substâncias químicas não naturais ao solo, que podem apresentar risco patológico para organismos expostos ao meio, ou áreas contaminadas podem abrigar uma variedade de substâncias químicas, como hidrocarbonetos derivados do petróleo, metais pesados como chumbo e mercúrio, solventes orgânicos como tricloroetileno, além de pesticidas e herbicidas. Essas substâncias podem ser provenientes de atividades industriais, agrícolas, representando riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Identificar e avaliar essas substâncias são etapas fundamentais para gestão eficaz destas áreas, possibilitando a implementação de medidas necessárias para mitigar os impactos negativos.

Fontes e origens destes contaminantes variam muito, dependendo da atividade exercida no local como industriais, postos de combustíveis, descarte de resíduos, e cada contaminante é associada a uma atividade. No caso do cloreto de vinila, um composto químico utilizado principalmente na produção de CV, suas principais fontes incluem instalações industriais envolvidas na fabricação e processamento de plásticos, bem como na produção de produtos químicos (CETESB, 2012). Vazamentos, descargas acidentais e emissões atmosféricas são algumas das formas pelas quais o CV pode ser liberado no solo, na água e no ar, contribuindo para a contaminação ambiental, o CV também pode ser encontrado em resíduos sólidos, como produtos descartados inadequado de produtos químicos, que podem se degradar ao longo do tempo, liberando o composto no ambiente (Rejane, 2009).

A exposição aguda (de curto prazo) a níveis elevados de CV pode causar efeitos no sistema nervoso central humano, tais como tontura, sonolência e dores de cabeça (PubChem [Internet], 2024). Por outro lado, a ficha da PubChem (2024) apresenta ainda a informação de que a exposição crônica (de longo prazo) ao CV por inalação e ingestão oral em humanos resultou em danos no fígado, além de aumentar o risco de câncer. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, do inglês “*Environmental Protection Agency*”) classificou o cloreto de vinila como um carcinógeno do Grupo A para humanos (USEPA, 2024).

3.3 Regulamentação na revitalização de *brownfields* e na remediação de áreas contaminadas

No Brasil, a legislação ambiental relacionada à contaminação por substâncias como o CV é vasta e abrangente. A Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida pela Lei Federal nº 6.938/1981 (Brasil, 1981), define princípios e diretrizes para proteção e recuperação da qualidade ambiental, incluindo medidas de prevenção e controle da poluição, abordando a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Além disso, as leis de crimes ambientais, como a Lei Federal nº 9.605/1998, delineiam os crimes e penalidades associadas à poluição e contaminação ambiental, enquanto as resoluções do CONAMA estabelecem critérios para a elaboração de planos de intervenção em áreas contaminadas, como a Resolução nº 420/2009, e regulamentam o licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras, como postos de combustível, conforme estipulado pela Resolução nº 313/2002. Essas normativas, tanto federais quanto estaduais e municipais, formam um arcabouço legal que visa garantir a prevenção, monitoramento e remediação adequada de áreas contaminadas, protegendo tanto o meio ambiente quanto a saúde pública.

A revitalização de *brownfields* envolve uma série de regulamentações ambientais no Brasil. A Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelece critérios e diretrizes para a elaboração de planos de intervenção em áreas contaminadas, incluindo *brownfields*. Esses planos devem abranger a avaliação de riscos à saúde humana e ao meio ambiente, bem como as estratégias de investigação e remediação das áreas afetadas. Além disso, o licenciamento ambiental de atividades de revitalização de *brownfields* deve ser obtido de acordo com as leis e regulamentos ambientais aplicáveis, como a Resolução CONAMA nº 313/2002, que trata do licenciamento de atividades potencialmente poluidoras.

Na prática, a revitalização de *brownfields* requer uma abordagem integrada que envolve autoridades ambientais, proprietários de terras, investidores e comunidades locais. É necessário realizar estudos ambientais detalhados para avaliar a extensão da contaminação e seus possíveis impactos, além de desenvolver planos de remediação apropriados que estejam em conformidade com as regulamentações ambientais vigentes. O processo de revitalização também pode envolver a participação de diferentes partes interessadas, como órgãos governamentais, instituições financeiras e empresas de consultoria ambiental. O objetivo final é reabilitar essas áreas de forma segura e sustentável, transformando-as em espaços úteis e produtivos, enquanto protege a saúde pública e o meio ambiente (Sanchez, 2004).

Em um modo geral observamos tendências em relação a revitalização de *brownfields* apesar das particularidades culturais de cada país, por exemplo implementação de legislações específicas, responsabilizando o pelo passivo ambiental e incentivos fiscais, regulamentações ambientais em um geral abordando avaliações de riscos à saúde humana e ambiental, e, o mais eficaz e funcional, que é a integração das partes envolvidas, desde proprietários de terras, indústrias comunidade local, e iniciativas do estado.

3.4 Monitoramento e avaliação de risco em áreas contaminadas

A coleta de água subterrânea e solo em áreas contaminadas é uma prática essencial para avaliar a extensão da contaminação e orientar as estratégias de remediação. No caso da água subterrânea, poços de monitoramento são estrategicamente instalados e equipados com tubos de revestimento para garantir a coleta de amostras não contaminadas. Essas amostras são obtidas manualmente ou por métodos passivos, como o uso de amostradores de baixa permeabilidade. Além disso, a amostragem multinível permite coletar amostras em diferentes profundidades em um único poço, quando a distribuição vertical dos contaminantes é significativa. Quanto ao solo, amostras são coletadas em vários pontos da área contaminada, utilizando métodos como sondagens e trincheiras. Essas amostras são analisadas em laboratório para determinar os tipos e níveis de contaminantes presentes, fornecendo informações cruciais para a gestão e remediação ambiental (CETESB, 1999).

Técnicas analíticas desempenham um papel importante na análise de amostras de água subterrânea e solo em áreas contaminadas, permitindo a identificação e quantificação precisa dos contaminantes presentes. A cromatografia líquida (HPLC) é utilizada para detectar e quantificar compostos orgânicos, enquanto a espectrometria de massa (MS) fornece informações detalhadas sobre a composição molecular das amostras (Lanças *et al.*, 2009).

Na elaboração de uma avaliação de risco em áreas contaminadas, é fundamental considerar as substâncias encontradas e os padrões regulatórios estabelecidos para esses contaminantes. As substâncias podem variar amplamente, incluindo voláteis orgânicos compostos (VOCs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), metais pesados, pesticidas, solventes industriais, entre outros. Cada uma dessas substâncias possui diferentes características toxicológicas e ambientais.

Para elaboração do Plano de Avaliação de Risco (AR) para saúde humana e ambiental em áreas contaminadas, seguindo as normas descritas na resolução CONAMA nº 420 (2009) e DD-38 (CETESB, 2017), os passos incluem: planejamento inicial para definir objetivos e

escopo; coleta e revisão de dados sobre a área contaminada; identificação das vias de exposição aos contaminantes; avaliação de risco humano e ecológico; modelagem de risco para prever exposição e efeitos ao longo do tempo; desenvolvimento de cenários de risco representativos; análise de incerteza e sensibilidade dos resultados; desenvolvimento de medidas de gerenciamento de risco para redução ou eliminação dos riscos identificados; documentação detalhada dos resultados e recomendações em um relatório abrangente; e revisões constantes conforme necessário para atingir conformidade com as melhores práticas dentro dos padrões regulatórios estipulados pelo órgão do estado. O processo de análise requer colaboração entre especialistas multidisciplinares e comunicação transparente com as partes interessadas ao longo de todas as etapas.

3.5 Estratégias de remediação aplicadas à contaminação por cloreto de vinila

Existem vários métodos diferentes encontrados na literatura, para o tratamento de áreas contaminadas, dentre elas estão, bombeamento de água subterrânea e o tratamento dela, existem métodos de barreiras físicas que podem ser eficientes para evitar a proliferação da contaminação (Santo, 2019). Térmicos que são muito eficazes para volatilizar os contaminantes e uma mais robusta e demanda um trabalho mais extensivo, que é a extração do solo contaminado, transportando para um local adequado para fazer a limpeza do solo, bioremediação, tratamentos químicos e térmicas necessários (Santos *et al.*, 2008).

Aplicação da técnica de remediação por injeção do ozônio em fase dissolvida em um estudo de caso em área industrial contaminada por CV elaborado por Caram (Caram, e2020), relata que a injeção pode-se observar que foi satisfatória através pelo nível de oxigênio encontrado nas amostras em níveis verticais diferentes, porém constatou-se também que não foi observado redução significativa do cloreto de vinila, dados estes que indicam a necessidade de uma reavaliação dos planos de remediação.

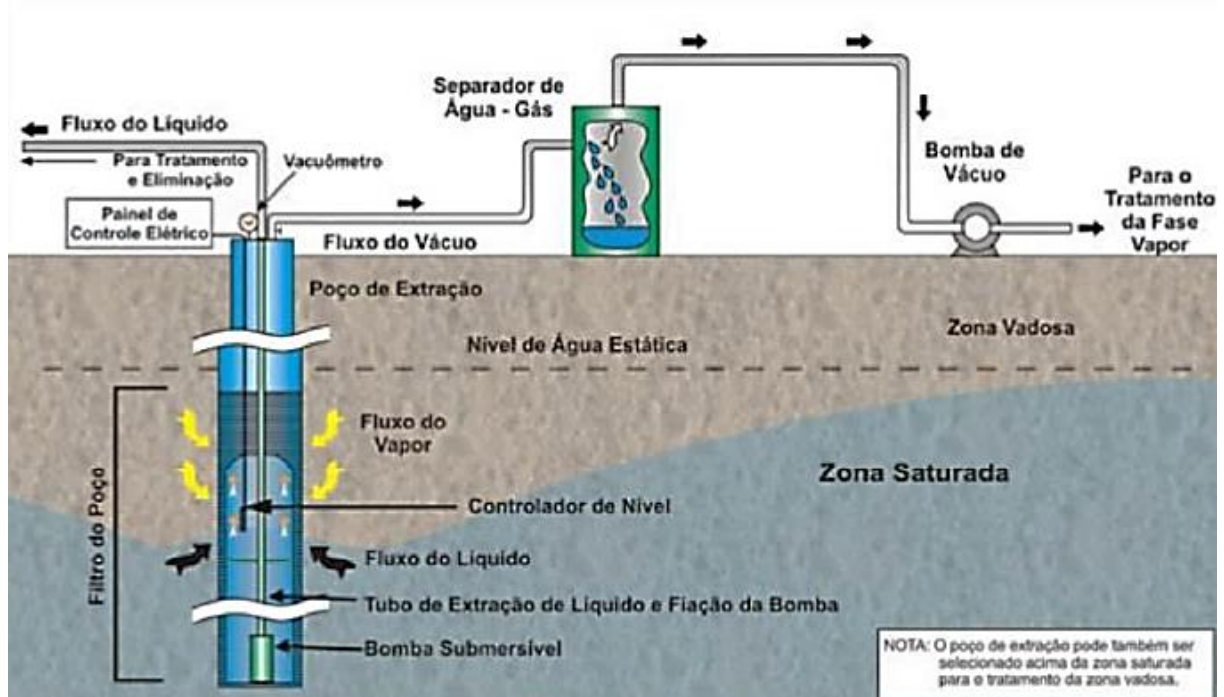
A técnica de Extração em Duas Fases (*Dual Phase Extraction* - DPE) é uma variação do sistema denominado Extração Multifásica (*Multi Phase Extraction* - MPE), o qual envolve uma metodologia para extração de fase livre e, concomitantemente, fase dissolvida na água subterrânea, além de vapores presentes no solo. Utilizando-se o sistema DPE, os líquidos e os vapores do solo são conduzidos separadamente, o que aumenta a eficiência do sistema: utilizam-se bombas submersas para o bombeamento da fase líquida e outra bomba a vácuo para extração de vapores na zona não saturada, ou mesmo na zona rebaixada pela bomba submersa (Totti, 2015).

Desta forma, a água e os vapores são removidos do subsolo e vertidos para a superfície através de tubos coletores e encaminhados para as unidades de tratamento, que podem ser feitas com o uso de carvão ativado ou oxidante catalítico, sendo que as unidades precisam ser monitoradas periodicamente para a avaliação da efetividade do sistema e necessidade de substituição do elemento filtrante (Cunha, 2010).

A extração da parte líquida causa o rebaixamento do nível da água local e aumenta a exposição da região contaminada da zona não saturada, incrementando a extração de vapores. Em virtude da alta vazão de extração de vapores (normalmente 1 ou 2 ordens de grandezas maiores do que bombeamento da água), o sistema torna-se extremamente eficiente em comparação aos sistemas de MPE tradicionais ou o simples bombeamento e tratamento da água subterrânea (*Pump and treat*) (Totti, 2015).

O vácuo aplicado induz a migração da massa de vapores ao longo dos poços de extração. O vapor extraído é proveniente do processo de volatilização de compostos voláteis e semivoláteis que podem estar presentes na zona não saturada (U.S Army Corps of Engineers, 1999). Adicionalmente, o processo de extração de vapores incrementa a disponibilidade de oxigênio na zona não saturada o que resulta na estimulação natural da biodegradação da fase residual dos compostos presentes na matriz do solo, a Figura 3-1 exemplifica esse processo.

Figura 3-1 - Sistema de Remediação *Dual Phase Extraction* em que o contaminante é extraído em um líquido multifásico e separado em uma unidade específica (separador de líquido-gás) para posterior tratamento da fase vapor.



Fonte: U.S Army Corps of Engineers, 1999. (Traduzido)

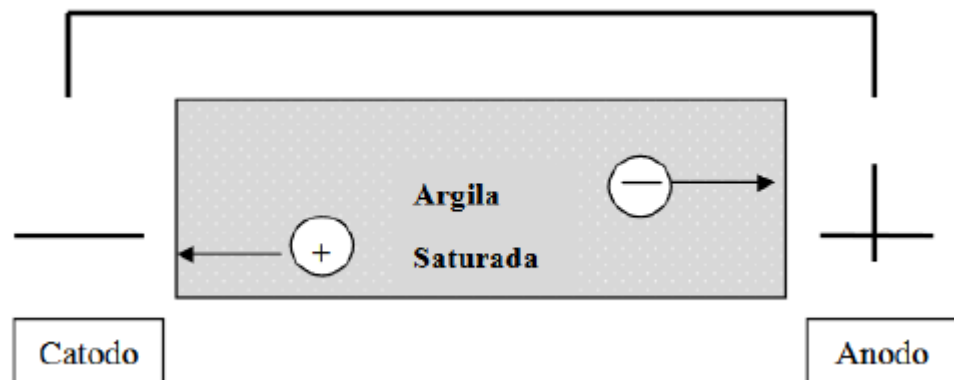
A remediação por eletrocinese é caracterizada pelo transporte físico-químico de cargas, ação das partículas carregadas e efeito da aplicação de um potencial elétrico na formação e transporte de fluido em meio poroso. A remediação se dá a partir do dimensionamento de um gradiente elétrico entre eletrodos para a geração de um campo elétrico na massa de solo, o qual gera processos de transporte de íons em direção aos eletrodos (Silveira, 2017).

Os fenômenos eletrocinéticos ocorrem nos solos porque os fluidos intersticiais são capazes de conduzir corrente elétrica. O sistema partícula de argila água eletrólito é constituído por três diferentes zonas: a partícula de argila com carregamento negativo em sua superfície, a água intersticial com presença de íons com carga positiva e a água livre com carga neutra. A carga negativa da superfície da partícula de argila requer uma carga positiva (ou cátions trocáveis) distribuídos na zona adjacente da superfície da argila, formando então a dupla camada difusa (DCD).

Em solos finos, a presença da dupla camada difusa promove o surgimento de quatro fenômenos eletrocinéticos no solo devido à aplicação do campo elétrico no mesmo, denominados: migração iônica, eletro-osmose, potencial de fluxo e eletroforese, sendo os dois primeiros fenômenos os mais relevantes para o processo de migração de contaminantes em solos. Além destes mecanismos, as reações de eletrólise nos eletrodos e as reações geoquímicas de sorção, precipitação/dissolução e complexação são outros fatores que podem influenciar diretamente na taxa de transporte de substâncias no solo (Charbeneau, 2013).

A migração iônica, ou o transporte iônico no fluido intersticial, é responsável pelas correntes elétricas, e esse transporte ocorre em direção ao eletrodo oposto da polaridade do íon. Os íons negativos são transportados para o eletrodo de carga positiva (anodo) e os íons positivos para o eletrodo de carga negativa (catodo), sendo separados de acordo com a sua carga. Como consequência deste movimento o fluxo eletromótico, gerado pela eletro-osmose, aumenta a migração de certos íons, e retarda a de outros (com carga oposta), conforme ilustrado na Figura 3-3 (Silveira, 2017).

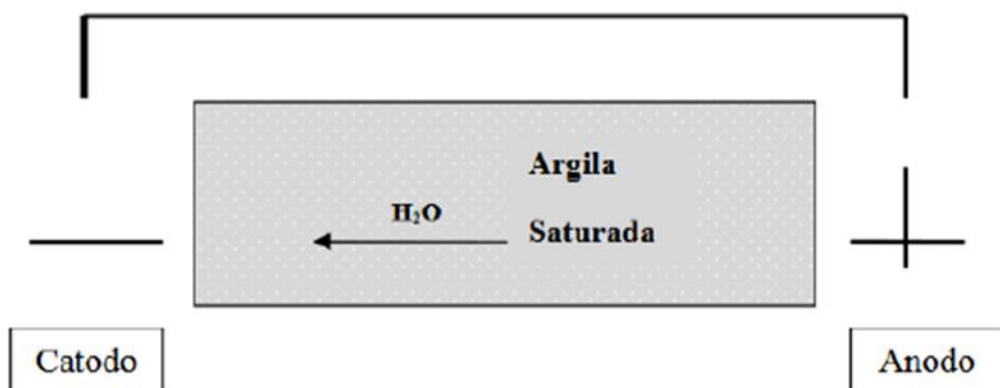
Figura 3-3 - Representação esquemática da movimentação de elétrons no meio argiloso por meio da eletro-migração sendo atraídos por polaridades distintas



Fonte: Charbeneau, 2013.

A eletro-osmose é o fenômeno de fluxo hidráulico (advectivo) provocado por um gradiente elétrico. Ao se aplicar um potencial elétrico a uma massa de solo saturado ou parcialmente saturado, um sistema de forças elétricas opostas é simultaneamente criado. Os ânions na camada tendem a se movimentar em direção ao anodo e os cátions são atraídos para o catodo. Com a migração dos íons é carregada também a sua água intersticial em direção ao catodo. Para uma porção de massa de solo, a movimentação das partículas do solo é restringida, porém a água intersticial fica livre para se mover. Ou seja, os íons carregam suas águas de hidratação exercendo um arraste viscoso na água que está em sua volta. Ocorre, então, o fluxo de água conhecido como eletro-osmose. Como existem mais cátions do que ânions livres nas proximidades das partículas do solo, esse fluxo tende a ocorrer no sentido anodo-catodo. Na Figura 3-4, o fenômeno é ilustrado (Schmidt, 2004).

Figura 3-4 - Representação esquemática do transporte de elétrons na eletro-osmose no meio argiloso entre dois polos carregados com polaridades diferentes



Fonte: Charbeneau, 2013

Como resultado do transporte de substâncias químicas através da eletro-osmose e da eletromigração, a técnica eletrocinética tem se mostrado uma excelente alternativa para a remediação de solos de baixa permeabilidade, onde outros processos se mostram pouco eficientes.

O processo de remediação foi considerado para o projeto, esse processo se baseia na utilização de seres vivos para a recuperação de áreas contaminadas, geralmente empregam microrganismos e suas enzimas para agredir o composto poluidor. Muito utilizada para agir em contaminantes no solo e água subterrânea, hidrocarbonetos e compostos orgânicos (Trindade, 2002).

A técnica de remediação de atenuação natural é um processo de restauração ambiental que se baseia na capacidade natural do meio ambiente de degradar e remover contaminantes. Em vez de intervenções humanas intensivas, como a remoção física de poluentes ou a aplicação de produtos químicos, essa abordagem aproveita os processos naturais, como a biodegradação, a volatilização e a sorção, para reduzir os níveis de contaminação no solo, na água subterrânea ou em outros meios (Moreira, 2009). Esta técnica envolve principalmente a criação de condições favoráveis para que os processos naturais de degradação ocorram de forma mais eficiente, como ajustar o pH do solo, promover a atividade microbiana ou estimular a oxigenação do ambiente contaminado. O resultado é a recuperação progressiva do ambiente impactado, geralmente de forma mais sustentável e menos dispendiosa do que as abordagens convencionais de remediação (Moreira, 2009).

Outra técnica possível é a bioremediação, uma técnica de remediação ambiental que utiliza organismos vivos, como bactérias, fungos e plantas, para degradar e remover contaminantes do solo, água e ar. Esses organismos têm a capacidade natural de metabolizar e transformar uma ampla gama de substâncias químicas nocivas em produtos menos tóxicos ou inertes (Andrade, 2010). Na bioremediação, os microrganismos quebram os poluentes orgânicos em produtos mais simples por meio de processos como oxidação, redução, hidrólise ou fermentação (Andrade, 2010). Em alguns casos, as plantas podem ser usadas para remover contaminantes do solo e da água através de um processo conhecido como fitorremediação, onde as plantas absorvem os poluentes e os armazenam em suas estruturas ou os degradam diretamente (Andrade, 2010).

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se trata de uma antiga planta de manufatura de materiais poliméricos, contando com unidade de galvanoplastia, lavagem de tecidos, estação de tratamento de esgoto (ETE), estação de tratamento de água (ETA) que ocupava uma área de 232.685,47 m², havendo operado entre os anos de 1964 e 2003, quando teve suas atividades encerradas. A fábrica teve seus equipamentos desmobilizados ainda em 2003.

No ano 2008, a área foi adquirida por uma empresa de empreendimentos imobiliários, e está desprovida de qualquer instalação desde então. No local, está prevista a implantação de um conjunto comercial, centro de logística, composto por algumas edificações utilitárias, tais como: portarias, refeitório e edifício de utilidades, e por quatro galpões de armazenamento logístico que serão comercializados para terceiros.

O terreno em questão, atualmente, encontra-se desocupado, porém, entre 1969 e 2004 – 35 anos, foi ocupado pela fábrica, que realizou as atividades de fabricação de brinquedos de plástico e madeiras. No ano de 2015 foi iniciado o processo de demolição das antigas estruturas que teve fim em 2017. A área é localizada na zona norte de São Paulo, próximo à divisa com a cidade de Guarulhos.

Figura 4-1 - Localização da área de estudo



Fonte: Google Earth (Outubro de 2020).

Também houve estudos ambientais realizados na área entre os anos de 2008 e 2019. Os estudos realizados na área são indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Histórico de estudos ambientais realizados na área de estudo desde a desmobilização da fábrica.

Título	Empresa Responsável	Mês/ Ano
Avaliação Ambiental Preliminar	Consultoria A	nov/08
Investigação Ambiental Confirmatória	Consultoria A	set/08
Investigação Complementar, Avaliação de Risco à Saúde Humana e o Plano de Intervenção	Consultoria A	mai/14
1º Monitoramento de Qualidade de Água	Consultoria B	out/14
2º Monitoramento de Qualidade de Água	Consultoria B	mar/15
3º Monitoramento de Qualidade de Água	Consultoria B	out/15
4º Monitoramento de Qualidade de Água	Consultoria B	mai/16
Complementação da Avaliação Ambiental Preliminar – Fase I	Consultoria A	set/16
Investigação Ambiental Detalhada Suplementar, Avaliação de Risco à Saúde Humana e Investigação de Vapor no Solo	Consultoria A	mar/17
Avaliação Ambiental Preliminar	Consultoria C	jul/18
Investigação Ambiental Detalhada Suplementar, Avaliação de Risco à Saúde Humana e Investigação de Vapor no Solo	Consultoria C	mai/19
Consolidação dos Estudos Anteriores	Consultoria D	dez/19
Investigação Ambiental Detalhada Suplementar, Avaliação de Risco à Saúde Humana e Investigação de Vapor no Solo	Consultoria D	dez/19

Fonte: Autoria própria.

4.1 Locais dentro da área de estudo com potencial de contaminação

O histórico da área demonstrou que a fábrica foi fundada em 1937 e produzia somente bonecas de pano e carrinhos de madeira. Com o passar dos anos passou a produzir brinquedos também de plástico, metal e outros materiais. No entanto, nas fotos aéreas consultadas (1958, 1972, 1986 e 1997) verifica-se a existência de galpões industriais somente a partir do ano de 1972, ocorrendo ampliações dos mesmos até a foto de 1986. Em estudos posteriores, foi explicado que a fábrica se instalou inicialmente em outro local e ocupou o referido terreno somente a partir de 1969.

É citado que nos documentos consultados foram referenciadas as seguintes instalações: Subestação de Energia Elétrica, Galpão de Depósito, Galpão para Montagem de Dominó, Galpão de Desdobro, Depósito de Produto Semiacabado, Depósito de Secagem de Madeira, Galpão para Estoque de Madeira, Estação de Tratamento, Casa de Máquinas, Reservatório de Água Industrial, Cafeteria, Galpão de Serralheria, Galpão de Montagem de Madeira, Loja, Vestiários, Refeitório, Salas Administrativas, Ambulatório, Galpão de Produção de Plásticos, Depósito de Produtos Acabados, Manutenção, Depósito de Gases, Depósito de Lubrificantes e Inflamáveis, Depósito de Matéria-prima, Tanques de Óleo Diesel e Inflamáveis, Almoxarifado, Galpão Depósito de Obsoletos, Reservatório de Água para Incêndio, Estacionamentos, Portaria, Balança, Quadra Poliesportiva, Churrasqueira, Salão de Festas e Tratamento de Água.

Figura 4-2 - Localização das áreas fontes na área de estudo, sobreposta em foto histórica de 2015.



1a - Casa de Máquinas
 1b - Reservatórios
 2 - Vestiários
 3 - Ambulatório
 4 - Balança
 7 - Área de Lazer
 8 - Depósito de materiais obsoletos
 9 - Galpão Produtivo Principal
 9a - Recuperação e Preparação
 9b - Estamparia
 9c - Seção de Plastisol e Preparação
 9d - Seção de Injeção e Extrusão
 9e - Seção Vinil
 9f - Seção de fabricação de bolas
 9g - Seção de Pintura de bolas
 9h - Seção de fabricação de pistas de autorama
 9i - Almoxarifado de semiacabados
 9j - Seção de pintura de produtos de plásticos
 9k - Seção de Metalização
 9l - Seção de corte e costura
 9m - Seção de enraizamento e penteado
 9n - Seção de montagem de produtos plásticos
 9o - Seção de montagem de bonecas
 9p - Seção de montagem metalúrgica
 9q - Ferramentaria
 9r - Seção de produtos acabados
 9s - Expedição

11a - Estação de tratamentos de efluentes industriais
 11b - Sala de produtos químicos
 12 - Galpão produtivo P1
 12a - Galvanoplastia
 12b - Montagem de produtos de madeira
 12c - Setor de Zamak
 12d - Setor de pintura de brinquedos de madeira
 12e - Depósito de produtos semiacabados de madeira
 13 - Tanques de óleo diesel
 14 - Controle de qualidade de manutenção
 15 - Oficina de empilhadeiras
 16 - Setor de destilação
 17 - Depósito para tambores de óleos lubrificantes
 18 - Depósito de lonas Sansay
 19 - Abrigo de tambores de óleos lubrificantes e inflamáveis
 20 - Galpão para desdobro de madeira
 21 - Galpão para desdobro e secagem de madeira
 22 - Galpão de montagem de dominó
 23 - Galpão para desdobro de madeira
 24 - Depósito de tintas
 25 - Rampa para lavagem de empilhadeiras
 26 - Galpão H1
 27 - Galpão H
 27a - Preparação de tintas
 27b - Depósito de tambores de solvente
 27c - Depósito de tambores de óleos e solventes clorados
 27d - Manutenção de empilhadeiras, lubrificação, setor de queimador de cabeçotes, setor de pintura
 28 - Subestação elétrica
 29 - Área de treinamento da brigada de combate a incendio

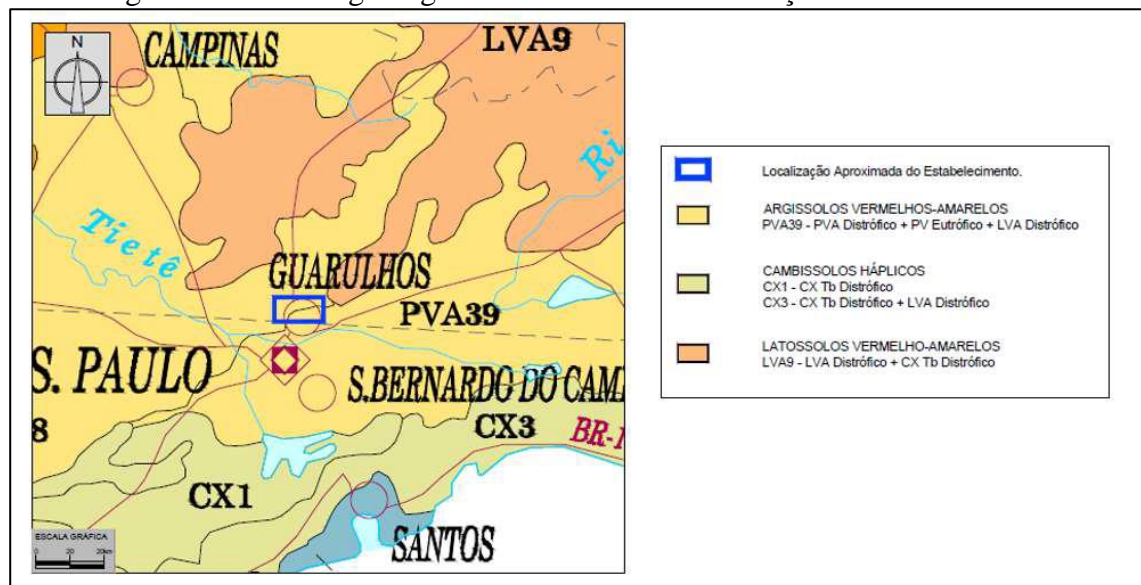
Fonte: Consultoria C, 2018

4.1.1 PEDOLOGIA REGIONAL

O local em estudo é caracterizado pela presença predominante de Argissolos Vermelho-Amarelados conforme o Mapa de Solos do Brasil (IBGE, 2001). Os argissolos tem expressiva ocorrência no Brasil, sendo verificado em quase todas as regiões do país. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA 2006), uma das características marcantes dos Argissolos é a nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes, especialmente pelo aumento dos teores de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B, sendo este do tipo textural (Bt). Geralmente também acompanha significativa diferenciação de cores e outras características.

A profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos. As cores do horizonte A são sempre mais escuras, e as do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas. Em profundidade apresentam cores mais fortes (amarelada, brunada ou avermelhada) (IBGE, 2001).

Figura 4-3 - Pedologia regional ressaltando a localização da área de estudo



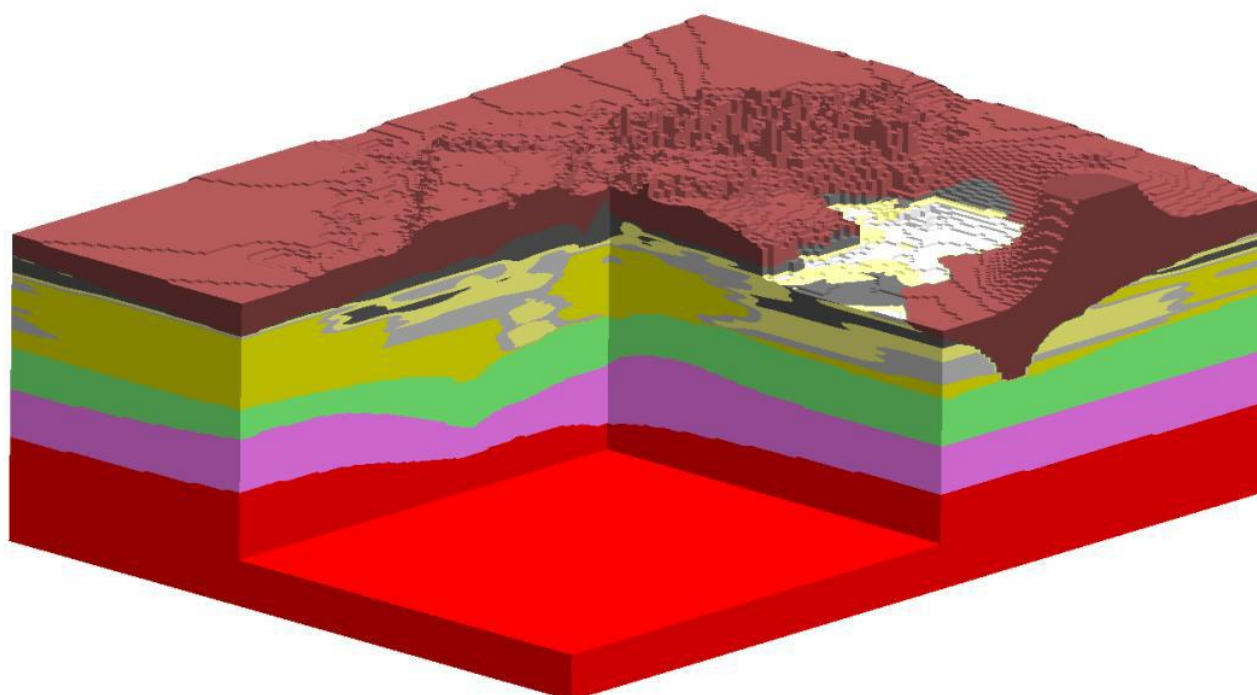
Fonte: Rossi, 2017

4.1.2 MODELO GEOLÓGICO GERADO

A fim de obter-se um estudo aprofundado da área foi utilizado uma modelagem de algorítmico de análise do solo, produzido por uma das consultorias, que previamente trabalhou na área em questão. A modelagem foi realizada pela Consultoria D, em 2019, por meio do relatório “Investigação Ambiental Detalhada Suplementar, Avaliação de Risco à Saúde Humana e Investigação de Vapor no Solo” a partir da análise e criação do banco de dados com

os resultados das descrições geológicas existentes dos poços de monitoramento instalados na área e das sondagens. Este bloco geológico delimitado como área de contorno para a modelagem foi utilizado para compreensão geral do substrato da área, a relação e arranjo espacial entre os litotipos existentes, e os principais meios e caminhos gerais de migração e/ou fixação dos compostos de interesse nos litotipos existentes. Com este bloco gerado também foi possível obter, de forma prática, diversas e variadas seções e cortes geológicos, ajudando na compreensão da dinâmica geral da área.

Figura 4-4 - Modelagem geológica trimendisonal regional da área de estudo realizado a partir do programa de modelagem *RockWorks*



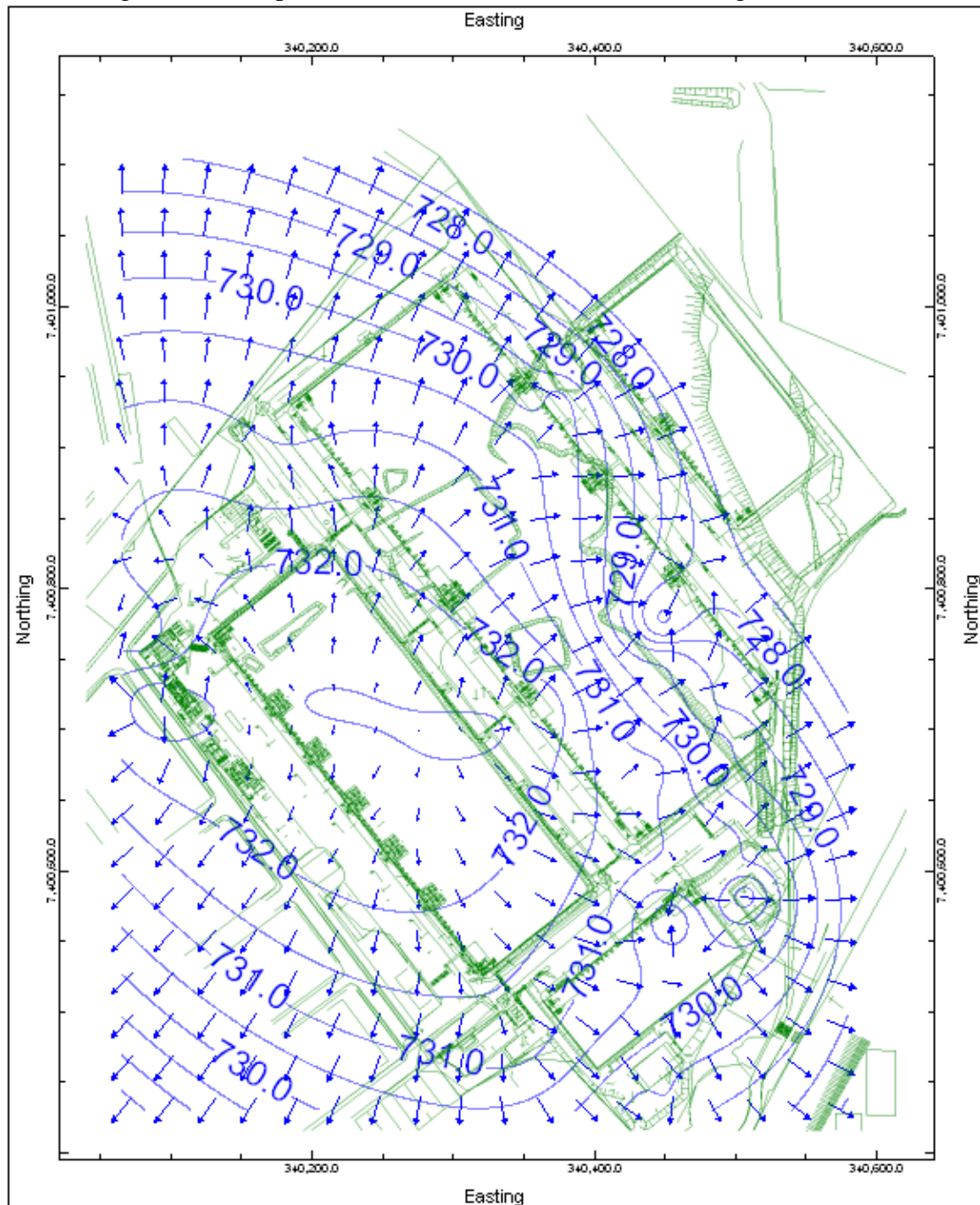
	Aterro <u>argilo</u> -siltoso marrom as vezes com entulho de construção
	Argila orgânica preto e cinza
	Areia fina a grossa com cascalho
	Argila siltosa marrom e cinza
	Areia basal fina a grossa com cascalho amarela e cinza
	Argila siltosa Terciaria
	Solo de Alteração de Rocha arenoso marrom e cinza
	Rocha Sã

Fonte: Consultoria D (2019)

Baseado na modelagem geológica apresentada na Figura 4-4 podemos determinar a direção do fluxo de água subterrânea. Determina-se que a direção de fluxo das águas, tanto superficiais como as subterrâneas rasas, com uma profundidade de nível de água de aproximadamente 4,4 m, seguem esta direção: antigo platô para a área com desnível (Figura 4-

5). Esse fluxo também se comprova devido a presença de um antigo leito de rio, já canalizado na região a nordeste, justificando também a profundidade rasa da água subterrânea

Figura 4-5 - Mapa Potenciométrico indicando fluxo de água subterrânea



Fonte: Consultoria D 2019

Com base na geologia da área foi observada que a Substancia Química de Interesse (SQI), o CV, objeto de estudo do presente trabalho, se encontra em camadas de argila, e a argila possui como característica uma granulometria partículas finas menores que 0,002 mm, essas partículas geralmente são bem compactadas assim formando uma característica plástica, e por

conta disso ela possui uma baixa taxa de permeabilidade, o que significa que ela retém a água e seus possíveis poluentes nesta camada.

Essa característica dificulta a remoção e tratamento de contaminantes por meios simplesmente físicos como o de extração direta da água e vapor do solo para tratamento *in situ*. O tratamento *ex situ*, nesse caso, além de apresentar as mesmas dificuldades de transporte de contaminante, ainda apresenta um custo de operação elevado, fazendo com que seja inviável.

4.2 Métodos de mapeamento da pluma de contaminação

Ademais a pluma de contaminação presente na área de estudo foi mapeada utilizando as concentrações das SQIs advindas de amostragens e análises laboratoriais, junto com as informações geológicas e hidrogeológicas descritas no tópico 4.1.2. As informações foram inseridas em um programa de modelamento matemático comercial denominado *Rockworks* - um pacote integrado de software para gerenciamento, análise e visualização de dados geológicos e geoquímicos.

A modelagem sólida, utilizada neste trabalho para interpolação do modelo geológico e das plumas existentes é um processo de *gridding* tridimensional no qual um algoritmo de modelagem sólida é usado para extrapolar valores de G para coordenadas fixas de X (Leste), Y (Norte) e Z (elevação). Os valores G representam as variáveis litológicas e as variáveis das concentrações químicas dos compostos de interesse amostrados para os solos e águas subterrâneas.

Uma vez conhecida as dimensões da área de estudo, o programa a divide em células tridimensionais ou "*voxels*". Cada "*voxel*" é definido por seus nós. A cada nó é atribuído as coordenadas de localização X, Y e Z apropriadas de acordo com sua colocação relativa dentro da área de estudo. A quarta variável G é estimada com base no valor G dos pontos de dados determinados.

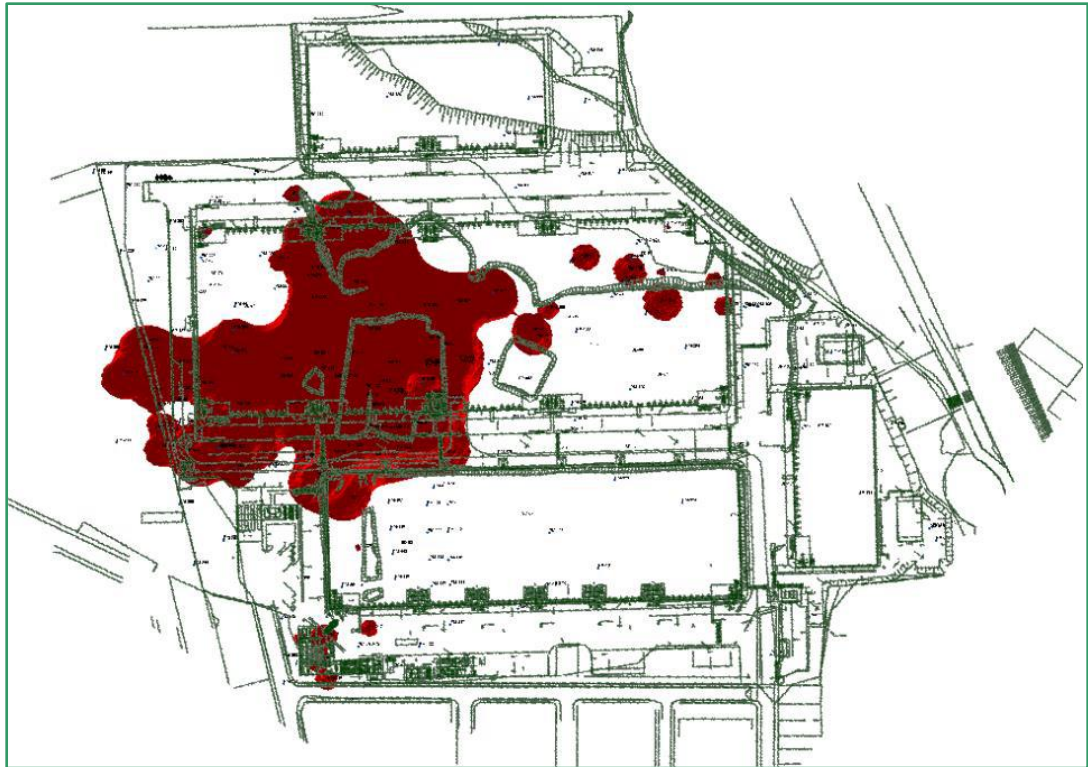
Os modelos tridimensionais ou bidimensionais são obtidos a partir de algoritmos específicos e determinados a partir do conhecimento desta consultoria e da comparação entre os resultados gráficos obtidos, levando-se em conta principalmente os tipos de materiais litológicos, as razões de permeabilidade, as razões de gradiente hidráulico e as tendências de mobilidade conhecida de cada composto modelado.

Este modelo foi desenvolvido pela Consultoria D em 2019 por meio do relatório de "Investigação Detalhada, Avaliação de Risco à Saúde Humana e Plano de Intervenção".

Na Figura 4-6, pode ser visualizada a representação da pluma mapeada para o CV em água subterrânea, objeto de estudo do presente trabalho, em relação a seu valor de intervenção

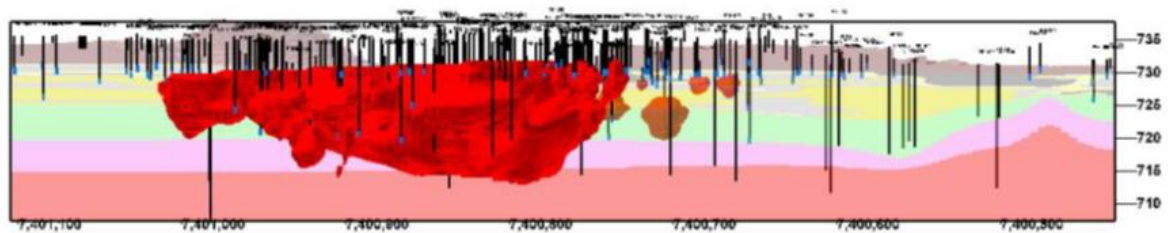
estipulado pela CETESB, órgão que monitora e define valores de concentração para SQI em áreas contaminadas (CETESB, 2022).

Figura 4-6 - Mapeamento Pluma de Cloreto de Vinila em visão aérea



Fonte: Consultoria D (2019)

Figura 4-4 - Distribuição horizontal da contaminação por cloreto de vinila, demonstrando também os diferentes horizontes de solo encontrados na área.



Fonte: Consultoria D, 2019

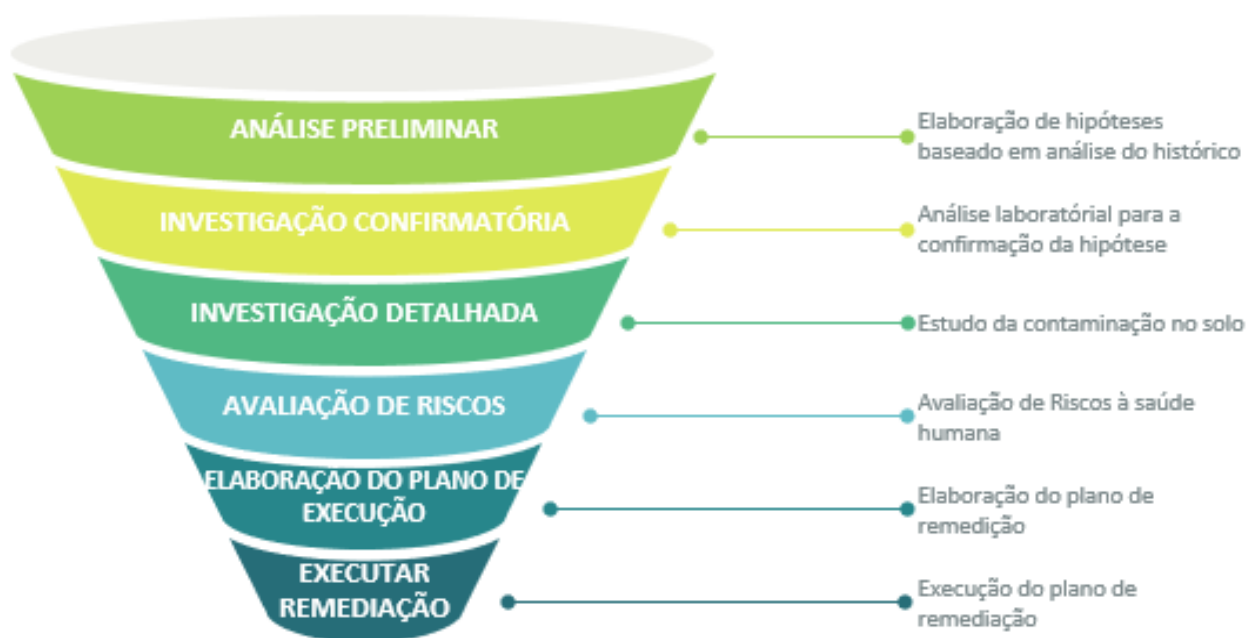
O modelo obtido para a distribuição do contaminante, no caso o CV, também foi utilizado para determinar o volume da pluma como sendo 413.250 m^3 , enquanto o valor de intervenção para o cloreto de vinila, segundo tabelas de análises de risco disponibilizadas pela CETESB é de 2 ug/L .

5 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, a fim de determinar-se o melhor método de remediação é necessário, primeiramente caracterizar o cenário completo presente na área de estudo. Para a caracterização da área, a maneira normatizada por lei, é utilizando-se do “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas”, disponibilizado pelo órgão regulador competente do estado de São Paulo no âmbito ambiental, a CETESB.

A Figura 5-1 representa de maneira sucinta de maneira sucinta as etapas descritas no “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas”, baseado nas diretrizes da DD-038 e normatizado pela Resolução nº 420 de 2009. Para fins do presente estudo as etapas de “Análise Preliminar”, onde é realizado um estudo do histórico da área de estudo, a “Investigação Confirmatória”, onde as hipóteses levantadas na Avaliação Preliminar são confirmadas ou descartadas, a “Investigação Detalhada”, em que a contaminação é caracterizada mais rigorosamente e a “Avaliação de Risco a Saúde Humana, que determina as vias de exposição e os receptores para que possa ser determinado se há risco real para os receptores, foram realizadas por diferentes consultorias em diferentes períodos de tempo.

Figura 5-1 - Etapas do Gerenciamento de áreas Contaminadas segundo o “Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas” normatizado pela CETESB



Fonte: Autoria própria.

Para a realização do presente estudo, por razões financeiras, não foi possível a repetição das etapas produzidas anteriormente, uma vez que foram deferidas por meio de “Parecer Técnico” emitida pelo órgão ambiental competente. Assim, também será realizada uma análise crítica das soluções adotadas pela consultoria e dos métodos considerados para a remediação

da área em questão. A limitação por razões financeiras simula as condições normalmente encontradas em cenários de consultoria e também será um fator analisado ao longo do presente trabalho.

5.1 Plano de Investigação Detalhada

Primeiramente, para o desenvolvimento da Investigação Detalhada, é necessário a realização das etapas de gerenciamento predecessoras a essa. Inicialmente foi utilizado a Avaliação Preliminar, desenvolvidas por diferentes consultorias entre os anos de 2008 e 2018.

Nessa etapa do Gerenciamento de Áreas Contaminadas foram levantadas a antiga planta da área e os processos realizados em cada área, indicando assim as áreas com potencial de contaminação, assim como as substâncias químicas de interesses associadas aos processos.

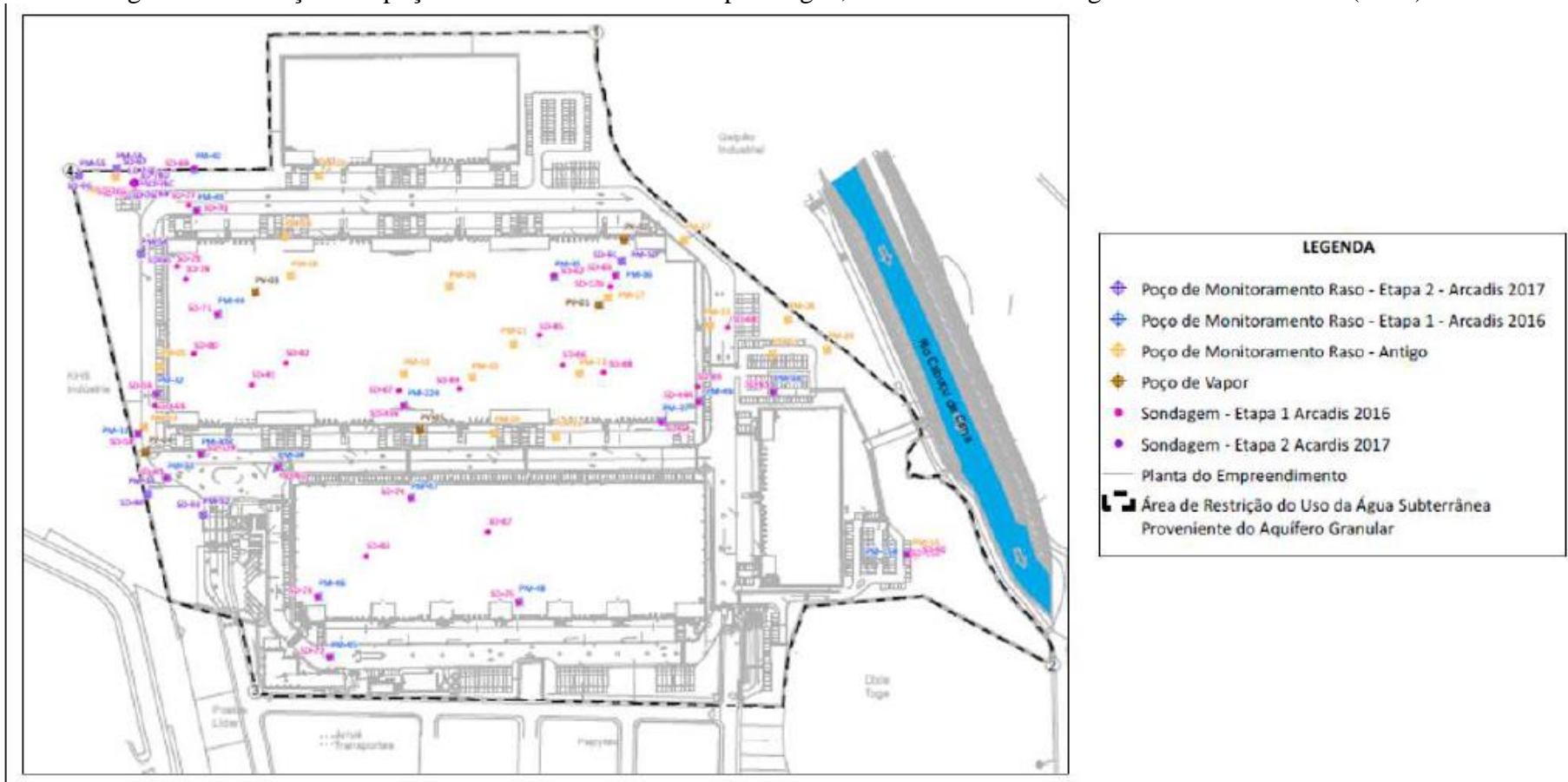
Dessa maneira, a Figura 4-2 apresenta uma foto histórica da fábrica com a indicação das áreas potenciais e os processos realizados nessas áreas. Vale ressaltar que para o houve limitações para o desenvolvimento e localização das áreas com potencial de contaminação, uma vez que o único material de base disponível eram antigas plantas do local. A consultoria responsável não teve acesso a nenhum dos trabalhadores que operaram a fábrica anteriormente. Além disso, o principal fator limitante é que a fábrica já havia sido completamente desmobilizada, não apresentando estruturas além de algumas lajes estruturais.

Determinadas as áreas com potencial de contaminação, segue-se para a Investigação Confirmatória, onde foram alocados os primeiros poços de monitoramento, alocados pelo método *screening*, normatizado pela DD nº38/2017.

A Figura 5-3 apresenta um mapa com a posição dos poços de monitoramento alocados na área. Sendo apresentado os pontos de sondagem (rosa e roxo), poços de monitoramento (roxo, azul e amarelo) e poços de vapor (marrom).

Congruentemente ao levantamento das áreas com potencial de contaminação, também foi realizada a caracterização do solo por meio de duas campanhas de sondagem, com profundidades variável, a sondagem mais profunda sendo realizada a aproximadamente 9,0 m de profundidade. Essa profundidade é mais que o suficiente para atingir o nível da água presente a uma profundidade de aproximadamente 4,4 m. Devido a extensão do terreno o nível da água pode variar entre quase 6,0 m de profundidade nos pontos mais profundos e 0,4 m de profundidade nos locais mais rasos.

Figura 5-3 - Posição dos poços de monitoramento de vapor e água, assim como as sondagens realizadas na área (2018)



Fonte: Consultoria C, 2018

A sondagem além de possibilitar a análise do nível da água também possibilita análises da composição, condutividade hidráulica (Fabris, 2016) e granulometria do solo, que revelam informações importantes, como composição dos horizontes (argilosos, arenosos etc.). Essas informações também são essenciais para a escolha do método de remediação pois determinam como o sistema irá interagir com o solo e seus contaminantes.

A profundidade de sondagem é importante na investigação ambiental pois permite acessar diferentes camadas do solo e da água subterrânea, possibilitando a identificação de fontes de contaminação, a distribuição dos contaminantes e a caracterização das condições hidrogeológicas da área.

O nível d'água também é fundamental para determinar a direção do fluxo subterrâneo e a interação entre as águas subterrâneas e as superficiais, influenciando a dispersão dos contaminantes e a migração da pluma de contaminação. O acompanhamento do nível ao longo do tempo também fornece informações sobre as variações sazonais e as tendências hidrogeológicas na área, tendo em vista a variação de contaminação conforme sua densidade relativa à água auxiliando na avaliação do risco e na tomada de decisões para a gestão e remediação de áreas contaminadas. Na Tabela 2 acompanhamos as características de metragens da primeira campanha de sondagem.

Tabela 2 - Informações Primeira Campanha de Sondagem realizada pela Consultoria C entre os anos de 2016 e 2017 (cont.)

Identificação	Descrição	Sondagem/ Profundidade da perfuração (maior VOC mensurado e profundidade)
APE 1	Subestação de energia elétrica	SD-39/ 2,0 m (13,1 ppmV em 0,5 m)
APE 2	Casa de máquinas	SD-40/ 2,0 m (87,9 ppmV em 1,0 m)
APE 3	Rampa de troca de óleo	SD-41/ 2,0 m (29,2 ppmV em 0,6m), SD-42/ 5,5 m (24,2 ppmV em 0,5m)
APE 4	Manchas de tintas	-
APE 5	Geradores	SD-43/ 2,0 m (65,9 ppmV em 0,5m)
APEH 1	Manutenção e tanques aéreos	SD-45/4,8 m (256,4 ppmV em 1,0 m), SD-46/ 5,5m (498 ppmV em 0,5m), SD-47/ 4,5 m (206 ppmV em 0,5 m)
APEH 2	Depósito de óleos lubrificantes e inflamáveis	SD-48/ 2,0 m (10,9 ppmV em 0,5 m), SD-49/ 6,5m (157,5 ppmV em 0,5m), SD-50/2,0 m (27,7ppmV em 0,5m)

Tabela 2 - Informações Primeira Campanha de Sondagem realizada pela Consultoria C entre os anos de 2016 e 2017 (cont.)

Identificação	Descrição	Sondagem/ Profundidade da perfuração (maior VOC mensurado e profundidade)
APEH 3	Depósito de tambores de lubrificantes	SD-51/ 2,0 m (96,1 ppmV em 0,5 m), SD-52/ 2,0 m (5,4 ppmV em 1,0 m)
APEH 4	Galpão de produção de plásticos	-
APEH 5	Depósito de matéria-prima	SD-53/ 4,5 m (79,2 ppmV em 0,2m)
APEH 6	Mato	SD-54/ 3,7 m (28,4 ppmV em 3,7 m), SD-55/ 4,5 (nível de água aflorante), SD-56/ 2,5 m (64,1 ppmV em 0,2m)
APEH 7	Galpões não identificados	SD-57/ 5,0 m (169 ppmV em 1,0 m)
-	ETE	SD-44/ 5,5 m (657 ppmV em 0,5 m)

Fonte: Consultoria C, 2018

Na Tabela 3, estão apresentados os dados da segunda campanha de sondagem ambas que estão presentes nos dados analíticos presentes no trabalho.

Tabela 3 - Informações Segunda Campanha de Sondagem realizada pela Consultoria C entre os anos de 2016 e 2017 (cont.)

Identificação	Descrição	Sondagem/ Profundidade da perfuração	Amostras coletadas
AP-01	Subestação elétrica (Antiga APE-01)	SD-76/ 3,0m; SD-76 A-I/ 2,0m	SD-76 (0,5/0,6 m PCB e 2,0/2,5m TPH -2,3ppm); SD-76 BI 1(0,4 -0,5m), 2(0,9-1,0m) e 3(1,9-2,0m); SD-76 A(1-0,9-1,0m; 2-1,9-2,0m)
AP-02	Casa de máquinas (Antiga APE-02)	-	-
AP-03	Setor de preparação de tintas (AntigaAPE-04)	SD-78/ 3,0m;	SD-78 (0,5/0,6 m Metais e 2,0/2,5m VOC, SVOC - 1,2ppm)
AP-04	Geradores (Antiga APE-05)	SD-15R/ 4,8m; SD-90/3,5m;	SD-15R (0,5/1,0m metais e 2,5/3,5 TPH -0,3ppm); SD-90 (1,5/2,0 TPH -6ppm)
AP-05	Abrigo de tambores de óleos lubrificantes e inflamáveis	SD-17B/7,6m; SD-68/11,1m; SD-86/2,5m; SD-88/3,0m;	SD-86 (1,5/2,0m TPH -1,9ppm); SD-88 (0,5/0,6m metais e 1,5/2,0 TPH -8,2ppm)
AP-06	Depósito para tambores de lubrificantes/ Setor de destilação	-	-
AP-07	Galpão produtivo principal (APEH-04)	SD-73/ 7,2m; SD-74/9,0m; SD-75/9,0m; SD-83/4,5m; SD-87/6,0m;	SD-73 (0,5/1,0 m metais e 2,5/3,5m TPH - 0,1ppm); SD-74 (0,5/0,6 m metais 1,5/2,0m TPH - 8,9ppm); SD-75 (0,5/0,6 m metais e 2,5/3,0m TPH -18,9ppm); SD-83 (0,5/1,0 m Metais e 2,5/3,5m TPH -0,4ppm); SD-87 (0,5/0,6m metais e 1,5/2,05 TPH -1,4ppm)
AP-08	Setor de controle de qualidade/ manutenção (Antiga APEH-01)	SD-84/3,5m;	SD-84 (0,5/0,6 m Metais e 2,5/3,0m TPH -4,8ppm)
AP-09	Galvanoplastia (Antiga APEH-07)	SD-57R/ 5,8m;	SD-57R (0,5/0,6m metais)

Tabela 3 - Informações Segunda Campanha de Sondagem realizada pela Consultoria C entre os anos de 2016 e 2017 (cont.)

Identificação	Descrição	Sondagem/ Profundidade da perfuração	Amostras coletadas
AP-10	ZAMAK (Antiga APEH-07)	SD-81/ 3,0m; SD-82/ 3,0m	SD-81 (0,5/0,6 m Metais e 2,0/2,5m VOC, SVOC - 2,9ppm); SD-82 (0,5/0,6 m Metais e 1,5/2,0m VOC, SVOC -4,1ppm)
AP-11	Setor de pintura (Antiga APEH-07)	SD-80/3,0m;	SD-80 (0,5/0,6 m Metais e 2,0/2,5m VOC, SVOC - 3,1ppm)
AP-12	Setor de preparação de tinta (Antiga APEH -07)	SD-71/2,8m;	SD-71 (0,5/01,0 m metais e 2,0/2,5m VOC, SVOC - 0,3ppm)
AP-13	Depósito de tambores diversos	SD-71/2,8m; SD-79/3,5m;SD-95/4,6m;	SD-71 (0,5/01,0 m metais e 2,0/2,5m VOC, SVOC - 0,3ppm); SD-79 (0,5/0,6 m Metais e 2,5/3,0m VOC, SVOC -5,8ppm)
AP-14	Depósito de tintas (Antiga APEH-07)	-	-
AP-15	Setores de manutenção/ pintura	SD-69/4,1m; SD-77/ 3,0m	SD-69 (0,5/1,0m metais e 1,5/2,0 VOC, SVOC - 0,2ppm); SD-77 (0,5/0,6 m Metais e 2,0/2,5m TPH -4,8ppm)
AP-16	Depósito de tambores de óleo e solventes clorados	SD-70/5,85m;	SD-70 (1,0/1,5 m TPH - 0,4ppm)
AP-17	Depósito de tambores de solventes	-	-
AP-18	Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETE)	SD-60/6,0 m;	SD-49R (0,5/0,6m metais e 3,0/4,0 VOC, SVOC - 10,3ppm)
AP-19	Sala de produtos químicos (ETE)	SD-58/5,8m; SD-59/5,9m	SD-58 (0,5/0,6m metais e 4,0/4,5 VOC, SVOC - 2,6ppm); SD-59 (0,5/0,6m metais e 3,0/3,5 VOC, SVOC -5,4ppm)

Tabela 3 - Informações Segunda Campanha de Sondagem realizada pela Consultoria C entre os anos de 2016 e 2017 (cont.)

Identificação	Descrição	Sondagem/ Profundidade da perfuração	Amostras coletadas
AP-20	Caixas aéreas de armazenamento de efluente industrial	SD-72/7,5m;	SD-72 (0,5/0,6 m metais e 4,0/5,0m TPH - 12,3ppm)
AP-21	Tanques aéreos de óleo diesel (APEH-01)	-	-
AP-22	Oficina de empilhadeiras (Antiga APEH-01)	SD-47R/6m; SD-67/9,5m;	SD-47R (2,0/3,0 TPH -6,8ppm)
AP-23	Área de treinamento de combate ao incêndio	SD-85/ 3,5m	SD-85 (2,5/3,0m TPH -13,3ppm)

Fonte: Consultoria D, 2018

Assim que levantadas as informações das etapas anteriores, pode-se seguir para a Investigação Detalhada, em que foram coletadas amostras das matrizes água subterrânea, solo e vapores do solo, a fim de delimitar a pluma de uma maneira mais fiel a realidade. As amostras coletadas em campo foram enviadas para análises laboratoriais, em que foram analisadas VOC, SVOC, hidrocarbonetos, cromo hexavalente, cianeto, metais e compostos organoclorados.

Lembrando que o presente estudo é com base em um projeto de consolidação, ou seja, é um projeto que passou por vários responsáveis técnicos, e sua consolidação é a junção de todos os estudos realizados no local para obtenção de mais dados pertinentes possíveis, estudos realizados de 2008 até 2019.

5.2 Elaboração do Modelo Conceitual da Área (MCA)

As SQI, podem variar muito conforme a atividade exercida, sendo assim informações sobre processos produtivos, históricos de descartes e insumos utilizados, ajudam a delimitar os SQI, nesse estudo os SQI foram escolhidos com base nas antigas documentações obtidas com a prefeitura e do órgão ambiental, dentre esses documentos obtidos estavam declaradas gerações de resíduos de banhos galvânicos, óleos de desengraxe de peças para galvanoplastia, resíduos dos processos de metalização, cabines de pintura e restos de tinta e resíduos provenientes do destilador de solventes, acondicionamento em tambores metálicos de 200 L lacrados. A Tabela 4 apresenta os valores de concentrações encontrados na matriz solo.

Tabela 4 – Concentrações máximas das SQI encontradas na matriz solo

SQI	Local	Concentração (mg/kg)
Cloreto de Vinila	PM-133	0,13
Cromo	PM-106	493
PCB	UD-13C	0,637

Fonte: Consultoria D, 2019

Durante o processo de vistoria in loco realizada em 2008, foi encontrada uma grande dificuldade, pois na vistoria não houve acompanhamento de nenhum representante da antiga fábrica e alguns galpões já se encontravam demolidos ou sem identificação, equipamentos já haviam sido retirados da área. Com isso a escolha dos SQI foi com base nas informações obtidas, foram selecionadas 5 Áreas Potenciais de Enfoque (APE) e 7 Áreas Potenciais de Enfoque Histórico. A descrição destas áreas pode ser verificada na Tabela 1.

Foram desenvolvidos modelos (Tabela 5) distintos para tratar as diversas vias de exposição, uma vez que a área apresenta características construtivas bastante distinta nas áreas

ocupadas pelo futuro empreendimento e das construções padrão, tais como refeitórios, portarias etc. Além disso, as maiores concentrações observadas na área foram utilizadas para avaliar o contato direto com a água subterrânea (ingestão e contato dérmico), enquanto as maiores concentrações presentes no Horizonte 1 (H1), próximo ao nível freático, foram utilizadas para avaliar questões relativas à inalação de vapores provenientes da água subterrânea.

Tabela 5 - Modelos Conceituais considerados especificando as vias de exposição consideradas para cada um dos modelos, o meio físico construtivo e as concentrações utilizadas

Modelo	Vias de Exposição Consideradas	Concentrações Utilizadas	Meio Físico
Modelo 1	Inalação de vapores e partículas do solo superficial	Maiores concentrações do solo superficial	Características específicas do solo local
	Ingestão de solo superficial		
	Contato dérmico com o solo superficial		
	Inalação de vapores do solo subsuperficial	Maiores concentrações do solo subsuperficial	Características específicas do solo local
	Ingestão de água subterrânea	Maiores concentrações observadas na água subterrânea	-
	Contato dérmico com a água subterrânea		-
Modelo 2	Inalação de vapores em ambientes abertos	Maiores concentrações observadas no Horizonte 1	-
	Inalação de vapores em ambiente fechados (construções padrão)		Pé direito= 250cm* Espessura das paredes e fundações: 15cm*
Modelo 3	Inalação de vapores no interior dos galpões (ambiente fechado)	Maiores concentrações observadas no Horizonte 1	Pé direito= 250cm* Espessura das paredes e fundações: 15cm*

Fonte: Consultoria D, 2019

Para gerenciamento e interpolação espacial dos dados geológicos e das concentrações dos contaminantes obtidos nas campanhas de amostragem das amostras de solos e águas subterrâneas foi utilizado software específico de modelagem geológica e geoquímica.

Para o site em específico foi utilizado o algoritmo denominado Inverso da Distância Modelo Avançado (IDMA), sendo este um dos métodos mais comuns e confiáveis de interpolação. Com esse método, o valor atribuído a um nó da grade é uma média ponderada de qualquer um dos pontos de dados ou, um número de vizinhos distribuídos de forma direcionada. O valor de cada um dos pontos de dados é ponderado de acordo com o inverso de sua distância

do nó da grade, elevado a um determinado valor de potência. Quanto maior o valor do expoente especificado, mais localizada a interpolação, ou seja, os pontos distantes terão menos influência sobre o valor atribuído a cada nó da grade.

Para esses projetos um estudo de viabilidade econômica é crucial para avaliar os custos e benefícios das medidas propostas, orientando a tomada de decisão informada e a alocação eficiente de recursos. Além disso, ajuda a reduzir riscos financeiros, atrair investidores e garantir a rentabilidade e sustentabilidade a longo prazo do projeto. Como não tivemos acesso aos valores associados a remediação, impossibilitou esta parte do trabalho.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Elaboração do Modelo Conceitual

Baseando-se nos parâmetros estabelecidos no item 5.2, na tabela presente no Anexo 1 são apresentados todos os parâmetros utilizados no desenvolvimento do Modelo Conceitual da Área (MCA), entre os parâmetros estão a identificação das áreas fontes; classificação da área como ativa ou inativa; potenciais mecanismo de liberação do contaminante; substâncias químicas de interesse relacionadas às atividades; meio impactado; vias potenciais de transporte do contaminante; vias de exposição etc.

Foram levantadas 26 áreas fontes de contaminação, segundo o Modelo Conceitual. Cada área fonte foi analisada para sua gama de substâncias químicas de interesse relevantes para os processos, de maneira geral, foram avaliadas as concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC), compostos orgânicos semivoláteis (SVOC), hidrocarbonetos, cromo hexavalente, cianeto, metais e compostos organoclorados, selecionando as substâncias com nexos causais confirmados pela análise do processo.

Assim apresenta-se a listagem dos compostos de interesse, sendo o critério de escolha todos aqueles que apresentaram valores dos resultados de análise iguais ou maiores aos dos valores de intervenção estabelecidos pela CETESB.

- Meio impactado Solo: Cis-1,2 Dicloroetano (DCE), Cloreto de Vinila, Cromo e PCB's;
- Meio Impactado Águas Subterrâneas: 1,1,2,2Tetracloroetano, 1,1Dicloroetano, 1,1Dicloroetano, 1,2,3Tricloropropano, 1,2Dicloroetano, 1,2Dicloroetano (cis e trans), 1,2Dicloropropano, Antimônio, Benzeno, Bromodiclorometano, Bário, Chumbo, Cianeto, cis1,2Dicloroetano, Cloreto de Vinila, Molibdênio, Níquel, Tetracloroetano, Tolueno, Trans1,2Dicloroetano, Tricloroetano e Trihalometanos Totais;

As concentrações máximas aceitáveis foram calculadas para Tricloroeteno e Cloreto de Vinila, visto que os cenários avaliados apresentaram riscos para essas substâncias. A Concentração Máxima Aceitável (CMA) é superior ao Valor Orientador da CETESB (2016) para ambos os casos, fazendo com que seja considerada a CMA como meta de remediação.

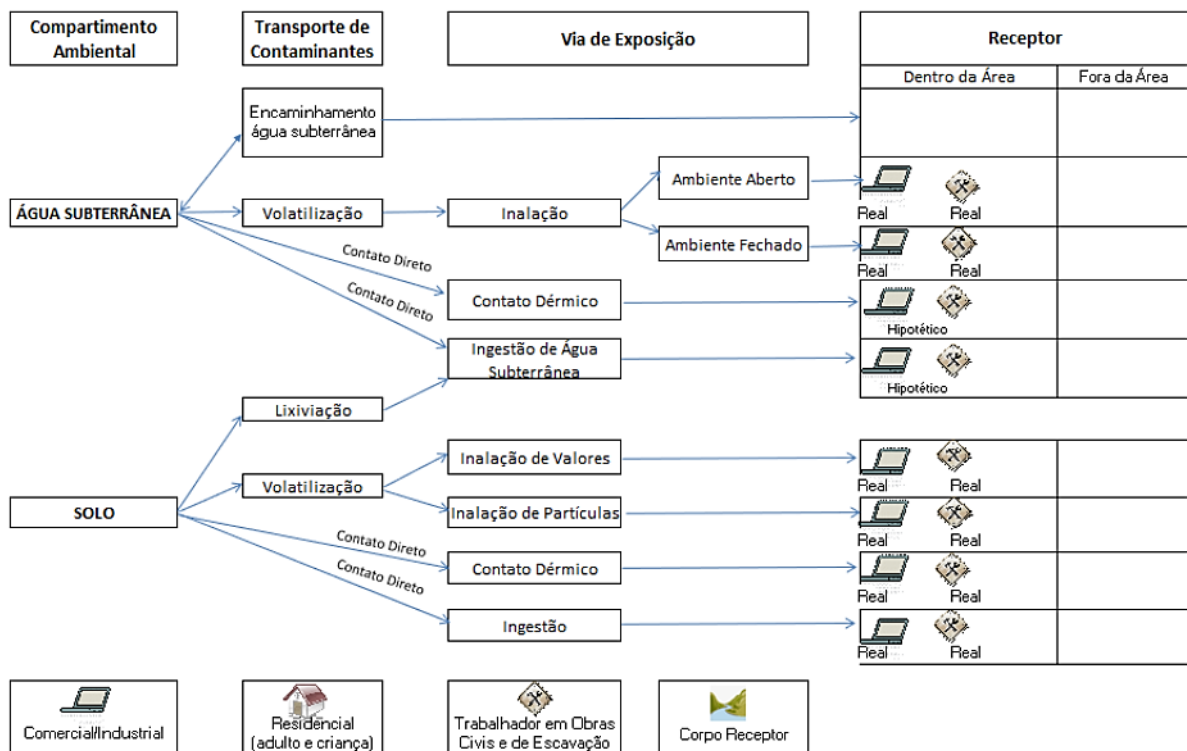
A pluma de PCB se limita à camada de aterro, enquanto a pluma de Cromo tem seu limite vertical na argila orgânica aluvionar. A pluma de cis-1,2 DCE (AF-08), por sua vez, foi detectada até a camada argilosa terciária. Por fim, a contaminação por Cloreto de Vinila em solo está presente em todas as camadas litológicas encontradas, aparentando atingir o topo rochoso.

O CV foi escolhido como tema de estudo para o presente trabalho devido a sua alta concentração na área, associado com seu risco carcinogênico, além de ser a pluma mais extensa encontrada na área (CETESB, 2022).

Embasando-se nos meios de liberação de contaminantes descritos no Modelo Conceitual, foram considerados como principais receptores os trabalhadores comerciais da área e trabalhadores em obra civis e de escavação na área.

Na Figura 6-1, está apresentado o modelo conceitual de exposição adotado neste trabalho, destacando-se as vias de exposição consideradas, os receptores e a situação (real ou hipotética) de cada via de exposição.

Figura 6-1 - Modelo Conceitual de exposição



Fonte: Consultoria D (2019).

Os resultados dessa avaliação de risco apontaram risco para ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação de Cloreto de Vinila presente no solo. Referente à contaminação em água subterrânea, foi observado o risco para inalação em ambientes abertos (Cloreto de Vinila) e fechados (Cloreto de Vinila e Tricloroeteno). Além de apresentar riscos tanto para o trabalhador comercial, quanto o trabalhador de obra civil.

Diante dos resultados obtidos na avaliação de risco pode-se recomendar maneiras que mitiguem o risco por meio de restrições das vias de exposição. Uma dessas medidas que impede o contato receptor com a contaminação é a restrição institucional de uso de água subterrânea; gerenciamento do solo gerado durante a implantação do empreendimento e adoção de medidas para garantia da saúde e segurança dos trabalhadores, como a utilização de equipamento para proteção individual (EPI).

Portanto ainda há a necessidade da escolha de uma técnica de remediação para a inalação de vapores provenientes da água subterrânea, os quais também apresentaram valores de concentração acima da CMA. A Tabela 5 apresenta os valores detectados em relação a seus valores de intervenção estabelecidos pelo órgão ambiental.

Tabela 6 – Concentração máxima e vias de exposição para o Cloreto de Vinila

Via de Exposição	Composto	Concentração Observada (mg/L)	Concentrações Máximas Aceitáveis (mg/L)	Valores de Intervenção CETESB (mg/L)
Inalação de Vapores da água Subterrânea em Ambiente Aberto	Cloreto de Vinila	11,033	5,62	0,002
Inalação de Vapores da água Subterrânea em Ambiente Fechado (Construções Padrão)	Cloreto de Vinila	11,033	0,278	0,002

Fonte: Consultoria D, 2019

Baseando-se nos resultados da concentração máxima obtida para o CV, a avaliação de risco a saúde humana ainda indica a necessidade do controle da concentração do CV na matriz água subterrânea. A análise de vapores do solo estabelece nexos causal direto com a água subterrânea.

A elaboração do modelo conceitual também apresenta incertezas intrínsecas ao processo, em especial a falta de participação de pessoas relacionadas ao processo produtivo, além de que alguns pontos já estavam em processo de demolição. Esses fatores fazem com que

surjam incertezas relacionadas a posição exatas dos equipamentos de produção e chaminés da fábrica, além da identificação de possíveis acidentes, como vazamento de insultos ou outras substâncias, além de identificação dos processos produtivos desenvolvidos na área.

6.2 Escolha de técnicas de remediação

As técnicas de remediação aplicadas neste site tiveram como base uma rigorosa análise de dados temporais no decorrer de quase uma década, observando as variações e captando dados, para se ter uma análise mais eficaz, dentre os métodos utilizados estão oxidação química, extração em duas Fases (DPE) e eletrocinese.

O processo de tratamento dos contaminantes pode ser realizado *in situ* ou *ex situ*, ou seja *in situ* refere ao tratamento no local, sem a necessidade de extrair o material para áreas externas, e *ex situ* é deslocada a matéria contaminada para tratamento em um local mais adequado trazendo a problemática de possíveis contaminações de operários em contato com a matéria contaminada, e o método também não é funcional em caso de alguns metais pesados como por exemplo cádmio e o chumbo, e o método se torna mais custoso devido ao tempo que demandado (Brito *et al.*, 2023). Assim a biorremediação mesmo sendo uma opção viável não foi escolhida devido a custos elevados de operação e menor potencial assertivo.

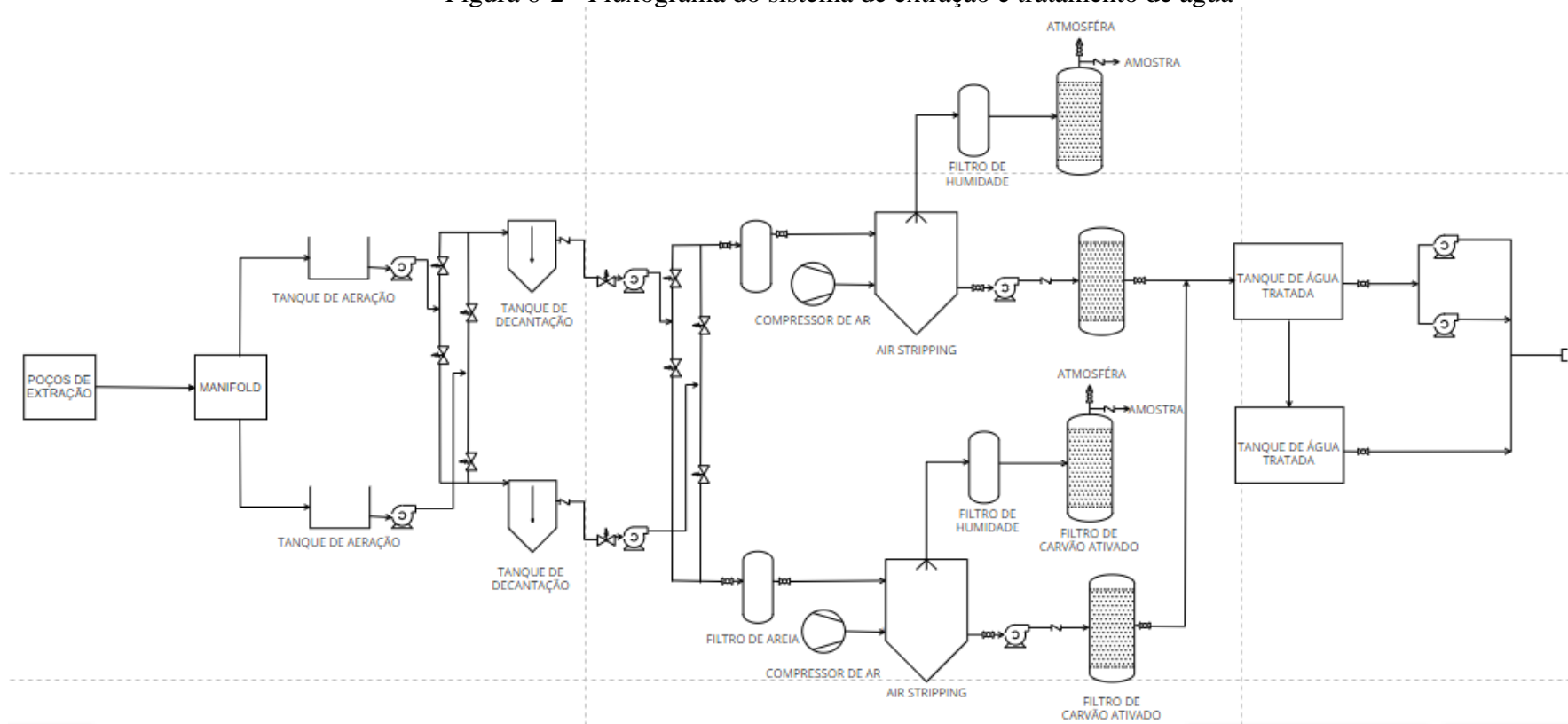
Por fim, comparando os métodos de redução de massa de contaminante apresentados e levando em consideração, primordialmente, o cloreto de vinila, as opções de remediação escolhidas foram, *in situ* para a redução da massa de contaminantes, constituída por um projeto conjugado de Sistemas DPE (atuantes nas zonas saturadas de alta permeabilidade) e Sistemas Eletrocinéticos (atuantes nas zonas saturadas de baixa permeabilidade). Enquanto pontos isolados de contaminante foram tratados por meio do processo de oxidação química utilizando-se permanganato de potássio.

A operação conjugada do sistema DPE e eletrocinético é ideal para o cenário apresentado nesse projeto. Sendo o sistema DPE o mais economicamente viável devido, devido ao seu baixo custo de operação e monitoramento do sistema, além de ser eficaz tanto no aquífero raso quanto no profundo, uma característica necessária ao se tratar de contaminantes mais densos que a água, como o cloreto de vinila. O impeditivo para a operação dessa técnica seria a camada de solo argiloso presente na camada superficial do solo na área de estudo, a presença desse solo dificulta a locomoção de água e por consequência de contaminantes dentro do solo.

A limitação de transporte causada pelo solo argiloso, por sua vez, pode ser mitigada quando o sistema é operado em conjunto com o método de remedição que se utiliza da eletrocínica. Esse problema é mitigado uma vez que a eletrocinese promove o transporte de

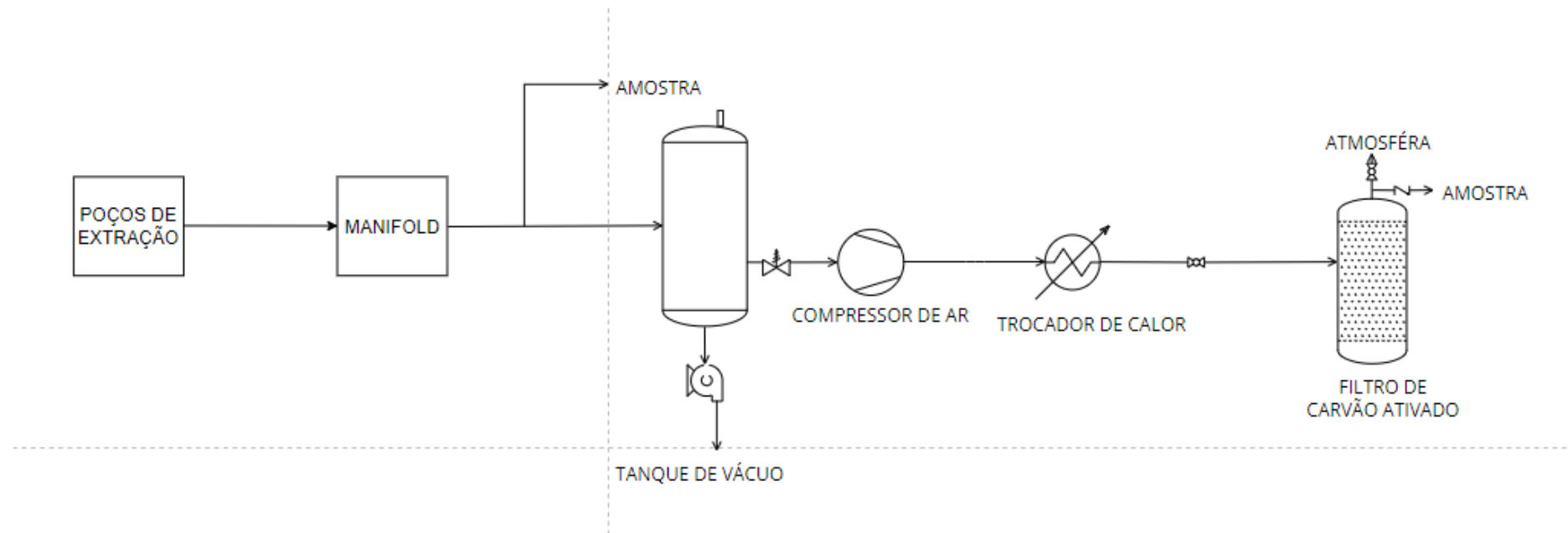
íons de contaminante dentro do solo argiloso, por meio do processo químico de oxirredução, possibilitando assim a extração e o tratamento de contaminantes pelo sistema DPE. O sistema DPE promove a extração de um líquido multifásico (líquido e gás) e primordialmente são retirados qualquer tipo de substância sólida que pode estar presente na mistura, e em seguida essa mistura é separada em fazer líquida e vapor, o líquido tem seus componentes voláteis, volatilizados. Ao final do tratamento, as correntes de produto líquido e gasoso seriam filtradas por meio de filtro de carvão ativado e finalmente, a água é reinjetada no solo da área de estudo (Figura 6-2 e Figura 6-3).

Figura 6-2 - Fluxograma do sistema de extração e tratamento de água



Fonte: Autoria própria.

Figura 6-3 - Sistema de tratamento de vapor



Fonte: Autoria própria.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação detalhada foi de suma importância para o desenvolvimento do presente trabalho, uma vez que delimitou-se as plumas de contaminação, sua distribuição no solo e na água subterrânea. Além disso determinou características do meio físico necessárias para a aplicação de qualquer fosse o método de remediação escolhido para o tratamento do CV. Nesse caso apontou a presença do solo argiloso com alto nível de compactamente, que norteou a escolha do método de remediação.

Avaliando os resultados obtidos a partir do histórico da área primeiramente, determina-se que os compostos organoclorados estão presentes no processo da fábrica, principalmente na área do antigo galpão e da estação de tratamento.

A geologia com a presença de um horizonte formado por material argiloso na área dificulta métodos de remediação física, assim como de biorremediação. Isso acontece, pois, a granulometria do solo argiloso é muito baixa, dificultando a movimentação do contaminante no solo.

Nessas condições, o funcionamento conjunto das técnicas de eletrocinese e extração de água e vapor do solo para tratamento *in situ* se mostra uma opção viável, devido ao movimento do contaminante promovida pela alternância de polos da eletrocinese e seguinte tratamento por meio de carvão ativado da água e solo. Por sua vez, pontos de contaminação isolados podem ser mitigados por meio do processo de oxidação química, não sendo economicamente viável a montagem de um sistema de extração para os mesmos.

Em outros casos, poderiam ter sido utilizados diferentes métodos que se mostram eficazes para o tratamento do CV, como a atenuação natural, caso a remediação pudesse ocorrer em um período de tempo maior, ou a remediação térmica, caso os fundos de pesquisa fossem mais significativos. Ademais é recomendado a realização de testes pilotos de laboratório para a definição mais precisa do método, no entanto, o presente trabalho não contou com a disponibilidade de recursos para tal análise.

REFERÊNCIAS

ANDRADE J. A.; JARDIM I. C. S. F. (2010) **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eq/a/sGLvvg5B6qBspNBtncd9GKq/>

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Environmental Protection Agency (EPA). **Toxicological Profile for Vinyl Chloride**; CAS#: 75-01-4, 2024, 321 p. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp20.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024.

BRAUN A. B. (2015) **Aplicação da técnica eletrocinética na remediação de areia com íons Pb utilizando eletrodos de F e aço inox** – Trabalho de Conclusão de Curso. Cerro Largo. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/616/1/BRAUN.pdf> . Acesso em: 18 fev. 2024

BRITO D. H. S.; VENTURA E. A.; SANTOS P. R. R. S.; TORRES R. D.; CARVALHO L. T. A. (2023) **Técnicas de Biorremediação e Atenuação Natural.** Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7818044/mod_resource/content/1/Noturno_Remediacao_%20Biorremediacao_Atenuacao_Natural.pdf#:~:text=A%20principal%20dificuldade%20apontada%20é,eterno%20financeiro%20para%20essas%20empresas. Acesso 18 fev. 2024

CETESB; (1999) **Amostragem de solo.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/17/2013/11/6300.pdf>. Acesso em 18 fev. 2024.

CETESB - DIVISÃO DE TOXICOLOGIA HUMANA E SAÚDE AMBIENTAL (2012) **Ficha de Informação Toxicológica: Cloreto de Vinila**; Atualizado em 2022; Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cloreto-de-vinila.pdf>; Acesso 18 fev. 2024

CUNHA A. S. (2010) **Aplicação de técnicas químicas de remediação em áreas contaminadas por compostos organoclorados.** Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-08012011-183046/pt-br.php>

CHARBENEAU Randall J. **Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport**, EPA United States environmental Protection Agency. Superfund Remedy Report - 14th Edition. EPA 542-R-13-016. 2013.

FABRIS C. M.; CARMO C. O.; LIMA J. T.; BARBOSA M. C. (2016) **Variação de parâmetros geotécnicos do solo após ensaio eletrocinético.** Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carla-Fabris/publication/309478188_Variacao_de_parametros_geotecnicos_do_solos_apos_ensaio_eletrocinetico/links/5812286f08ae1f5510c2a091/Variacao-de-parametros-geotecnicos-do-solos-apos-ensaio-eletrocinetico.pdf . Acesso 18 fev. 2024

GILBERT, M.; PATRICK, S. Chapter 13 - Poly(Vinyl Chloride) In: GILBERT, M. **Brydson's Plastics Materials** (8th Edition), Butterworth-Heinemann, 2017, Pages 329-388, ISBN 9780323358248. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35824-8.00013-X>. Acesso em: 19 fev 2024.

GLOEDEN, E.; OLIVEIRA, A. S. Seção 5 - Avaliação Preliminar. In: CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) 3. Ed. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas** [recurso eletrônico; Organizadores [e] revisores: Elton Gloeden, André Silva Oliveira, Fernando Ricardo Scolamieri Pereira. São Paulo - SP: CETESB, 2021. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao-2/>. Acesso em: 04 Mar 24. ISBN 978-65-5577-016-2.

HASSUDA, S. (2004) **Procedimento de Caracterização de Áreas Contaminadas**. Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Acesso em 18 fev. 2024.

MCCAULOU, D. R.; JEWETT, D. G.; HULING, S. G. **Ground Water Issue Nonaqueous Phase Liquids Compatibility with Materials Used in Well Construction, Sampling, and Remediation**. United States Environmental Protection Agency, 1995. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/napl.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024

MOREIRA C. A.; BRAGA A. C. O. (2009) **Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/DQNdG8fHkLtvRS4WppX7drB/?lang=pt#>. Acesso em 18 de fev. 2024

LANÇAS F. M. (2009) **A Cromatografia Líquida Moderna e a Espectrometria de Massas: Finalmente “Compatíveis”**. Disponível em: <https://www.iicweb.org/scientiachromatographica.com/files/v1n2a4.pdf>. Acesso em 18 de fev. 2024

SANTO L. S. E. (2019) **Caracterização de uma área contaminada com organoclorados**. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2019/MEA19007.pdf>. Acesso em 18 de fev. 2024

SILVEIRA L. P. M. S. (2017) **Estudo de caso: Remediação de organoclorados com a técnica eletrocinese**. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29058>

PENTEADO L. C. (2022) **Estudo de Tecnologia de tratamentos de água subterrânea e vapores provenientes da remediação de áreas contaminadas – Revisão Bibliografia**. Escola Politécnica. São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/73c3295a-4513-4b91-ae85-d166794fabd0/LaisCastilhoPenteado%20PQI22.pdf> Acesso em: 18 fev. 2024.

PUBCHEM [Internet]. Bethesda (MD): **National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information**; 2004-2024. PubChem Compound Summary for CID 6338, Vinyl Chloride. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Vinyl-Chloride>. Acesso em: 18 fev. 2024.

REI F.; RIBEIRO F. M. (2022) **Mudanças Climáticas e Confrontação: Experiências Nacionais e Internacionais**. Acesso em 18 fev. 2024

REJANE D. C. (2009) **Principais Aspectos da Ecotoxicológica do Cloreto de Vinila**. São Paulo Acesso em 18 fev. 2024

ROSSI M. (2017) **Mapa pedológico do estado de São Paulo**. São Paulo. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/> Acesso em 18 fev. 2024

SANCHEZ, L. E. (2004) **Revitalização de Áreas Contaminadas: Aspectos Técnicos, Legais e Financeiros**, São Paulo. Acesso em 18 fev. 2024.

SANTOS E.; UNGARI H. C. N.; SANTOS M. B. (2008) **Principais Técnicas de Remediação e Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos no Estado de São Paulo**. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Edson_Helio_Matilde.pdf. Acesso em 18 fev. 2024.

SCHMIDT, C. A. B. (2004) **“Aplicação de técnica eletrocínética em laboratório a dois tipos de solos argilosos”**. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 336p.

SHOUAKAR-STASH, O; FRAPE, S. K.; ARAVENA, R.; GARGINI, A.; PASINI, M.; DRIMMIE, R. J. (2009) Analysis of Compound-Specific Chlorine Stable Isotopes of Vinyl Chloride by Continuous Flow–Isotope Ratio Mass Spectrometry (FC–IRMS), **Environmental Forensics**, 10:4, 299-306, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15275920903347628>. Acesso em: 18 fev. 2024.

TOTTI P. (2015) **Comparação da eficiência das técnicas de bombeamento, TPE e DPE para remediação de áreas contaminadas por hidrocarboneto**. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/7d2d8276-9059-4f1d-a186-8f50ed676564/content> Acesso em: 18 fev. 2024.

TRINDADE J. V. O. **Avaliação das técnicas de bioaumentação e bioestimulação no processo de biorremediação de solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2002. Acesso em: 18 fev. 2024.

U.S. Army Corps of Engineers. **Engineering and Design Multi-Phase Extraction**. 1th ed. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, 1999. 286p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO); INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC) **1,3-Butadiene, Ethylene Oxide and Vinyl Halides** (Vinyl Fluoride, Vinyl Chloride and Vinyl Bromide). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Volume 97, 2008. ISBN-13 978-92-832-1297-3, 525 p., 2008. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/115>. Acesso em: 18 fev. 2024.

Anexo 1

Modelo Conceitual.

Consultoria D, 2019

ID Área	Área Fonte	Status	Substancia de potencial contaminante	SQIs	Meio Impactado e respectiva SQI	Potenciais Mecanismos Primários de	Fontes Potenciais Secundárias	Potenciais Mecanismos Secundários de	Vias Potenciais de	Vias Potenciais de exposição	Potenciais Receptor	Classificação da Área	Medidas de Intervenção
AF-01	Antigos galpões principais A e A1: almoxarifado de matéria prima e de produtos acabados, oficina, injetora, pintura, acabamento e moinhos de	Inativa	Potencial vazamento de óleos lubrificantes das máquinas. De acordo com o MCE havia uso de solventes (TCE), vernizes e tintas. Entrevistado relatou infiltração de solventes	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC	ASB:(VOC e Metais) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos	Possíveis vazamentos e infiltrações, além de emissões atmosféricas devido a chaminé	Fase retida no solo, Pluma dissolvida em água subterrânea	Volatilização pelos poros do solo, infiltração pelo solo, lixiviação, escoamento e transporte pela água subterrânea	Solo, água subterrânea e ar atmosférico	Inalação de vapores provenientes do solo superficial, ingestão de solo superficial, inalação de vapores provenientes do solo subsuperficial, ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação de compostos presentes no solo subsuperficial, inalação de vapores provenientes da água subterrânea, contato dérmico com a água subterrânea e ingestão da água subterrânea	Trabalhadores comerciais e trabalhadores da construção civil e escavação	ACI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo
AF-02	para armazenamento de solvente de plástico (DIOP), com um tanque de 80 m³ e outro de 55 m³		Possibilidade de vazamento de solvente de plástico. De acordo com o entrevistado nos solventes foi incluído Cloreto de Metileno e Tolueno	Solo e água subterrânea: VOC e SVOC. Vapor: VOC	Área pendente de complementação investigativa							AS	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo AF-03 gerado
AF-03	Antiga casa de máquinas e reservatório de água industrial. Antigas AP-02 e AP-20 (Arcadis, 2016).		Possibilidade de vazamento da água industrial que nos primeiros 15 anos foi tratada com cromato e posteriormente um anti-corrosivo desconhecido, de acordo com entrevista. Também havia a possibilidade de vazamento de óleo na casa de máquinas. Na AP-20, foi relatado que até a construção da ETE eram armazenados os efluentes dos processos produtivos no reservatório.	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, , VOC e SVOC. Vapor: VOC	ASB:(VOC) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos							ACI	
AF-04	Antiga área de balança		Possibilidade de vazamento de produtos e de aporte externo por parte da empresa localizada no limite imediato.	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC		Possíveis vazamentos e infiltrações							
AF-05	Antiga área de lavagem de veículos		Possibilidade de vazamento de óleo dos veículos e uso de detergentes e desengraxantes	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC	Nenhum meio impactado							ACI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores

AF-06	Antiga área de tratamento da água do reservatório. Antiga AP-04 (Arcadis, 2016).		Possibilidade de vazamento da água industrial que nos primeiros 15 anos foi tratada com cromato e posteriormente um anti corrosivo desconhecido, de acordo com entrevista. Também havia a possibilidade de vazamento de óleo na casa de máquinas ou dos geradores.	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC									trabalhadores
ID Área	Área Fonte	Status	Substancia de potencial contaminante	SQIs	Meio Impactado e respectiva SQI	Potenciais Mecanismos Primários de Liberação	Fontes Potenciais Secundárias	Potenciais Mecanismos Secundários de Liberação	Vias Potenciais de Transporte dos Contaminantes	Vias Potenciais de exposição	Potenciais Receptores	Classificação da Área	Medidas de Intervenção
AF-07	Antiga estação de tratamento de efluentes (ETE) no subsolo/ Laboratório no térreo. Antiga AP-18 e AP-19 (Arcadis, 2016).		Possibilidade de vazamento de efluentes proveniente de toda a área fabril, a qual possui registro de manipulação de metais, etenos clorados, anilina e compostos	subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC.	Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos)	Possíveis vazamentos e infiltrações						ACRI	água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do restrição de uso da
AF-08	Antigo galpão P1 (fabricação): cabines de pintura, estufa, esteiras, lixadeiras, tornos. Antigo galpão P2 (fabricação): ferramentaria, estamparia, oficina mecânica e elétrica, injetoras, zamak e depósito de chapas. Antiga AP-10, AP-11 e AP- 12 (Arcadis, 2016)		Local com manuseio de tintas, vernizes, zamak, óleos para lubrificação de máquinas, fornos cadinho. Presença de oficina mecânica com possível uso de desengraxantes e lubrificantes.	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC	Solo:(Cromo, Cloreto de Vinila, 1,2-DCE, Molibdênio) ASB:(VOC) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos)	Possíveis vazamentos e infiltrações, além de emissões atmosféricas devido a chaminé da área de pintura						ACRI	água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado, Implantação do sistema SVE, Remediação por tratamento
AF-09	Antiga galvanoplastia, com presença de áreas de tancagem. Antiga AP-09 (Arcadis, 2016).		De acordo com o MCE há registros de manipulação de cianeto (cobre e sódio), ácidos, desengraxantes, passivador, tricloroetileno, plastificantes, plastisol e aditivos.	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC	ASB:(VOC e Metais) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos)					Inalação de vapores provenientes do solo superficial, ingestão de solo superficial, inalação de vapores		ACI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado

AF-10	Antiga área de armazenamento de tanques de inflamáveis (Arcadis, 2016).	Inativa	Possibilidade de vazamento de óleo diesel	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC	Solo:(VOC) ASB:(VOC)	Possíveis vazamentos e infiltrações	Fase retida no solo, Pluma dissolvida em água subterrânea	Volatilização pelos poros do solo, infiltração pelo solo, lixiviação, escoamento e transporte pela água subterrânea	Solo, água subterrânea e ar atmosférico	vapores provenientes do solo subsuperficial, ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação de compostos presentes no solo subsuperficial, inalação de vapores provenientes da água subterrânea, contato dérmico com a água subterrânea e ingestão da água subterrânea	Trabalhadores comerciais e trabalhadores da construção civil e escavação	ACRI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado, Implantação do sistema SVE, Remediação por tratamento
AF-11	Área das empilhadeiras e manutenção. Antigas AP-08 e AP-22 (Arcadis, 2016).		Possível uso de óleos lubrificantes e desengraxantes, possível manipulação de metais no local	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC	ASB:(VOC)								
AF-12	Antiga área de preparação de tintas. Antiga AP-08 (Arcadis, 2016).		De acordo com o MCE há registros de manipulação de solventes, resinas, pigmentos e plastificantes. Presença de cabines de pinturas	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC	ASB:(VOC)								
AF-13	Antigo abrigo para óleo lubrificantes. Antiga AP-06 (Arcadis, 2016)		Possibilidade de vazamento de óleos lubrificantes e manipulação de metais	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC	nenhum meio impactado								
AF-14	Antiga área para armazenamento de solventes		Manuseio com possibilidade de vazamento de solventes, possível manipulação de ligas metálicas	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC									
AF-15	Antigo depósito Sansuy, para armazenamento transitório de produtos semi acabados		Possibilidade de manuseio de óleos lubrificantes, solvente e metais no local.	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC									
ID Área	Área Fonte	Status	Substancia de potencial contaminante	SQIs	Meio Impactado e respectiva SQI	Potenciais Mecanismos Primários de Liberação	Fontes Potenciais Secundárias	Potenciais Mecanismos Secundários de Liberação	Vias Potenciais de Transporte dos Contaminantes	Vias Potenciais de exposição	Potenciais Receptores	Classificação da Área	Medidas de Intervenção

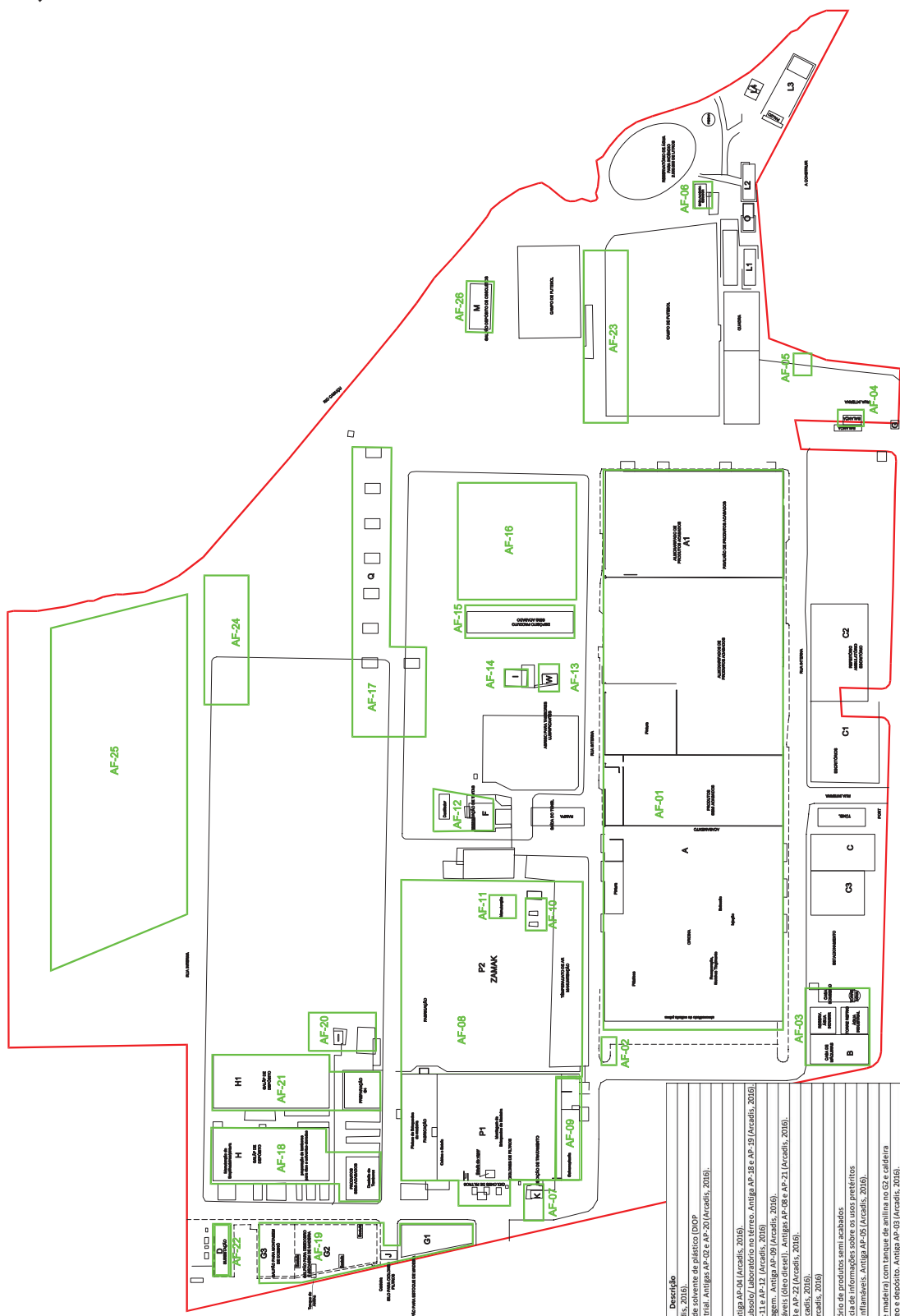
AF-16	Área ao lado do antigo depósito da Sansuy com ausência de informações sobre os usos pretéritos	Ausência de informações sobre as atividades realizadas no local. Possibilidade de manuseio de óleos lubrificantes, solvente e metais no local.	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC	Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos	Possíveis	Fase retida no solo, Pluma	Volatilização pelos poros do solo, infiltração pelo solo,	Solo, água subterrânea	Inalação de vapores provenientes do solo superficial, ingestão de solo superficial, inalação de vapores provenientes do solo subsuperficial, ingestão de água subterrânea a partir	Trabalhadores comerciais e trabalhadores		Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado	
AF-17	Antigo abrigo para tambores de óleos lubrificantes e inflamáveis. Antiga AP-05 (Arcadis, 2016).		Manuseio com possibilidade de vazamento de óleo lubrificantes e inflamáveis.	Solo e água subterrânea: lista CETESB, cianeto, VOC e SVOC. Vapor: VOC							Solo:(PCB) ASB:(VOC) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos	ACI	
AF-18	Antigo galpão H: destiladores de solventes, preparação de tintas, depósito de tambores desolventes, preparação de tambores para óleo e solventes clorados, lubrificação, manutenção de empilhadeiras. Na foto de 1968 (Arcadis, 2017) existem presença de tambores, com ausência de informações. Antigas AP-03, AP-13 a AP-17.		Manuseio e possível vazamento de solventes clorados, óleos lubrificantes e desengranxantes, tintas e vernizes.	Solo e água subterrânea: metais, cromo hexavalente, cianeto, , anilina, VOC e SVOC. Vapor: VOC							ASB:(VOC) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos	ACRi	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado, Implantação do sistema SVE, Remediação por tratamento
AF-19	Antigos galpões G1, G2 e G3 (secagem e montagem de madeira) com tanque de anilina no G2 e caldeira		Possibilidade de vazamento de óleo lubrificante das máquinas existentes no local, bem como do tanque de anilina que existia no G2. Possibilidade de vazamentos da caldeira que existia entre os galpões G2 e G1.	Solo : metais, cromo hexavalente, cianeto, VOC, SVOC, pesticidas, e anilina. Água subterrânea: metais, cromo hexavalente, VOC e SVOC. Vapor VOC							ASB:(VOC e Metais	ACI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado

		Inativa	Possibilidade manuseio e vazamento de metais, óleo lubrificante e desengraxante durante as atividades de lavagem e solvente devido a AP-03	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor: VOC	ASB:(VOC)	vazamentos e infiltrações	dissolvida em água subterrânea	lixiviação, escoamento e transporte pela água subterrânea	e ar atmosférico	da lixiviação de compostos presentes no solo subsuperficial, inalação de vapores provenientes da água subterrânea, contato dérmico com a água subterrânea e ingestão da água subterrânea	da construção civil e escavação		Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado, Implantação do sistema SVE, Remediação por tratamento						
AF-20	Antiga área de lavagem de empilhadeiras, troca de óleo e depósito. Antiga AP-03 (Arcadis, 2016).				Solo e água subterrânea: metais , VOC e SVOC. Vapor: VOC							ASB:(VOC) Vapores:(Organoclorados e Hidrocarbonetos)	ACRi						
AF-21	Antigo galpão H1: depósito e antigo galpão de preparo de tintas, com depósito de tambores de óleo. Antiga AP-14 (Arcadis, 2016)		Manuseio e possibilidade de vazamento de vernizes, tintas, solventes e óleo lubrificante.	Solo e água subterrânea: metais , VOC e SVOC. Vapor: VOC									ACI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores, Gerenciamento do solo gerado					
AF-22			Possibilidade de vazamentos de óleo dos transformadores (PCB, ascarel).	Solo e água subterrânea: SVOC, VOC e PCB. Vapor VOC.	Solo:(PCB)														
AF-23	Antiga edificação com ausência de informações, observada na foto aérea de 1968 (Arcadis, 2016)		Área com incertezas sobre o uso pretérito, possível manipulação de metais, etanos e etenos clorados	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor VOC.	nenhum meio impactado													ACI	Restrição de uso da água subterrânea, Medidas para segurança dos trabalhadores
AF-24	Antiga edificação com ausência de informações, observada na foto aérea de 1968 (Arcadis, 2016)		Área com incertezas sobre o uso pretérito, possível manipulação de metais, etanos e etenos clorados	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor VOC.															
AF-25	Área com presença de movimentação de terra na foto de 2004 com ausência de informações		Área com incertezas sobre o uso pretérito, possível manipulação de metais, etanos e etenos clorados	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor VOC															
AF-26	Antigo depósito de obsoletos		Possibilidade de manuseio e vazamentos de óleos lubrificantes e solventes.	Solo e água subterrânea: metais, VOC e SVOC. Vapor VOC.															

Anexo 2


Mapeamento – Indicação das áreas fonte.

Consultoria, 2018



Áreas fontes	Descrição
AF-01	Antigos galpões principais A e A1, Antiga AP-07 (Arcadis, 2016).
AF-02	Antiga área de tangenciação aérea para armazenamento de solvente de plástico (DOP
AF-03	Antiga área de armazenamento e reservatório de água industrial, Antiga AP-02 e AP-20 (Arcadis, 2016).
AF-04	Antiga área de lavagem de veículos
AF-05	Antiga área de tratamento da água do reservatório Antiga AP-04 (Arcadis, 2016).
AF-06	Antiga estação de tratamento de efluentes (ETE) no subterrâneo/laboratório no térreo. Antiga AP-18 e AP-19 (Arcadis, 2016).
AF-07	Antigo galpão 1, Antigo depósito 17, Antiga AP-10, AP-11 e AP-12 (Arcadis, 2016).
AF-08	Antiga área de armazenamento de tanques de inflamáveis (óleo diesel), Antiga AP-08 e AP-21 (Arcadis, 2016).
AF-09	Antiga área de armazenamento de tanques de inflamáveis (óleo diesel), Antiga AP-08 e AP-21 (Arcadis, 2016).
AF-10	Antiga área de armazenagem e manutenção, Antiga AP-08 e AP-21 (Arcadis, 2016).
AF-11	Antiga área de preparação de tiras, Antiga AP-08 (Arcadis, 2016).
AF-12	Antiga área para óleo lubrificantes, Antiga AP-09 (Arcadis, 2016).
AF-13	Antiga área para óleo lubrificantes, Antiga AP-09 (Arcadis, 2016).
AF-14	Antigo depósito Samsu, para armazenamento transitório de produtos sem acabados
AF-15	Antiga área do antigo depósito da Samsu com ausência de informações sobre seus préfitos
AF-16	Antigo galpão para bombas de óleos lubrificantes e inflamáveis, Antiga AP-05 (Arcadis, 2016).
AF-17	Antigo galpão para bombas de óleos lubrificantes e inflamáveis, Antiga AP-05 (Arcadis, 2016).
AF-18	Antiga área de lavagem de empilhadeiras, veda de óleo e depósito, Antiga AP-03 (Arcadis, 2016).
AF-19	Antiga área de lavagem de empilhadeiras, veda de óleo e depósito, Antiga AP-03 (Arcadis, 2016).
AF-20	Antigo galpão HT, Antiga AP-14 (Arcadis, 2016).
AF-21	Antiga lubrificante, Antiga AP-01 (Arcadis, 2016).
AF-22	Antiga edificação com ausência de informações, observada na foto aérea de 1968 (Arcadis, 2016)
AF-23	Antiga edificação com ausência de informações, observada na foto aérea de 1968 (Arcadis, 2016)
AF-24	Antiga com presença de moimentação de terra na foto de 2004 com ausência de informações.
AF-25	Antiga com presença de moimentação de terra na foto de 2004 com ausência de informações.
AF-26	Antigo depósito de obolitos

— Área de Interesse
AF Área Fonte

APPROVAÇÃO: Andre Hort	ORIENTAÇÃO: 5061258134/D	FIGURA: 2-Mapa das Áreas Fontes
DATA: Dezembro/2019	DESENHISTA: Alaia Souza	PROJETO: Atualização da Avaliação de Risco e Elaboração do Plano de Intervenção
		CLIENTE: CLD Empreendimentos Imobiliários SPE Ltda

AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DOCUMENTO SÃO CONFIDENCIAIS. ENTENDENDO QUE O CLIENTE, SENDO ASSIM, VISTO SUA REPOSIÇÃO E UTILIZAÇÃO PARA OUTROS FINS SERÁ A RESPONSABILIDADE DO CLIENTE FORMADOR / PÁRCEIRO.