

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

JEAN LISBOA GARCIA SILVA

**Desafios do Gerenciamento de Áreas Contaminadas: atividades potencialmente
contaminadoras de origens externas à área de estudo**

São Paulo

2024

**Desafios do Gerenciamento de Áreas Contaminadas: atividades potencialmente
contaminadoras de origens externas à área de estudo**

Versão Corrigida

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

Orientadora: Professora Carolina Afonso Pinto

São Paulo

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.

Catalogação-na-publicação

Silva, Jean Lisboa

Desafios do Gerenciamento de Áreas Contaminadas: atividades potencialmente contaminadoras de origens externas à área de estudo / J. L. Silva -- São Paulo, 2024.

32 p.

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

1. Áreas Contaminadas 2. Contaminação externa 3. Degradação Ambiental
4. Medidas de Remediação 5. Plano de Intervenção I. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso. Este é um marco significativo para mim, e não teria sido alcançado sem o apoio inestimável de algumas pessoas especiais.

À minha mãe Scheilla Lisboa nenhum agradecimento seria completo sem expressar minha profunda gratidão à mulher incrível que sempre esteve ao meu lado. Seu amor, apoio e incentivo foram fundamentais durante todo esse processo. Seu sacrifício e confiança em mim são a fonte da minha determinação.

À minha orientadora Carolina Pinto, que não apenas compartilhou sua experiência e conhecimento, mas também ofereceu orientação valiosa e inspiração ao longo deste percurso acadêmico. Sua paciência e incentivo foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

À minha esposa Victória Marques, minha companheira de vida e apoio inabalável. Seu amor, compreensão e paciência foram a luz que me guiou nos momentos mais desafiadores. Obrigado por estar ao meu lado e por ser a força que impulsionou este projeto.

Ao meu amigo Marco Aurelio, sua colaboração, insights e apoio foram inestimáveis. Trabalhar ao seu lado trouxe uma dimensão extra a este projeto, e estou grato pela nossa parceria e amizade.

A todos vocês, meu profundo agradecimento. Este trabalho não é apenas meu, mas também de todos que compartilharam suas sabedorias, paciência e amor ao longo dessa jornada.

RESUMO

LISBOA, Jean. Desafios do Gerenciamento de Áreas Contaminadas: atividades potencialmente contaminadoras de origens externas à área de estudo. 2024.32 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O gerenciamento de áreas contaminadas evoluiu no decorrer dos anos em cada etapa de estudo ambiental e nas técnicas aplicadas na mitigação dos impactos decorrentes das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas. Nesse estudo de caso é apresentado o gerenciamento ambiental em um terreno com possibilidade de origem da contaminação advir de área externa ao local de estudo. Esta área externa encontra-se à montante da área de estudo e o *hotspot*, na calçada da área do estudo de caso. A área de estudo apresentou contaminação por Tetracloroeteno (PCE) e seus compostos em fase de degradação na água subterrânea, tanto no aquífero superficial quanto no aquífero profundo. Diante dos estudos ambientais realizados, considerou-se a possibilidade de a área externa agir como uma fonte secundária de contaminação para área do estudo de caso. Assim, foram definidas as medidas de intervenção aplicáveis tecnicamente e financeiramente e apresentados os desafios de atuação com o gerenciamento da área industrial em funcionamento no imóvel objeto do presente estudo.

Palavras-chave: Áreas Contaminadas. Contaminação externa. Degradação Ambiental. Medidas de remediação. Plano de Intervenção.

ABSTRACT

LISBOA, Jean. Challenges of Contaminated Area Management: Potentially contaminating activities originating from outside the study area. 2024. 32 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

The management of contaminated areas has evolved over the years in each stage of environmental study and in the techniques applied to mitigate impacts resulting from activities potentially generating contaminated areas. This case study presents environmental management on land with the possibility of contamination originating from an area outside the study site. This external area is located upstream of the study area and the hotspot, on the sidewalk of the case study area. The study area presented contamination by Tetrachloroethene PCE and its compounds in the degradation phase in the groundwater, both in the surface aquifer and in the deep aquifer. In view of the environmental studies carried out, the possibility of the external area acting as a secondary source of contamination for the case study area was considered. Thus, the technically and financially applicable intervention measures were defined and the challenges of operating in the management of the industrial area operating in the property object of this study were presented.

Keywords: Contaminated Areas. External Contamination. Environmental Degradation. Remediation Measures. Intervention Plan.

Lista de Siglas e Abreviações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Área Contaminada
ACI	Área Contaminada sob Investigação
AEC	Área Estudo de Caso
AP	Área Potencial de Contaminação
Art.	Artigo
AS	Área Suspeita de Contaminação
Av.	Avenida
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMA	Concentrações Máximas Aceitáveis
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Esc.	Escala
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	International Organization for Standardization
LI	Licença de Instalação da CETESB
LO	Licença de Operação da CETESB
LP	Licença Prévia da CETESB
LTDA.	Sociedade Limitada
LV	Latossolos Vermelho
MCA	Modelo Conceitual da Área
NBR	Norma Brasileira da ABNT
NR	Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho
PVA	Argissolos Vermelho-Amarelos
SD	Solicitação de
SIACR	Sistema de Áreas Contaminadas e Reabilitadas da CETESB
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SQI	Substância Química de Interesse

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS	10
3.	JUSTIFICATIVA	10
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
	4.1 - LEGISLAÇÃO INCIDENTE NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS	11
	4.2 - ETAPAS DO GAC.....	11
	4.3 - MEDIDAS DE INTERVENÇÃO.....	13
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
	5.1 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR - AEC.....	16
	5.2 - INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA DE PASSIVO AMBIENTAL - AEC.....	18
	5.3 - INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL DETALHADA - AEC.....	21
	5.4 - ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE HUMANA - AEC	27
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
7.	CONCLUSÕES	30
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de áreas contaminadas em São Paulo é estabelecido com base na Lei nº 13.577/2009 e em seu Regulamento, aprovado pelo Decreto Estadual nº 59.263/2013, a Diretoria Plena da CETESB aprovou a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, a qual contém os Procedimentos para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas, para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas e as Diretrizes para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental.

Os objetivos do procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas e diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas passam por quatro etapas principais que são subsequentes e necessitam uma da outra para continuidade, Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória de Passivo Ambiental, Investigação Detalhada Ambiental e Avaliação de Risco.

De acordo com a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C (CETESB, 2017), a etapa de Avaliação Preliminar tem como objetivo caracterizar as atividades desenvolvidas e em desenvolvimento na área sob avaliação, identificar as áreas fonte e as fontes potenciais de contaminação (ou mesmo fontes primárias de contaminação) e constatar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação, embasando sua classificação como Área Suspeita de Contaminação (AS) e orientando a execução das demais etapas do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

A etapa de Investigação Confirmatória tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação na área em avaliação, por meio da investigação de todas as fontes potenciais e primárias de contaminação identificadas na etapa de Avaliação Preliminar, e como objetivo adicional a obtenção de dados iniciais necessários à caracterização do meio físico.

A etapa de Investigação Detalhada tem como objetivo caracterizar o meio físico onde se insere a Área Contaminada sob Investigação (ACI), determinar as concentrações das substâncias químicas de interesse nos diversos meios avaliados, definir tridimensionalmente os limites das plumas de contaminação, quantificar as massas das substâncias químicas de interesse, considerando as diferentes fases em que se encontram, caracterizar o transporte das substâncias químicas de interesse nas diferentes unidades hidroestratigráficas e sua evolução no tempo e caracterizar os cenários de exposição necessários à realização da etapa de Avaliação de Risco.

Os objetivos da Avaliação de Risco são caracterizar a existência de risco aos receptores identificados, expostos e potencialmente expostos às substâncias químicas de interesse presentes na Área Contaminada sob Investigação (ACI) e decidir sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

A importância do Gerenciamento de Áreas Contaminadas é possibilitar de diversas maneiras e/ou soluções para que a população, meio ambiente e local consigam conviver de forma harmonia sem que haja riscos para nenhum deles.

O presente trabalho visa apresentar um estudo de caso cujas informações da área, levaram a avaliar sobre possíveis contaminações externas ao imóvel em questão e assim, abordar o desafio de realizar o gerenciamento ambiental no local, bem como atuar em uma área industrial em pleno funcionamento.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram: apresentar um estudo de caso referente ao gerenciamento ambiental, definir as medidas de intervenção aplicáveis e apresentar os desafios de atuar com o gerenciamento da área industrial em funcionamento, considerando a possibilidade da contaminação ser de origem externa à área.

3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para realização desse estudo de caso é buscar medidas de intervenção, medidas de remediação e de engenharia para áreas que podem estar sob influência de contaminação por atividades externas, buscando também soluções com baixos custos diante das condições financeiras e da disposição física da atual empresa no local.

O estudo de caso procura contribuir com futuras áreas que iniciarão o gerenciamento ambiental e que podem sofrer influência de contaminação externa.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 - LEGISLAÇÃO INCIDENTE NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A Lei Estadual nº 13.577 vigente desde 2009 dispõe sobre as diretrizes e procedimentos para proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, enquanto o Decreto nº 59.263, vigente desde 2013, regulamente a Lei 13.577/2009.

Também no ano de 2009 foi publicada a Resolução CONAMA nº 420 que dispõe sobre os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividade antrópica (BENEDETI, A., CALLEGARI, A., RODRIGUES, M., & SERAPHIM, T. 2022)

Além da legislação mencionada, foram publicadas diversas normas técnicas e Decisões de Diretoria pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para direcionar o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), destacando-se no presente trabalho a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C (CETESB, 2017) e a norma ABNT NBR 15515-2 de 2023 referente a Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2. Investigação confirmatória (ABNT, 2023).

Marco importante para o gerenciamento de áreas contaminadas – GAC foi de fato a atualização do Manual de gerenciamento de áreas contaminadas (2020) que dispõem de procedimentos técnicos para estudos ambientais (SANTOS, 2022).

Não há atualmente nenhuma legislação ou norma que mencione o procedimento para um Gerenciamento de Áreas Contaminadas havendo uma contaminação que seja de fonte externa.

4.2 - ETAPAS DO GAC

Os procedimentos que disciplinam o GAC em São Paulo são estabelecidos pela Decisão de Diretoria da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo nº 038/2017/C (SANTOS,2022).

A avaliação preliminar apresenta a primeira etapa do GAC, de suma importância para as demais etapas (CANÁRIO, 2018) com destaque das possíveis áreas fontes, áreas potenciais e áreas suspeitas no site conforme os padrões definidos na Decisão de Diretoria mencionada.

(ressaltando que todas as etapas apresentam de forma detalhada os procedimentos a serem seguidos)

Após avaliação preliminar realizada, caso seja necessário dar continuidade à investigação na área, é elaborado um Plano de Investigação Confirmatória conforme necessidade do site (CETESB,2017)

A etapa de Investigação Confirmatória tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação na área em avaliação, por meio da investigação de todas as fontes potenciais e primárias de contaminação identificadas na etapa de Avaliação Preliminar, e como objetivo adicional a obtenção de dados iniciais necessários à caracterização do meio físico. (CETESB,2017)

Nessa etapa são realizadas sondagens para caracterização das camadas hidroestratigráficas, investigação das áreas fontes e análises laboratoriais de solo. Havendo indícios de contaminação no solo na zona saturada (VILAR, JARDIM, TANAKA, CUNHA, 2018) são realizados poços de monitoramento para verificar possível contaminação na água subterrânea. A matriz ar também é investigada, conforme CETESB, 2017, para as áreas que na Avaliação Preliminar identificar a possibilidade de compostos voláteis, deverá ser previsto um mapeamento de compostos voláteis em fase vapor.

No Estado de São Paulo, os valores orientadores, considerando a questão da proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas como atribuição legal da prevenção e controle de poluição, faz-se necessária a adoção pelas agências ambientais, com o objetivo de fornecer diretrizes e subsidiar decisões, visando também o gerenciamento de áreas contaminadas (CASARINI, 2002).

A Decisão de Diretoria nº 125/2021 (CETESB, 2021) apresenta os valores de referência de qualidade do solo e água subterrânea, assim se as análises laboratoriais apresentarem valores acima dos permitidos, definido como valores de intervenção, a investigação seguirá de forma a detalhar a contaminação elaborando a Investigação Ambiental Detalhada a fim de delimitar e quantificar a massa de contaminação identificada na área.

Em seguida é realizada a Avaliação de Risco à Saúde Humana onde o objetivo é caracterizar o risco dos receptores locais ou futuros no local para determinar a necessidade de adoção de medidas de intervenção (COSTA, 2019). Em caso de risco, deve-se apresentar um Plano de

Intervenção contendo medidas de remediação, medidas institucionais ou medidas de engenharia necessárias para a área, a ser submetido à análise pelo órgão ambiental competente.

4.3 - MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

Os objetivos do Plano de Intervenção devem ser definidos considerando a conclusão da necessidade de adoção de medidas de intervenção, obtida da etapa de avaliação de risco conforme CETESB, 2017, seguindo:

- I. Controlar as fontes de contaminação identificadas;
- II. Atingir o nível de risco aceitável aos receptores humanos e/ou ecológicos identificados;
- III. Controlar os riscos identificados com base nos padrões legais aplicáveis.

Conforme §1º do artigo 44 do Decreto Estadual nº 59.263/2013, para a elaboração do Plano de Intervenção, poderão ser admitidas medidas de remediação para tratamento e para contenção, medidas de engenharia e medidas de controle institucional, que poderão ser propostas em conjunto ou isoladamente.

A Decisão de Diretoria nº 38/2017/C (CETESB, 2017), estabelece que as medidas de remediação por contenção, de controle institucional e de controle de engenharia devem ser aplicadas nas situações em que as medidas de remediação por tratamento não se mostrem, a curto e médio prazos, suficientes para o controle dos riscos, em que sua aplicação se mostre inviável técnica e economicamente ou que sua aplicação possa intensificar o risco aos receptores ou o dano ao ambiente. Nessas situações deverá ser apresentada, no Plano de Intervenção, análise técnica, econômica e financeira para a adoção de medidas de remediação por contenção, de controle institucional e de engenharia, e a indicação do tempo de vigência de sua aplicação (§3º do artigo 44 do Decreto nº 59.263/2013).

Definidas as medidas de intervenção a serem adotadas, o Responsável Técnico deverá selecionar a técnica ou o conjunto de técnicas que comporão cada uma dessas medidas. Para tanto, deverá estabelecer critério de seleção que deverá considerar: a disponibilidade da técnica, sua aplicabilidade considerando as substâncias químicas de interesse e o meio contaminado, as consequências de sua aplicação, o custo, o histórico de utilização da técnica para casos similares e o tempo necessário para atingimento das metas de remediação conforme CETESB, 2017.

As medidas de engenharia são ações baseadas em práticas de engenharia com finalidade de cessar a exposição dos receptores ao risco. (CETESB, 2017.)

Conforme definido no Decreto nº 59.263 da Lei 13.577 do Estado de São Paulo, medidas de engenharia são ações baseadas em práticas de engenharia, com a finalidade de interromper a exposição dos receptores, atuando sobre os caminhos de migração dos contaminantes. Sendo assim, estas ações envolvem a investigação, dimensionamento, projeto, implantação, gerenciamento e monitoramento de atividades como escavação, recobrimento, encapsulamento, impermeabilização, pavimentação, controle de intrusão de vapores, instalação de equipamentos de controle, entre outras obras de engenharia, que possam ser utilizadas para minimizar a níveis aceitáveis ou extinguir a exposição de um receptor a substâncias químicas de interesse que apresentaram risco à saúde humana acima do nível aceitável, presentes em uma área contaminada (MORAES, TEIXEIRA, MAXIMIANO, 2014).

As medidas de controle institucional são técnicas que visam afastar o risco de exposição de um determinado receptor aos contaminantes presentes na área, impondo restrições de uso e consumo como:

- restrição do acesso prevenindo o contato direto;
- restrição ao uso de água subterrânea;
- restrição do uso da área para agricultura;
- medidas de combate ao risco de explosão e incêndio (por exemplo, instalação de detectores ou dispositivos de ventilação);
- interdição ou isolamento em caso de perigo de queda ou deslizamento (por exemplo, cercado); e
- cobertura provisória para evitar a infiltração da água. (MORAES, TEIXEIRA, MAXIMIANO, 2014).

As medidas de remediação são um conjunto de técnicas aplicadas nas áreas contaminadas com intuito de remover ou reduzir a massa de contaminante no site. As tecnologias de remediação são aplicadas conforme necessário abordando o meio a ser tratado e o local, entre elas estão:

- Fitorremediação – utiliza-se a vegetação para tratamento;
- Biorreatores – a água subterrânea é bombeada e colocada em contato com microrganismos reatores;

- Fraturamento pneumático – O ar pressurizado é injetado para desenvolver rachadura em solos de baixa permeabilidade;
- Lavagem do solo – É realizada a injeção ou infiltração contendo aditivo em zona saturada contaminada e posteriormente extração para tratamento;
- Extração de vapores do solo – Sistema de extração de vapores do solo;
- Solidificação – São induzidas reações químicas para reduzir a mobilidade do contaminante;
- Redução ou oxidação química – contaminantes são convertidos quimicamente para elementos menos tóxicos;
- Dessorção térmica – Solo aquecido para volatilizar a água e contaminantes orgânicos que são coletados por sistema e tratados;
- Escavação e disposição – solo contaminado é removido e tratado off-site;
- Atenuação natural – processos naturais capazes de reduzir as concentrações dos contaminantes para níveis aceitáveis; (MORAES, TEIXEIRA, MAXIMIANO, 2014).
- Barreira Hidráulica – poços de bombeamento que impedem o avanço da pluma de contaminação; (MARTINS, 2022)
- Barreira permeável reativa – tratamento de contaminantes enquanto a pluma de contaminação percola através do reator;

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo de caso foram obtidas informações referentes à uma área industrial (que encontra-se na etapa de Investigação Ambiental Detalhada e Análise de Risco à Saúde Humana do Gerenciamento de Áreas Contaminadas) que atualmente atua no ramo de injeção de peças plásticas (desde 2014) e anteriormente (desde 1969), atuava no tratamento térmico de peças metálicas.

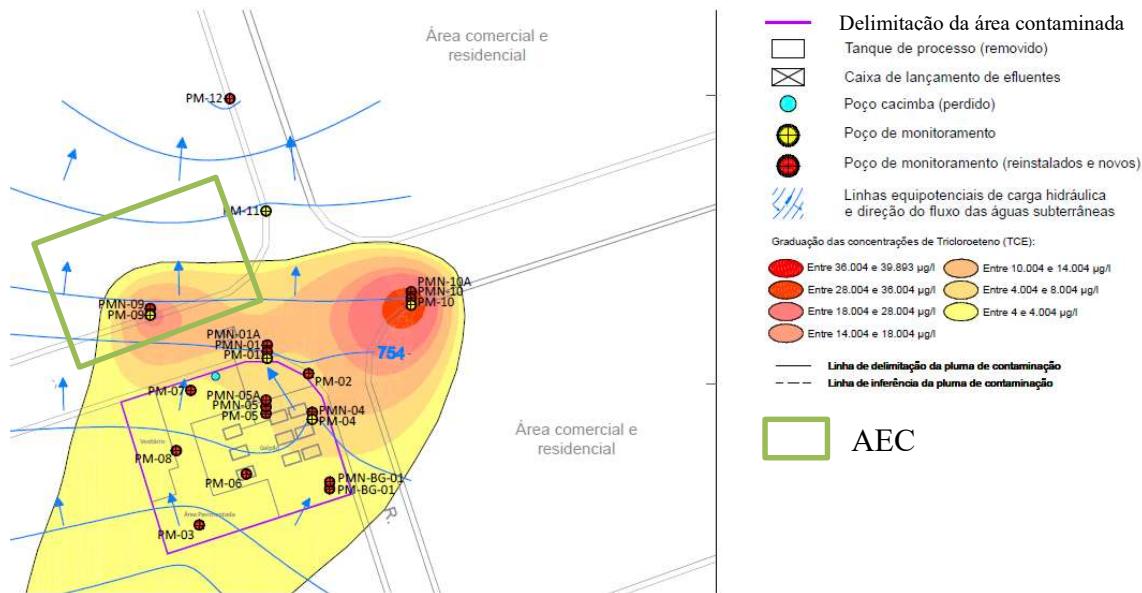
Para melhor entendimento a área que é alvo desse estudo de caso será representada pela sigla AEC – Área do Estudo de Caso.

5.1 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR - AEC

Em janeiro de 2023 foi realizada a Avaliação Ambiental Preliminar na qual constatou-se a presença de uma área contaminada a montante, há 20 metros da AEC, no seu entorno , a jusante, foi verificado a existência de um córrego a 100 metros de distância.

A área contaminada (AC), que se encontra no entorno, está em Processo de Monitoramento para Encerramento, conforme informações retiradas do Estudo de Avaliação Ambiental Preliminar da AEC consta que o terreno está contaminado por metais e eteno clorados. Em consulta aos estudos ambientais da AC, disponibilizados publicamente na CETESB por meio de processo administrativo, ocorrido em 27 de janeiro de 2023, foi verificado que os *hotspots*, região dentro da pluma de contaminação onde ocorrem as maiores concentrações das Substâncias Químicas de Interesse (SQI), da pluma de TCE está na calçada da AEC e o fluxo da água subterrânea está sentido AEC, a figura 01 a seguir podemos observar a posição da AC (delimitada em roxo), a AEC delimitado com verde, o fluxo da água subterrânea local, bem como onde estão os *hotspots* mencionados na calçada (PM09 e PMN09).

Figura 01 – Croqui da Área Contaminada a Montante da AEC com a representação do sentido do fluxo preferencial da água subterrânea e hotspots



Fonte: Relatório de Investigação Detalhada e Avaliação de Risco (nov/2022) – Área Contaminada – Adaptação.

Os produtos químicos, da área do estudo de caso, utilizados pela antiga empresa eram sais como cloreto de sódio, cianeto de sódio, carbonato de sódio, cloreto de potássio e cloreto de bário. Atualmente, a empresa de injeção plástica apresenta apenas algumas máquinas injetoras que utilizam como matéria prima o polímero, mas apresentam óleo para o funcionamento das mesmas.

Assim na Avaliação Preliminar foram identificadas 04 áreas fontes:

AF01: Tratamento Térmico Peças

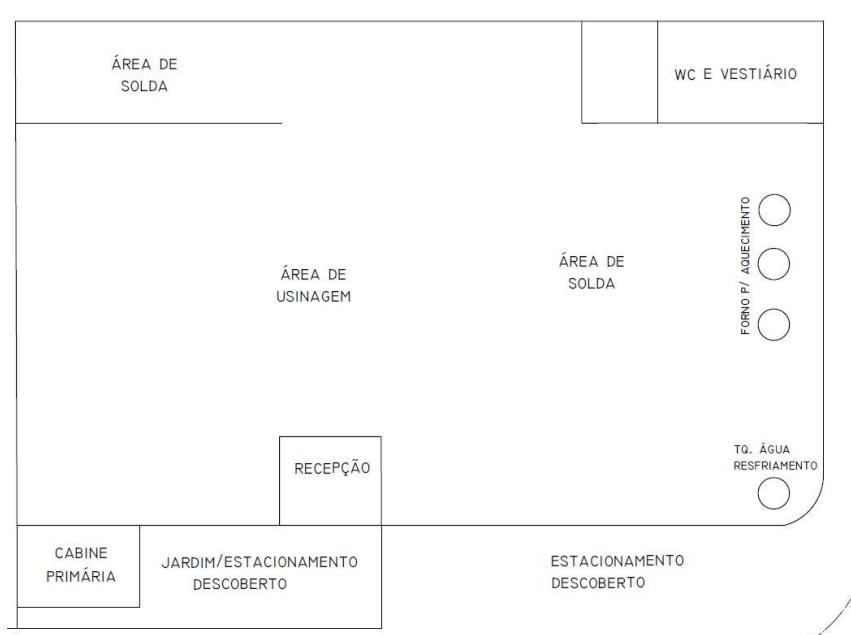
AF02: Usinagem (antiga empresa) / Injetoras (empresa atual)

AF03: Cabine Primária;

AF04: Fonte externa de contaminação;

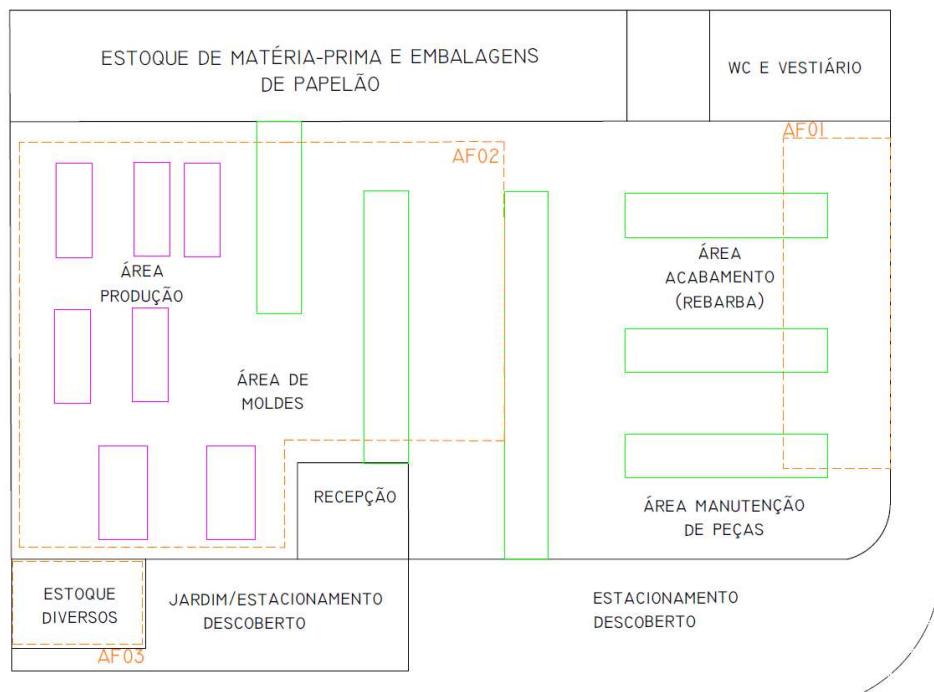
A figura 02 a seguir mostra a AEC com antigo layout (1969), bem como a figura 3 onde mostra as áreas fontes de contaminação definidas.

Figura 02 – Croqui da AEC – Layout de 1969



Fonte: Relatório de Avaliação Preliminar Ambiental – AEC (jan/23)

Figura 03 – Croqui atual da AEC com a delimitação das áreas fontes de contaminação identificadas



Fonte: Relatório de Avaliação Preliminar Ambiental – AEC (jan/23)

O modelo conceitual foi classificado com MCA-1A, no qual se aplica à situação em que foi possível identificar todas as áreas fonte existentes (atuais e pretéritas) e obter dados e informações adequadas e completas para cada uma delas, permitindo a elaboração de um Modelo Conceitual que possibilita identificá-las e localizá-las, e nelas localizar: as fontes potenciais de contaminação (ou até mesmo fontes primárias de contaminação); as substâncias químicas de interesse associadas a cada uma dessas fontes; as características dos materiais presentes em subsuperfície (aterro, solo, sedimento, rocha); o uso e ocupação do solo na região onde a área se insere, conforme definido em CETESB, 20217.

Foi elaborado um plano de investigação para continuidade dos estudos e recomendação da Investigação Confirmatória de Passivo Ambiental.

5.2 - INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA DE PASSIVO AMBIENTAL - AEC

Na Investigação Confirmatória foram realizadas 05 sondagens com amostragem de solo e instalação de 05 poços de monitoramento, conforme NBR 15.495 (ABNT, 2007), nas áreas fontes identificadas na Avaliação Preliminar, foram realizadas análises de VOC, SVOC, TPH Total, Metais, Cianeto e PCBs, todas SQIs relacionadas nas atividades anteriores. Os poços

foram instalados na camada hidroestratigráfica de argila siltosa, o aquífero raso apresenta nível d'água com média de 1,92 metros.

O perfil geológico-geotécnico encontrado nas sondagens realizadas é composto majoritariamente por uma camada de concreto, seguida por uma camada de silte e após uma camada de argila siltosa;

A hidrogeologia local consiste em um aquífero de caráter livre com nível de carga hidráulica variando entre 98,32 (PM05) e 97,16 (PM01) metros, com as respectivas cotas topográficas niveladas e com sentido de fluxo subterrâneo decomposto preferencialmente no sentido nordeste com velocidade de 62,07 m/ano;

Os resultados foram analisados e comparados com os valores de intervenção estabelecidos pela CETESB através da Decisão de Diretoria CETESB 125/2021/E, de 09/12/2021, as amostras de solo amostradas e analisadas apresentaram contaminação pontual de Cloreto de Vinila. A amostra de solo contaminada foi retirada a 2,50 metros na zona saturada (onde as pressões da água subterrânea são maiores do que as atmosféricas e os poros estão todos ocupados com água).

A contaminação verificada em solo para Cloreto de Vinila foi a 2,50 metros de profundidade em zona saturada da camada de argila siltosa sendo possível considerar que a contaminação da água subterrânea tenha sido adsorvida pela camada de argila siltosa verificada nessa profundidade.

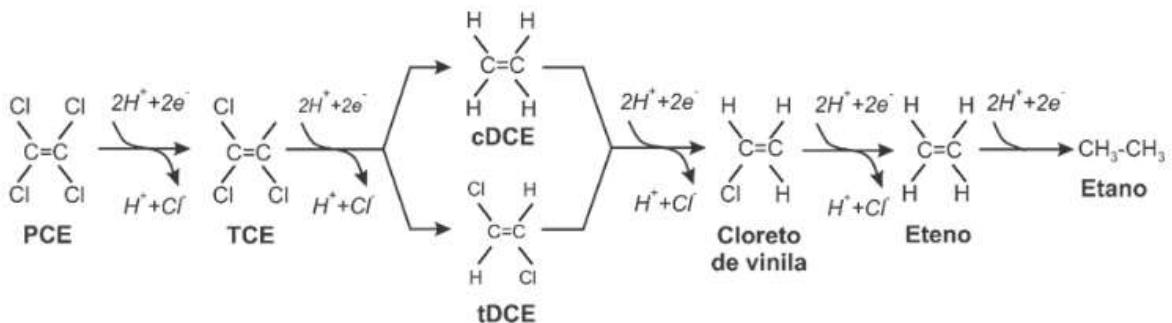
Para as análises das amostras de água subterrânea, os parâmetros que apresentaram valores acima dos valores de intervenção para VOC foram: Cloreto de Vinila (CV), 1,2 Dicloroeteno e Tricloroetileno (TCE). Ressaltando que tais compostos não estão inclusos nas SQIs identificadas para área do estudo de caso.

Foi realizada também a amostragem de vapores no contrapiso uma vez que as plumas de contaminação externas estavam migrando para área do estudo de caso e foi verificado que não há vapores emanando do piso local.

As plumas não foram delimitadas nem verticalmente nem horizontalmente, e serão delimitadas no estudo de investigação ambiental detalhada.

A teoria de degradação do PCE é demonstrada conforme figura 4 a seguir.

Figura 04 – Degradação PCE



Fonte: Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas – CETESB (Seção 1.5 – item 5.2)

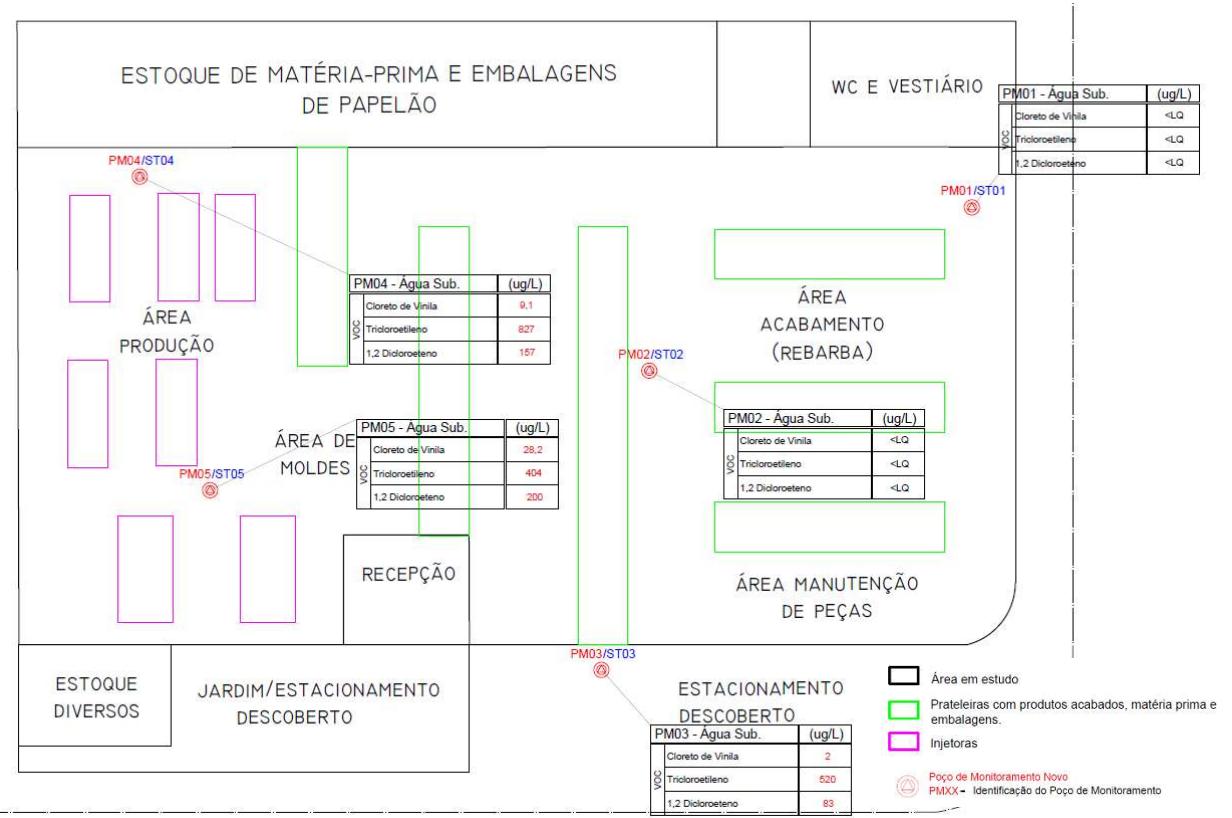
Outro ponto observado foi as concentrações de Tricloretíleno (conforme figura 1), pois as concentrações detectadas na amostragem da água subterrânea nos poços de monitoramento da AC estavam entre 18.000 e 28.000 µg/L, enquanto na AEC a concentração máxima constatada foi 827 µg/L.

A presença de cloreto de vinila e de 1,2 Dicloroeteno corrobora com a teoria de degradação do PCE (que foi identificado apenas na AC), apresentando na AEC uma degradação do referido composto em estágio mais avançado.

Assim, concluiu-se nessa etapa de investigação ambiental que a contaminação existente na AEC corrobora com as plumas de contaminação verificadas na AC do entorno, apresentando compostos de degradação do PCE.

Na figura 5 podemos observar as concentrações de TCE na água subterrânea.

Figura 5 – Mapa da concentração de contaminantes – Água Subterrânea



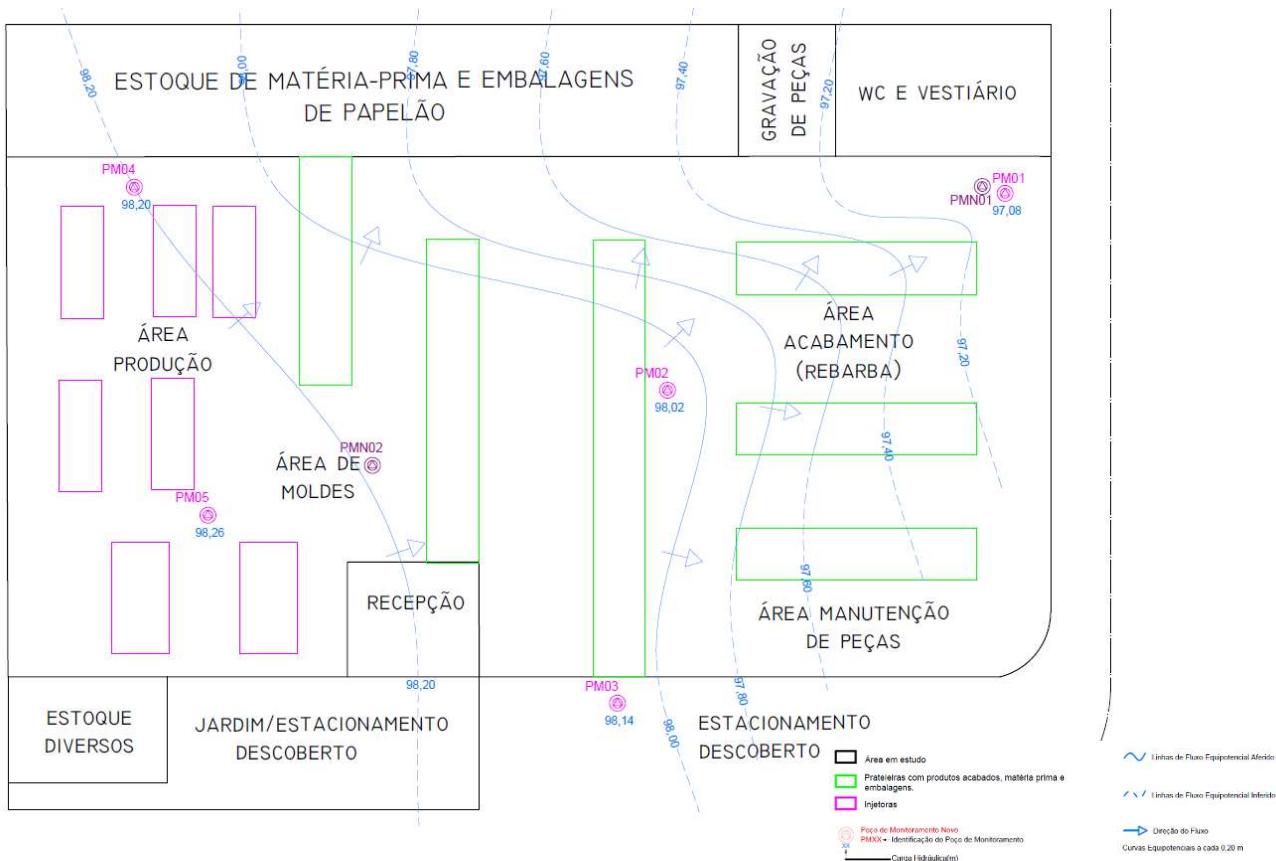
Fonte: Relatório de Investigação Confirmatória de Passivo Ambiental – AEC (jan/23)

E assim, foi recomendada a realização de Investigação Detalhada Ambiental e Análise de Risco à Saúde Humana, com instalação de poços multinível para verificar possível migração para camadas mais profundas (um poço multinível na região da pluma de TCE verificada e no outro no fluxo da água subterrânea PM01), uma vez que os compostos identificados, Cloreto de Vinila, 1,2 Dicloroeteno e Tricloroetileno, são mais densos que a água.

5.3 - INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL DETALHADA - AEC

Na Investigação Detalhada foram realizadas 02 sondagens com instalação de poço de monitoramento multinível (PMN01 e PMN02) para amostragem de água subterrânea, instalados na camada de fluxo preferencial (areia) e submetidas apenas a análise de VOC (SQI definida na Investigação Confirmatória), conforme representadas na figura 6 a seguir, mostrando também o fluxo da água subterrânea do aquífero raso.

Figura 06 – Mapa Potenciométrico – Aquífero Raso



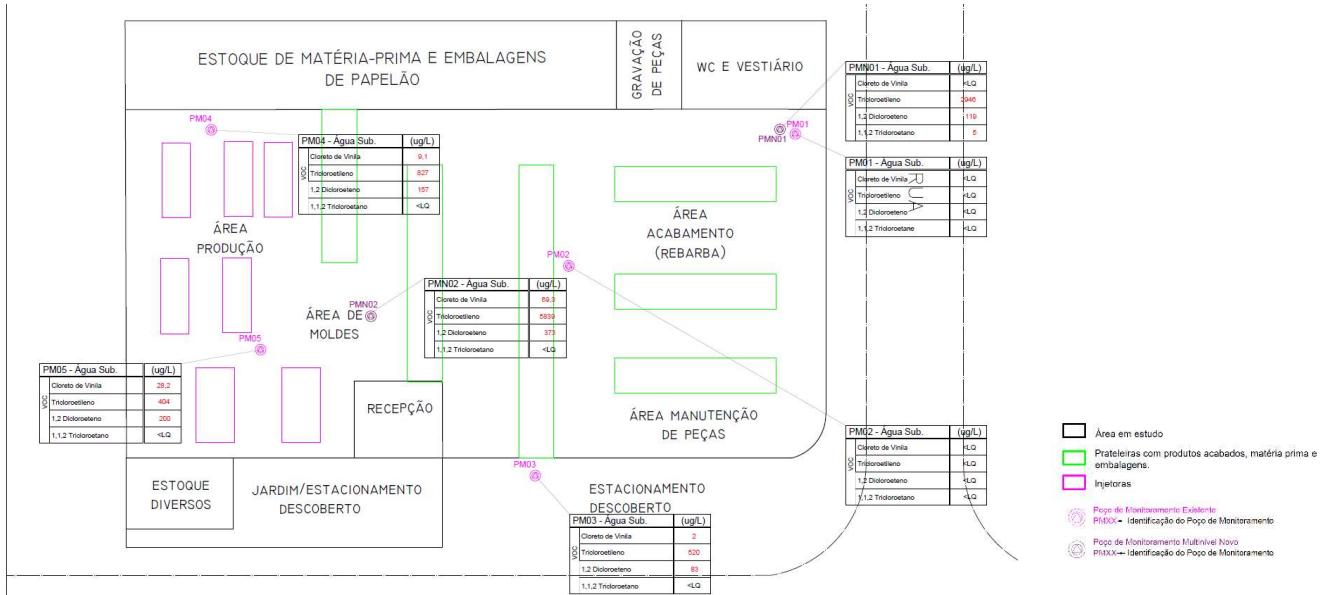
Fonte: Relatório de Investigação Detalhada – AEC (jul/23)

Os poços multiníveis foram instalados em uma camada abaixo do aquífero superficial, denominado aquífero intermediário. Os poços apresentaram carga hidráulica variando entre 97,96 (PMN02) e 96,75 (PMN01) metros, com as respectivas cotas topográficas niveladas e com sentido de fluxo subterrâneo decomposto preferencialmente no sentido nordeste.

Com base nos poços multiníveis instalados verificou-se que o fluxo vertical da água subterrânea é descendente. Bem como o fluxo da água subterrânea está em direção ao córrego com velocidade 64,78 m/ano.

Nos resultados das análises das amostras de água subterrânea nesta etapa de investigação, foi verificada a contaminação por Cloreto de Vinila, 1,2 Dicloroeteno, Tricloroetileno e 1,1,2 Tricloroetano conforme figura 7 abaixo.

Figura 7 - Mapa da concentração de contaminantes – Água Subterrânea

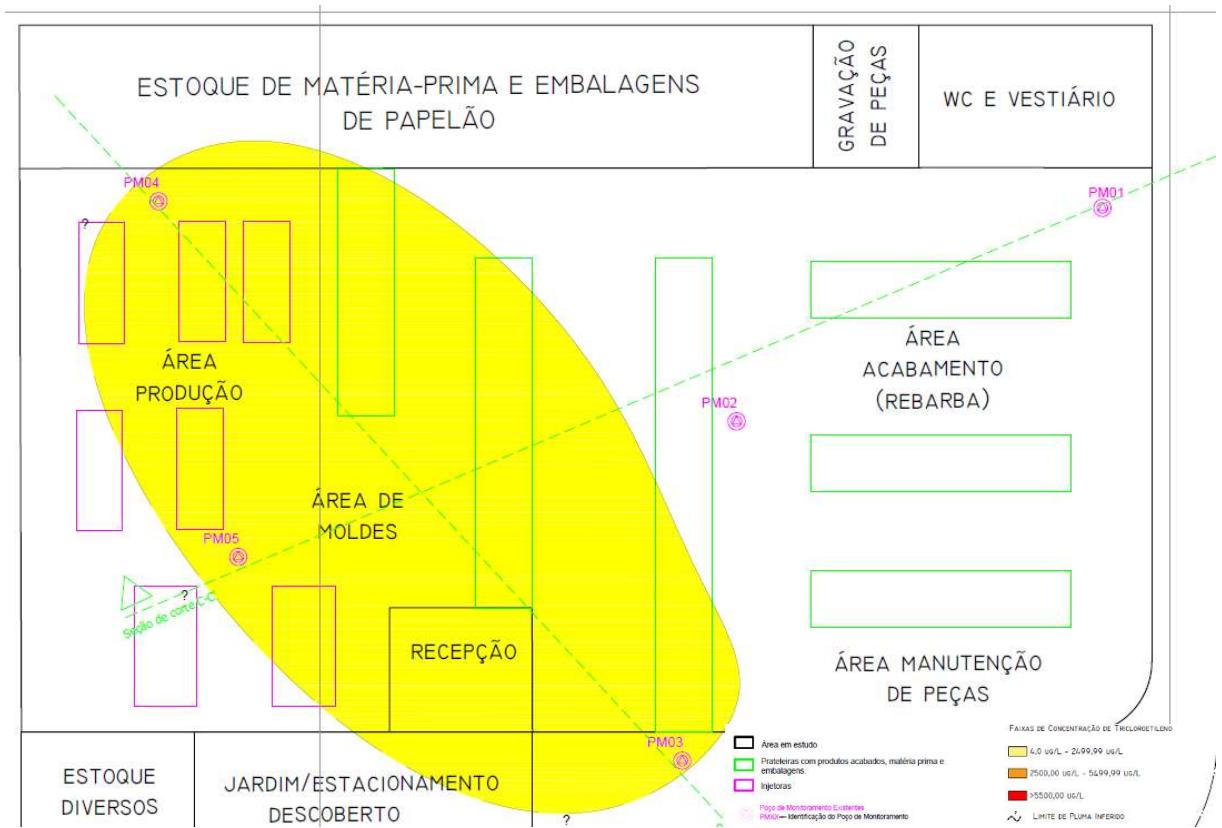


Fonte: Relatório de Investigação Detalhada – AEC (jul/23)

Ressalta-se que a contaminação existente na área corrobora com as plumas de contaminação verificadas na AC, apresentando compostos de degradação do PCE em camada mais profundas.

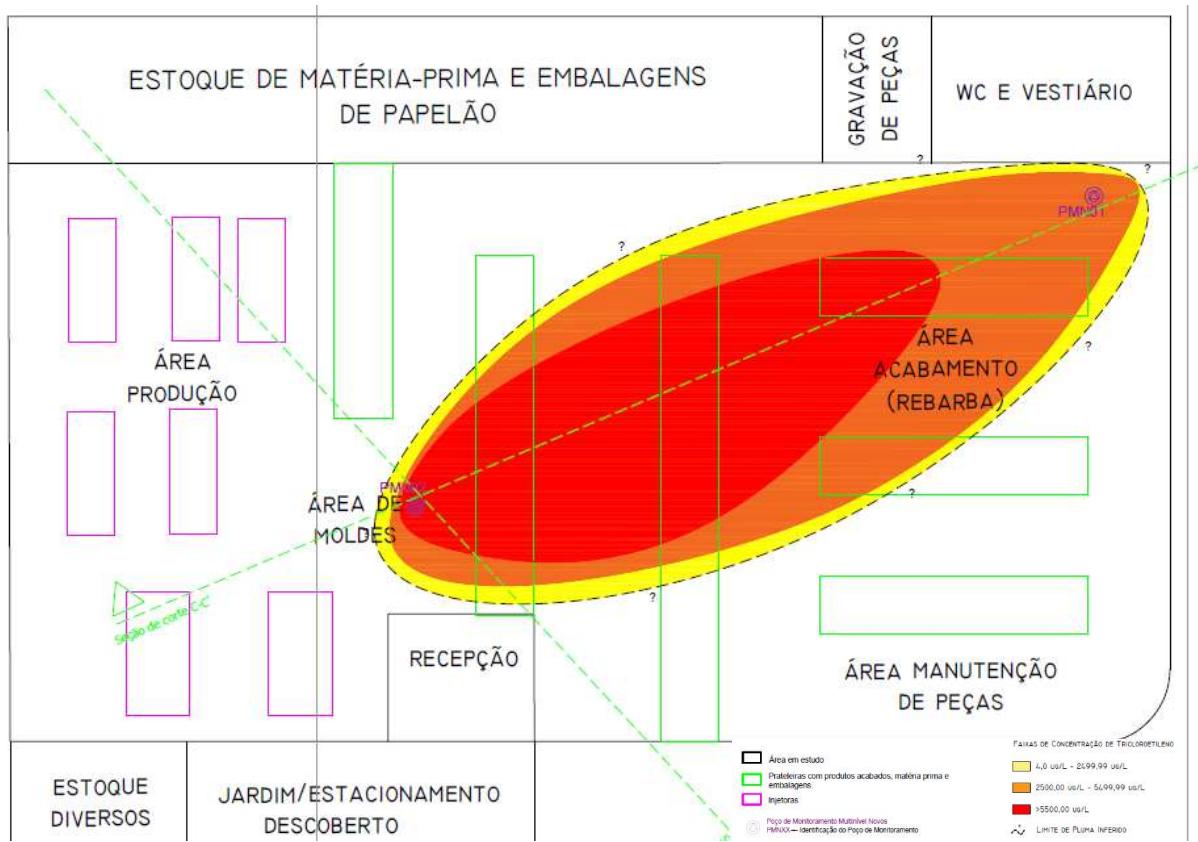
As plumas de contaminação não foram delimitadas horizontalmente e verticalmente, uma vez que como verificou-se que a contaminação identificada está sendo alimentada por uma fonte externa não seria possível a delimitação horizontal, bem como acontece nas plumas em camadas mais profundas sendo identificadas concentrações ainda maiores que no aquífero raso, assim primeiramente a fonte de contaminação externa precisará ser cessada. A figura 8 e 9 a seguir mostram a pluma de TCE em isoconcentração.

Figura 8 – Pluma de Isoconcentração – Aquífero raso - Água Subterrânea - TCE



Fonte: Relatório de Investigação Detalhada – AEC (jul/23)

Figura 9 – Pluma de Isoconcentração – Aquífero intermediário – Água Subterrânea - TCE



Fonte: Relatório de Investigação Detalhada – AEC (jul/23)

Outro ponto observado, novamente, são as concentrações de Tricloretileno, pois as concentrações detectadas na amostragem da água subterrânea em um dos poços de monitoramento da AC estavam entre 18.000 e 28.000µg/L, enquanto na AEC a concentração máxima constatada foi 5.839 µg/L (nos poços multiníveis).

A presença de cloreto de vinila e de 1,2 Dicloroeteno corrobora com a teoria de degradação do PCE, apresentando na área uma degradação do referido composto em estágio mais avançado.

O modelo conceitual 3 foi elaborado e pode ser observado na tabela 1 a seguir.

TABELA 1 – Modelo Conceitual Atualizado – MCA3

Área Fonte		Status da Atividade	Mecanismo de liberação de contaminação	Vias de transporte de contaminante	Bens a proteger	Receptores Potenciais	Contaminantes de Interesse	Situação
AF01	Antigo Tratamento Térmico de Peças	Inativa	Derramamento, infiltração, vazamento e percolação	Solo e água subterrânea.	Solo e Água subterrânea	Trabalhadores locais e vizinhos e Residentes vizinhos	-	Livre de Contaminação
AF02	Antiga Usinagem	Inativa	Derramamento, infiltração, vazamento e percolação	Solo e água subterrânea.	Solo e Água subterrânea	Trabalhadores locais e vizinhos e Residentes vizinhos	-	Livre de Contaminação
AF02	Produção	Ativa	Derramamento, infiltração, vazamento e percolação	Solo e água subterrânea.	Solo e Água subterrânea	Trabalhadores locais e vizinhos e Residentes vizinhos	-	Livre de Contaminação
AF03	Antiga Cabine Primária	Inativa	Derramamento, vazamento e percolação	Solo e água subterrânea.	Solo e Água subterrânea	Trabalhadores locais e vizinhos e Residentes vizinhos	-	Livre de Contaminação
AC04	Externa	Inativa	Percolação e lixiviação	Água Subterrânea	Solo e Água subterrânea	Trabalhadores locais e vizinhos e Residentes vizinhos	Cloreto de Vinila, Tricloroetileno, 1,2 Dicloroeteno, 1,1,2 Tricloroetano (água subterrânea)	Contaminada

Fonte: Relatório de Investigação Detalhada – AEC (jul/23)

5.4 - ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE HUMANA - AEC

Para análise de risco à saúde humana foram utilizadas as planilhas de análise de risco disponibilizadas pela CETESB que possibilitaram a quantificação dos riscos para substâncias não carcinogênicas e carcinogênicas, individual e cumulativo, considerando os cenários de exposição e substâncias químicas selecionadas pelo usuário, bem como o cálculo das CMAs (Concentrações Máximas Aceitáveis) para essas substâncias.

De forma a considerar o pior caso e de forma conservadora, utilizou-se a maior concentração (*hotspot*) encontrada na água subterrânea para cada SQIs.

As propriedades físico-químicas da água subterrânea foram obtidas através dos parâmetros medidos na baixa vazão, pelos testes de permeabilidade e por análises laboratoriais retiradas das amostras de solo

Conforme resultados obtidos na análise de risco à saúde humana, foi identificado risco real para o receptor Trabalhador Comercial e Industrial para inalação de vapores em ambientes fechados no ponto de exposição para o composto tricloroetileno. Além disso, foi identificado risco real para o receptor Residencial Urbano – Adulto e Criança para inalação de vapores em ambientes fechados fora do ponto de exposição - 25 metros - para o composto tricloroetileno.

O risco real a saúde humana verificado para o receptor local (comercial e industrial) não se completa uma vez que foram realizadas análises de TO-15 para intrusão de vapores e não foram verificados vapores emanando pelo piso da área em estudo.

6. Resultados e discussão

Dante dos estudos apresentados, foi elaborado o Plano de intervenção para AEC

No Plano de intervenção foram recomendadas medidas de controle institucionais, de engenharia e de remediação com o objetivo de eliminar e atenuar riscos à saúde; cujos resultados de remediação serão devidamente monitorados para garantir sua eficiência.

Essas medidas de intervenção foram classificadas em: MR (medida de remediação), MCI (medida de controle institucional) ou MCE (medida de controle de engenharia):

MCI: Restrição na captação e no consumo de água subterrânea para que os riscos hipotéticos de consumo e contato dérmico de água subterrânea não se tornem reais;

MCE:

Realização de monitoramentos trimestrais de intrusão de vapores a fim de verificar se o risco real de inalação de vapores em ambientes fechados para tricloroetileno não está se completando e migrando pelo contrapiso, uma vez que em todas as análises realizadas não foram identificados vapores no contrapiso local. As campanhas deveriam ser realizadas enquanto a remediação da AC não se iniciasse;

Em paralelo após a remediação da AC, realização de monitoramentos semestrais de água subterrânea na AEC, por 4 semestres em ciclos hidrológicos diferentes, para o acompanhamento do comportamento dos contaminantes verificados na área em estudo.

Todos os poços de monitoramento deveriam permanecer em condições para amostragem;

MR

A contaminação verificada na área, possivelmente, é proveniente da área contaminada, e essa contaminação pode estar migrando para camadas mais profundas pela característica dos contaminantes e pela geologia local.

Assim foi recomendado que a remediação a ser realizada na área contaminada também se estenda e englobe os receptores afetados. E a AEC deverá ser monitorada, uma vez que não há risco iminente para os receptores locais (devido a intrusão de vapores já realizada).

AAEC foi classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi), devido à presença VOC acima dos valores de intervenção estabelecidos para a matriz água subterrânea e risco à saúde humana para o receptor comercial/industrial e residencial urbano.

A AC pode agir como uma fonte secundária de contaminação para área do estudo de caso. Além disso, o *hotspot* da AC encontra-se na calçada da área do estudo de caso.

A restrição do uso da água subterrânea foi recomendada para que o risco de contato ou ingestão da água subterrânea não se torne real.

As amostragens de vapores abaixo do piso foram recomendadas, para verificar se os receptores locais apresentam risco de inalação de vapores, tais medidas serão paliativas até que

a área contaminada inicie as remediações. Quanto à contaminação externa espera-se que a área seja remediada em curto prazo para que a área de estudo de caso e suas imediações possam ser monitoradas e verificadas os níveis de risco à saúde humana para posteriormente ser reabilitada.

Caso ocorresse a remediação da área de estudo poder-se-ia considerar a contenção da pluma externa com barreira hidráulica, que são poços de bombeamento que impedem o avanço da pluma de contaminação (MARTINS, 2022) para que não haja mais influência. Tal medida seria de extrema importância e não haveria imposições quanto ao local de instalação da barreira hidráulica por se tratar de uma área externa ao galpão industrial.

No segundo momento realizar a remediação do local com sistema de tratamento in situ com oxidação química, onde os contaminantes são convertidos quimicamente para elementos menos tóxicos ou biorremediação, onde são injetados microorganismos que degradam os contaminantes, porém para ambas as técnicas teriam que ser aplicados ensaios de tratabilidade para verificar a melhor técnica (equilibrando na eficiência e eficácia de cada) bem como o espaço físico para instalação dos poços de injeção.

Conforme a Decisão de Diretoria nº 38/2017/C (CETESB, 2017), que estabelece que as medidas de remediação por contenção, de controle institucional e de controle de engenharia devem ser aplicadas nas situações em que as medidas de remediação por tratamento não se mostrem, a curto e médio prazos, suficientes para o controle dos riscos, em que sua aplicação se mostre inviável técnica e economicamente ou que sua aplicação possa intensificar o risco aos receptores ou o dano ao ambiente.

Assim a medida de controle das intrusões realizadas se mostra satisfatória, contanto que não apresentem risco (caso apresentem risco deverá ser realizada uma extração de vapores no local), uma vez que caso não seja eliminada a massa de contaminação na fonte externa a remediação local se estenderia a um prazo inestimável se tornando inviável. Em paralelo com o cenário apresentado todas as medidas, tanto de comunicação como de infração, para que a AC inicie as atividades de remediação do local, deveriam ser realizadas.

7. CONCLUSÕES

Nos estudos ambientais realizados para área do estudo de caso pudemos verificar que a contaminação é de origem externa e encontra-se em camadas mais profundas (devido a densidade dos contaminantes) bem como estão em estágios avançados de degradação.

A intrusão de vapores realizada na área mostra que não há vapores emanando do piso para os receptores locais, assim o risco real de inalação de vapores in situ não se completa, assegurando a proteção dos receptores.

O desafio de investigar uma área com alto fluxo de funcionários e um pequeno espaço para projetar qualquer tipo de sistema de remediação, bem como a contaminação ser de origem externa e a questão financeira do proprietário remete à um cenário de comunicação para que os responsáveis legais da AC e órgão público tomem as medidas cabíveis para iniciar a remediação e em paralelo, na área do estudo de caso, seja acompanhado com o monitoramento de vapores e da água subterrânea a fim de verificar possíveis sub produtos da remediação externa.

Conforme discutido no item anterior, a instalação de uma barreira hidráulica seria necessária para que a pluma de contaminação não avance ainda mais para área e as concentrações de contaminantes in situ se mantenham ou até diminuam.

Seria recomendado também que as plumas de contaminação vertical e horizontal fossem delimitadas, porém só seria possível a delimitação das plumas com a remoção da fonte de contaminação secundária (plumas da AC).

A realização de Campanhas de Monitoramento Vapores – antes, durante e após a remediação da área externa – acompanhando os níveis para os receptores locais, incluindo também a instalação de mais 2 pontos de intrusão no local para englobar toda área do estudo de caso. Se caso houvesse alguma alteração seria necessário a intervenção com a instalação do sistema de vapores que seria minuciosamente projetado em algum local que fosse possível.

A intrusão de vapores no local foi de grande importância para tomada de decisão e sequência dos trabalhos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas uma vez que não existe risco aos receptores locais há a possibilidade de acompanhar os passos seguintes da área externa e também oferecer alternativas mais viáveis para o responsável da área do estudo de caso.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENEDETI, A., CALLEGARI, A., RODRIGUES, M., & SERAPHIM, T. Avaliação da Gestão Urbana e Ambiental de Atividades Potencialmente Poluidoras e Áreas Contaminadas no Município de São Paulo. 2022.

CANARIO, Paula Giovana Grangeiro. Processo de Investigação de Áreas Contaminadas: Análise Crítica e Estudo de Caso. 2018.

CASARINI, Dorothy Pinati; DIAS, Claudio; LEMOS, Mara Magalhães. Critérios de qualidade de solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo-valores orientadores. Águas Subterrâneas, 2002.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. DD 038/2017C - Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. 2017. Disponível:< DD-038-2017-C.pdf (cetesb.sp.gov.br)> Acesso em: outubro de 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>>. Acesso em: outubro de 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Disponível em: < [Seção 1.5: Conceitos sobre Transporte de Substâncias nas Zonas não Saturada e Saturada » Áreas Contaminadas \(cetesb.sp.gov.br\)](#)>. Acesso em: janeiro de 2024.

COSTA, Ana Paula Dominguez da. **Reutilização de áreas contaminadas no município de São Paulo: a participação do mercado imobiliário para o desenvolvimento urbano sustentável.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

DE MORAES, Lucia et al. Guia de elaboração de planos de intervenção para Gerenciamento de Áreas Contaminadas – 1^a edição revisada. Disponível em <[Guia-de-elaboracao-de-planos-de-intervencao-para-o-gerenciamento-de-areas-contaminadas.pdf \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/339070088/Guia-de-elaboracao-de-planos-de-intervencao-para-o-gerenciamento-de-areas-contaminadas.pdf)>

MARTINS, Marisa Pacheco. Avaliação do comportamento da barreira física como técnica de remediação para o derramamento de biodiesel, 2022

SANTOS, Geovanni Beltran dos. Avaliação das Normativas Brasileira, Norte-Americana e Holandesa sobre Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 59.263, de 5 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 6 jun. 2013

VILAR, JARDIM, TANAKA, CUNHA. Smart Characterization para mapeamento da distribuição de contaminantes em área fonte impactada por solventes clorados. **InterfacEHS**, v. 13, n. 1, 2018.