

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Avaliação de risco à saúde humana em função dos cenários de uso do solo em área sob
Investigação Detalhada na USP Leste no município de São Paulo (SP)

Rodrigo Chemite Barbosa

Prof(a).Dr(a). Vânia Silva Rosolen

Rio Claro (SP)

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Rodrigo Chemite Barbosa

Avaliação de risco à saúde humana em função dos cenários de uso do solo em área sob Investigação Detalhada na USP Leste no município de São Paulo (SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2024

B238a

Barbosa, Rodrigo Chemite

Avaliação de risco à saúde humana em função dos cenários de uso do solo em área sob Investigação Detalhada na USP Leste no município de São Paulo (SP) / Rodrigo Chemite Barbosa. -- Rio Claro, 2024

95 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Vânia Silvia Rosolen

1. Gerenciamento de áreas contaminadas. 2. Solo. 3. Água subterrânea. 4. Investigação Detalhada. 5. Avaliação de risco à saúde humana. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Rodrigo Chemite Barbosa

Avaliação de risco à saúde humana em função dos cenários de uso do solo em área sob Investigação Detalhada na USP Leste no município de São Paulo (SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Vânia Silva Rosolen (orientador)

Karen Luko Sulato

Francielli Maria Vieira de Carvalho

Rio Claro, 04 de julho de 2024

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e a todo apoio que têm me dado durante todos os anos de vida.

Agradeço à minha mãe, Neiva Maria, por ser mãe à sua forma, batalhadora e luz.

Agradeço ao meu pai, José, por ser um homem trabalhador e exemplo.

Agradeço à minha irmã, Isabele, por todo apoio incondicional na sua presença como irmã.

Agradeço à ConAm Consultoria Ambiental, pela experiência de possibilitar a execução deste trabalho acadêmico.

Agradeço à professora Vânia, pelos conhecimentos ensinados e à orientação pelo trabalho.

Agradeço à Réptil por todo o tempo de amizade e companheirismo, agradeço aos meus amigos, por todo apoio durante esses anos.

RESUMO

Dentre os vários ramos de conhecimento da Engenharia Ambiental, o processo de gerenciamento de áreas contaminadas assume relevante importância dentro dos processos de Licenciamento Ambiental. Com o espaço urbano se tornando cada vez mais adensado, a avaliação do uso do solo se torna fundamental para estabelecer usos adequados e seguros das funções do solo à população. Em linhas gerais, as etapas do gerenciamento de áreas contaminadas são: avaliação preliminar, investigação ambiental confirmatória, investigação ambiental detalhada, avaliação de risco à saúde humana, remediação ambiental e monitoramento ambiental. O presente trabalho tem como objetivo a investigação ambiental detalhada de uma área suspeita de contaminação na cidade de São Paulo (SP), especificamente no campus da USP-Leste. Por ser área de deposição de solo e/ou resíduos de origem desconhecida no passado recente, encontra-se em processo de monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea, o que fez com que a Universidade de São Paulo buscasse um parecer técnico antes de qualquer edificação na área. Partindo dos estudos técnicos desenvolvidos na área, no presente trabalho foi revisto e detalhado todo o processo de investigação ambiental detalhada, iniciando com a delimitação da área de estudo, levantamento dos dados prévios, execução das sondagens, instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea, amostragem do solo e de águas subterrâneas, análises laboratoriais e análise dos resultados. A análise dos dados permitiu gerar os cenários possíveis de ocupação residencial e comercial/industrial futuros da área.

Palavras-chave: gerenciamento de áreas contaminadas; solo; água subterrânea; investigação detalhada; avaliação de risco à saúde humana.

ABSTRACT

Among the various branches of knowledge in Environmental Engineering, the process of managing contaminated areas assumes relevant importance within Environmental Licensing processes. With urban space becoming increasingly dense, the assessment of land use becomes essential to establish adequate and safe uses of soil functions for the population. In general terms, the stages of managing contaminated areas are: preliminary assessment, confirmatory environmental investigation, detailed environmental investigation, risk assessment to human health, environmental remediation and environmental monitoring. The present work aims to conduct a detailed environmental investigation of an area suspected of contamination in the city of São Paulo (SP), specifically on the USP-Leste campus. As it is an area of deposition of soil and/or waste of unknown origin in the recent past, it is in the process of monitoring the quality of soil and groundwater, which led the University of São Paulo to seek a technical opinion before any building in the area. Starting from the technical studies developed in the area, in this work the entire process of detailed environmental investigation was reviewed and detailed, starting with the delimitation of the study area, survey of previous data, execution of surveys, installation of underground water monitoring wells, soil and groundwater sampling, laboratory analyzes and analysis of results. Data analysis allowed generating possible scenarios for future residential and commercial/industrial occupation of the area.

Keywords: management of contaminated areas; soil; groundwater contamination; detailed investigation; human health risk assessment.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AP – Avaliação Preliminar

AC – Área contaminada

ACRi – Área Contaminada com Risco Confirmado

AS – Área Suspeita de contaminação

CMA – Concentração Máxima Aceitável

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EACH – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

GAC – Gerenciamento de Áreas Contaminadas

GTZ – *German Agency for Technical Cooperation*

SQI – Substância Química de interesse

S-VOC – *Semi-Volatile Organic Compound* (Composto orgânico semi-volátil)

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

USP – Universidade de São Paulo

VI – Valores de Intervenção

VOC – *Volatile Organic Compound* (Composto orgânico volátil)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISPERSÃO DE HPAS ATRAVÉS DO AR E AMBIENTES TERRESTRE E AQUÁTICO.....	18
FIGURA 2 - REGRESSÃO ENTRE PRESSÃO DE VAPOR E O PESO MOLECULAR PARA OS PRINCIPAIS HPAS	19
FIGURA 3 - PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS	26
FIGURA 4 - IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO	27
FIGURA 5- ETAPAS DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	29
FIGURA 6- ETAPAS DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	31
FIGURA 7 - ETAPAS DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DETALHADA DE ÁREAS CONTAMINADAS	32
FIGURA 8 - ETAPAS ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE ÁREAS CONTAMINADAS	34
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DE FASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO	35
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
FIGURA 11 - MAPA LIMITES DO TERRENO E LOCALIZAÇÃO DAS SUBÁREAS	38
FIGURA 12 - MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO – CENÁRIO RESIDENCIAL	41
FIGURA 13 - MODELO CONCEITUAL - CENÁRIO COMERCIAL/INDUSTRIAL	42
FIGURA 14 - MAPA POTENCIOMÉTRICO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO RASOS.....	48
FIGURA 15 - MAPA POTENCIOMÉTRICO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO PROFUNDOS.....	49
FIGURA 16 - MÁQUINA DE PERFURAÇÃO DO SOLO COM TRADO HELICOIDAL.....	51
FIGURA 17 - EXECUÇÃO DE SONDAGEM MANUAL PARA RETIRADA DO LINER.....	52
FIGURA 18 - TAMPA DE ABERTURA DE POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO.....	53
FIGURA 19 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO NA AI-01	57
FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO AI-02 E AI-03	58
FIGURA 21 - LINERS DE SONDAGEM COM EQUIPAMENTO DE CORTE.....	59
FIGURA 22 - FIGURA 20 - AMOSTRAGEM DE SOLO (SVOC) DE UMA UD.....	60
FIGURA 23 - AMOSTRAGEM DE SOLO (VOC) DE UMA UD	60
FIGURA 24 - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAGENS DE SOLO NAS UDS	61
FIGURA 25 - AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PELO MÉTODO DE BAIXA VAZÃO	64
FIGURA 26 – DELIMITAÇÃO DE TPH E BENZO(A)PIRENO NO SOLO	74
FIGURA 27 – PLUMA DELIMITAÇÃO DE BENZENO	75
FIGURA 28 – PLUMA DE DELIMITAÇÃO DE ETILBENZENO	76
FIGURA 29 – PLUMA DE DELIMITAÇÃO DE BÁRIO DISSOLVIDO	77
FIGURA 30 - PLUMA DE DELIMITAÇÃO DE COBALTO DISSOLVIDO	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PARÂMETROS QUÍMICOS DE INTERESSE	45
TABELA 2 - DIFERENÇA DE CARGAS HIDRÁULICAS EM POÇOS RASOS E PROFUNDOS DAS ÁREAS AI-02 E AI-03	49
TABELA 3 - DADOS POTENCIOMÉTRICOS DE POÇOS DE MONITORAMENTO – PM-01 A PM-15	54
TABELA 4 - DADOS POTENCIOMÉTRICOS DE POÇOS DE MONITORAMENTO – PM-35 A PMN-11	55
TABELA 5 PRINCIPAIS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO	56
TABELA 6 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS MEDIDOS NA AMOSTRAGEM DE ÁGUA	63
TABELA 7 - PRINCIPAIS RESULTADOS ANALÍTICOS-SOLO MULTI-INCREMEN TO(0,30M - METAIS)–UD-01 A 10	65
TABELA 8 - PRINCIPAIS RESULTADOS ANALÍTICOS-SOLO MULTI-INCREMEN TO(0,30M-METAIS)–UD-11 A 20	66
TABELA 9 - PRINCIPAIS RESULTADOS ANALÍTICOS-SOLO MULTI-INCREMEN TO (1,00M-METAIS)–UD-01 A 10	66
TABELA 10 - PRINCIPAIS RESULTADOS ANALÍTICOS - SOLO MULTI-INCREMEN TO (1,00M-METAIS)–UD-11 A 20	67
TABELA 11 - PRINCIPAIS RESULTADOS ANALÍTICOS - SOLO (VOC).....	67
TABELA 12 - PRINCIPAIS RESULTADOS ANALÍTICOS - SOLO MULTIINCREMEN TO (SVOC).....	68
TABELA 13 – PARÂMETROS QUÍMICOS DE INTERESSE PARA COMPOSTOS VOC E SVOC	68
TABELA 14 - RESULTADOS ANALÍTICOS - ÁGUA SUBTERRÂNEA (METAIS DISSOLVIDOS) – PM-01 A PM08.....	70
TABELA 15 - RESULTADOS ANALÍTICOS - ÁGUA SUBTERRÂNEA (METAIS DISSOLVIDOS) – PMN-08 A PMN-14.....	70
TABELA 16 - RESULTADOS ANALÍTICOS - ÁGUA SUBTERRÂNEA (METAIS DISSOLVIDOS) – PM-15 A PMN-33.....	71
TABELA 17 - PARÂMETROS QUÍMICOS DE INTERESSE PARA METAIS DISSOLVIDOS.....	71
TABELA 18 - RESULTADOS ANALÍTICOS - ÁGUA SUBTERRÂNEA (VOC)	72
TABELA 19 – RESULTADOS ANALÍTICOS – ÁGUA SUBTERRÂNEA (SVOC).....	72
TABELA 20 – PARÂMETROS QUÍMICOS DE INTERESSE – ÁGUA SUBTERRÂNEA (VOC)	73
TABELA 21 - VALORES MÁXIMOS ENCONTRADOS E CMAs CALCULADOS	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	A IMPORTÂNCIA DO PLANO DE AMOSTRAGEM PARA O ESTUDO DA ÁREA CONTAMINADA....	13
1.2	FONTES DE CONTAMINAÇÃO E ÁREAS VIZINHAS	14
1.3	VALORES DE INTERVENÇÃO (VI)	15
1.4	SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS DE INTERESSE (SQI)	15
1.4.1	<i>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs).....</i>	<i>16</i>
1.4.1.1	<u>Definição</u>	<u>16</u>
1.4.1.2	<u>Fontes Naturais e antropogênicas.....</u>	<u>16</u>
1.4.1.3	<u>Fontes petrogênicas e pirogênicas</u>	<u>17</u>
1.4.1.4	<u>Transporte de HPAs</u>	<u>17</u>
1.4.1.5	<u>Emissão atmosférica e deposição de HPAs.....</u>	<u>18</u>
1.4.1.6	<u>Uso de compostos HPAs</u>	<u>20</u>
1.4.1.7	<u>Riscos associados</u>	<u>20</u>
1.5	RISCO EM ÁREAS CONTAMINADAS	21
1.6	NÍVEL DE RISCO ACEITÁVEL EM ÁREAS CONTAMINADAS	21
1.7	NÍVEL DE RISCO ACEITÁVEL EM ÁREAS CONTAMINADAS	22
2	OBJETIVOS	24
2.1	OBJETIVO GERAL	24
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1	METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS	25
3.1.1	<i>Identificação de áreas com potencial de contaminação.....</i>	<i>26</i>
3.1.2	<i>Avaliação Preliminar.....</i>	<i>27</i>
3.1.3	<i>Investigação confirmatória.....</i>	<i>29</i>
3.1.4	<i>Investigação Detalhada</i>	<i>31</i>
3.1.5	<i>Avaliação de risco</i>	<i>33</i>
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35

4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS PRÉVIOS	35
4.1.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	36
4.1.2	<i>Histórico de ocupação</i>	37
4.1.3	<i>Caracterização do meio físico</i>	38
4.2	ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	39
4.2.1	<i>Identificação das fontes potenciais</i>	39
4.2.2	<i>Identificação dos receptores avaliados</i>	40
4.2.3	<i>Vias de exposição</i>	43
4.2.4	<i>Descrição dos cenários de exposição adotados</i>	44
4.2.5	<i>Substâncias químicas de interesse</i>	45
4.3	INVESTIGAÇÃO DETALHADA	45
4.3.1	<i>Aspectos geológicos</i>	46
4.3.2	<i>Aspectos hidrogeológicos</i>	46
4.3.3	<i>Execução de sondagens</i>	50
4.3.4	<i>Instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea</i>	52
4.3.5	<i>Amostragem do solo</i>	58
4.3.6	<i>Amostragem de água subterrânea</i>	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5.1	ANÁLISES DOS RESULTADOS	65
5.1.1	<i>Resultados analíticos de solo</i>	65
5.1.2	<i>Resultados analíticos de água subterrânea</i>	69
5.2	DELIMITAÇÃO DAS PLUMAS DE CONTAMINANTES	73
5.2.1	<i>Delimitação dos contaminantes no Solo</i>	73
5.2.2	<i>Delimitação dos contaminantes de água subterrânea</i>	74
5.3	AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA	78
5.3.1	<i>Cenários de Avaliação de Risco</i>	79
5.3.1.1	<u><i>Avaliação de risco no solo</i></u>	81
5.3.1.2	<u><i>Avaliação de risco na água subterrânea</i></u>	81
5.4	CENÁRIO DE RISCO À SAÚDE HUMANA E ELABORAÇÃO DAS MEDIDAS DE INTERVENÇÃO	82

5.4.1	<i>Cenários de Risco à saúde humana e elaboração das medidas de intervenção - Cenário residencial.....</i>	83
5.4.2	<i>Cenários de Risco à saúde humana e elaboração das medidas de intervenção - Cenário comercial/industrial.....</i>	84
6	CONCLUSÃO.....	85

1 INTRODUÇÃO

A saúde nas cidades sofre ameaças provenientes da poluição e da vulnerabilidade ocasionada pela desigualdade socioespacial (Günther, 2023). No Estado de São Paulo, os primeiros métodos sistemáticos de organização de problemas relacionados às áreas contaminadas foram elaborados em 1993, com o início de um programa de cooperação técnica entre a CETESB e a GTZ, órgão ambiental alemão voltado para a cooperação técnica para o desenvolvimento. A cooperação entre os órgãos proporcionou a capacitação técnica do órgão ambiental brasileiro, destacando-se a estruturação do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, o que permitiu o desenvolvimento de uma metodologia necessária para avaliação de áreas contaminadas (Sánchez, 2004).

As áreas contaminadas podem expor a população a diversos riscos associados à saúde pública, como, por exemplo, por meio do contato dérmico, ingestão ou inalação por meio de diversas vias de exposição, em acúmulos no solo e na água subterrânea (SILVA, 2020).

O grau de risco à saúde está diretamente associado ao tipo de uso do solo, em função do tipo de poluente, textura do solo e parâmetros físicos e químicos, que condicionarão os efeitos dinâmicos das substâncias no meio ambiente. É evidente que uso de ordem residencial exige um solo de alta qualidade, devido ao alto grau de exposição dérmica, enquanto os usos industrial e comercial requerem padrões de solo menos exigentes (Sánchez, 2001). Estes locais são verdadeiras “bombas-relógio químicas”, assim resultando em situações de perigo. Quando relacionadas às consequências de exposição, durante o tempo, podem resultar no acúmulo destas substâncias, culminando em riscos à saúde humana (Sánchez, 2001).

Inúmeras áreas apresentam potenciais riscos de contaminação, e uma delas foi selecionada para este estudo, que é a área de expansão da USP Leste. O interesse na região de estudo está diretamente relacionado aos processos de licenciamento ambiental requisitados no Plano de Expansão da USP Leste, que descreve as ações necessárias para os processos de investigação ambiental relacionados ao gerenciamento das áreas contaminadas no campus.

A área edificada ocupada pela EACH, AI-01, onde são exercidas atividades pedagógicas, encontra-se em processo de monitoramento de gás metano. A área de estudo (AI-01 e AI-02) foi usada como área de deposição de solo e/ou resíduos de origem desconhecida entre 2011 e 2012.

Em razão desse uso, a área foi classificada pela CETESB como “solo importado para aterro”. Além de ter sido local de atividade de obras relacionadas à construção da USP Leste, houve também a deposição de resíduos desconhecidos na época, além da deposição de lodo removido do curso do Rio Tietê. A área foi estudada a fim de atender ao processo de investigação ambiental do Plano de Expansão do campus da USP Leste.

1.1 A importância do plano de amostragem para o estudo da área contaminada

A confirmação da contaminação em uma área dá-se basicamente pela coleta de amostras e análises de solo e/ou água subterrânea, estabelecidas adequadamente em decorrência das características da área de estudo (CETESB, 2022). Assim, os resultados obtidos na etapa de Investigação Confirmatória são fundamentais para a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas. Em seguida, deve ser feita a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas, em contraste com os valores orientadores de concentração estabelecidos pelo órgão ambiental (CETESB, 2022).

Com o intuito de confirmar a presença de contaminação, poderão ser coletadas/analizadas amostras de águas subterrâneas e de solo, em profundidades próximas ao nível d’água, ou no perfil de solo onde forem detectadas as maiores concentrações de uma substância química de interesse (SQI) em compartimentos do ambiente (CETESB, 2022).

Os pontos de coleta são definidos onde ocorre a maior probabilidade de existência de contaminação, onde devem ser coletadas as amostras em que ocorram a influência das fontes suspeitas identificadas, as quais serão analisadas em contraste com os valores orientadores estabelecidos. O branco de campo, isto é, a medição em local próximo sem ocorrência de contaminação, é utilizado para determinar os valores de ocorrência natural dos parâmetros desejados. Para a coleta de águas subterrâneas, os pontos construídos devem cobrir a região da área de estudo, com o intuito de determinar a qualidade natural das águas, através das normas ABNT NBR 5.426 (CETESB, 2022).

A profundidade de amostragem varia de acordo com as características das fontes primárias e secundárias de contaminação, dos contaminantes e das vias de exposição do meio físico. A determinação dos poços de monitoramento a serem elaborados e amostrados visa caracterizar o meio físico subterrâneo (solo e água subterrânea) quanto à presença de contaminantes, em especial

nas áreas fonte e nas plumas de contaminação, de modo a permitir a avaliação da pluma de contaminação e o risco que esta representa à saúde humana e ao meio ambiente.

A determinação das concentrações dos contaminantes identificados nos compartimentos dos ambientes amostrados deve ser comparada aos valores orientadores estabelecidos no plano de amostragem. Caso os valores identificados atinjam concentrações superiores aos limites estabelecidos, a área poderá ser classificada como Área Contaminada (AC). Assim, para a elaboração do plano de amostragem, é necessário identificar os seguintes elementos:

- as fontes de contaminação e áreas vizinhas;
- as SQI e os valores de intervenção;
- os volumes representativos e os designs amostrais;
- a distribuição espacial dos pontos de amostragem;
- as soluções adotadas em relação às dificuldades encontradas para a localização dos pontos de amostragem.

1.2 Fontes de contaminação e áreas vizinhas

O plano de amostragem deve conter a indicação, em planta, das fontes primárias ou secundárias de contaminação, delimitadas na área de estudo, identificando informações relevantes tanto quanto às características quanto à existência de contaminação na área. Para cada fonte potencial deve ser feita a identificação do seu grau de prioridade (CETESB, 2022).

Uma fonte potencial de contaminação pode ser descrita como um meio de utilidade, processo ou atividade que ocorreu dentro da área de estudo, que pode ter liberado quantidade significativa de substâncias nos compartimentos do meio ambiente. A fonte potencial torna-se uma fonte de contaminação primária quando ocorre a liberação de quantidade significativa de uma substância no meio ambiente de forma comprovada (CETESB, 2022).

Uma contaminação primária pode ser descrita como a utilidade a partir da qual está sendo gerada uma contaminação, identificada em um ou mais compartimentos do meio ambiente existentes na própria área de estudo ou na sua vizinhança. (CETESB, 2022).

Uma fonte de contaminação secundária é um compartimento do meio ambiente contaminado por uma substância liberada a partir de uma fonte primária de contaminação, cujo acúmulo da

substância é tal que atua como fonte de contaminação para outros compartimentos do meio ambiente (CETESB, 2022).

1.3 Valores de intervenção (VI)

Ao identificar uma SQI presente em algum compartimento do ambiente, deve-se estabelecer seu respectivo valor de intervenção (VI) a ser utilizado. Os valores de intervenção utilizados no trabalho foram baseados nos VIs estabelecidos pela Decisão de Diretoria 125/2021/E. (CETESB, 2022). Para SQIs que não apresentaram parâmetro estabelecido, utilizou-se os valores estabelecidos pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA).

Para avaliação de risco à saúde humana, as concentrações máximas aceitáveis (CMA) para os cenários definidos foram calculadas com base nos VI estabelecidos nas planilhas de cálculo da CETESB (Apêndice). Os resultados analíticos das amostras de solo e água subterrânea foram utilizados para elaboração dos cálculos atribuídos a cada um dos cenários de exposição adotados, no caso, residencial e industrial/comercial, sendo o primeiro cenário o mais restritivo quanto a valores de intervenção estabelecidos.

1.4 Substâncias químicas de interesse (SQI)

As substâncias químicas de interesse (SQI) são substâncias presentes na fonte de contaminação potencial, ou primária, identificada na área em avaliação, que por suas características e quantidades liberadas, são capazes de gerar a contaminação dos compartimentos do meio ambiente (CETESB, 2022).

A identificação das SQI busca compreender e avaliar, para cada fonte de contaminação potencial constatada, quais substâncias encontram-se no local, bem como os seus produtos de degradação (CETESB, 2022).

Estabelecer a relação de SQI no local de estudo é fundamental, pois visa dar subsídio para a identificação e caracterização das fontes primárias de contaminação. Entre os fatos, evidências e indícios que permitam a ocorrência de fontes de contaminação primárias, são exemplos:

- a ocorrência de vazamentos na fonte de contaminação potencial;
- a constatação de manejo inadequado de matérias primas, produtos, insumos, resíduos ou efluentes, durante o funcionamento da fonte de contaminação potencial;

- a constatação de inadequações no projeto da fonte de contaminação potencial;
- a observação de indícios de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, localizados nas proximidades da fonte de contaminação potencial;
- a constatação de incertezas sobre a localização da fonte de contaminação potencial;
- a constatação de incertezas sobre a existência da fonte de contaminação potencial.

As vias de exposição são caminhos que as SQIs percorrem em função da geomorfologia do local de estudo, a partir das fontes de contaminação identificadas. As SQIs podem ser detectadas por meio de resultados analíticos, nos compartimentos do meio ambiente investigados, desde as fontes de contaminação até os corpos receptores (CETESB, 2022).

1.4.1 *Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)*

1.4.1.1 Definição

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são compostos orgânicos semivoláteis que possuem diferentes compostos orgânicos com dois ou mais anéis aromáticos, que podem ocorrer em uma grande variação de compostos nos compartimentos do ambiente (Chun Liu et al., 2000).

Compostos de HPAs são hidrofóbicos na natureza, e são rapidamente absorvidos pelas partículas de matéria dos sedimentos por meio de escoamento superficial. Estes compostos acumulam-se no ambiente através da queima de incompleta de matéria orgânica, seja de carvão, petróleo, biomassa ou madeira. Ao acumularem-se no ambiente, se tornam contaminantes persistentes, podendo representar riscos carcinogênicos e mutagênicos (M. Kumar et al, 2020).

Para o estudo em questão, a fim de elaborar as medições necessárias, considerou-se os compostos HPAs como TPH (Total Petroleum Hydrocarbons), como uma forma de abranger todos os compostos HPAs citados.

1.4.1.2 Fontes Naturais e antropogênicas

HPAs são emitidos para a atmosfera através da combustão incompleta de matéria orgânica (H. I. Abdel-Shafy, 2015). Estes compostos possuem tanto origem natural (infiltrações de óleo, carvão, betume, restos de plantas, incêndio na pradaria) quanto origem antrópica (combustíveis

fósseis e combustão). Visto que os compostos de HPA de ambas as fontes muitas vezes encontram-se misturados nos compartimentos do ambiente, a significância das fontes de HPA antropogênicas devem ser avaliadas em contraste com os valores de ocorrência natural de HPA nos compartimentos do ambiente (M.B. Yunker et al., 2002).

Segundo H. I. Abdel-Shafy, 2015:

Ainda que alguns compostos de HPAs originem-se de fontes naturais, como queimadas, depósitos de carvão, infiltrações de depósitos de petróleo, as fontes antropogênicas são predominantes, ou seja, as atividades antrópicas, tais como o aquecimento residencial, plantas de liquefação de gás e de carvão, produção de piche e asfalto, produção de cobre ferro, o refino de petróleo e as emissões veiculares, são as principais causadoras da persistência de HPAs no ambiente.

Os compostos HPA fazem parte de uma das classes mais importantes de poluentes persistentes nos compartimentos do ambiente. Os compostos de HPA de origem antropogênica podem ser divididos em duas fontes de origem: petrogênica e pirogênica (M.B. Yunker et al., 2002).

1.4.1.3 Fontes petrogênicas e pirogênicas

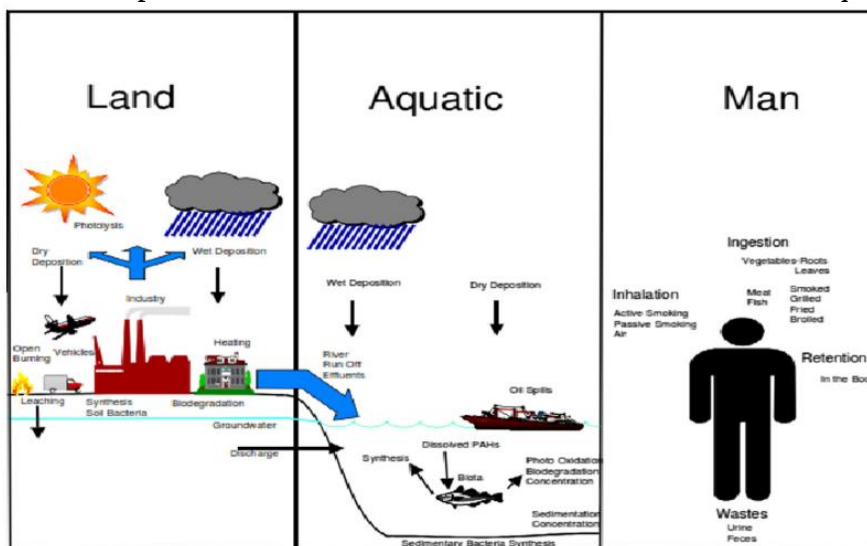
Fontes petrogênicas incluem petróleo bruto, e seus derivados, como querosene, gasolina, óleo diesel, óleos lubrificantes e asfalto. As fontes pirogênicas são formadas a partir da combustão incompleta de matéria orgânica (carvão, petróleo e madeira), por meio de operações industriais ou mesmo em usinas de energia, que utilizam combustíveis fósseis, incineradores, veículos movidos à gasolina ou óleo diesel, além dos fornos de fundição (S. Mahua et al., 2008).

A identificação das fontes de HPA são requisitos para a regulação da presença destes compostos no solo e nas águas subterrâneas. O principal passo da identificação destas fontes é diferenciar a ocorrência das fontes petrogênicas e fontes pirogênicas, para avaliar os impactos do acúmulo de HPAs, nos compartimentos do ambiente (M.B. Yunker et al., 2002).

1.4.1.4 Transporte de HPAs

A figura 1 ilustra como ocorrem os processos envolvidos no transporte e dispersão de HPAs, através de diversos processos.

Figura 1 - Dispersão de HPAs através do ar e ambientes terrestre e aquático



Fonte: H.I. Abdel-Shafy, 2016

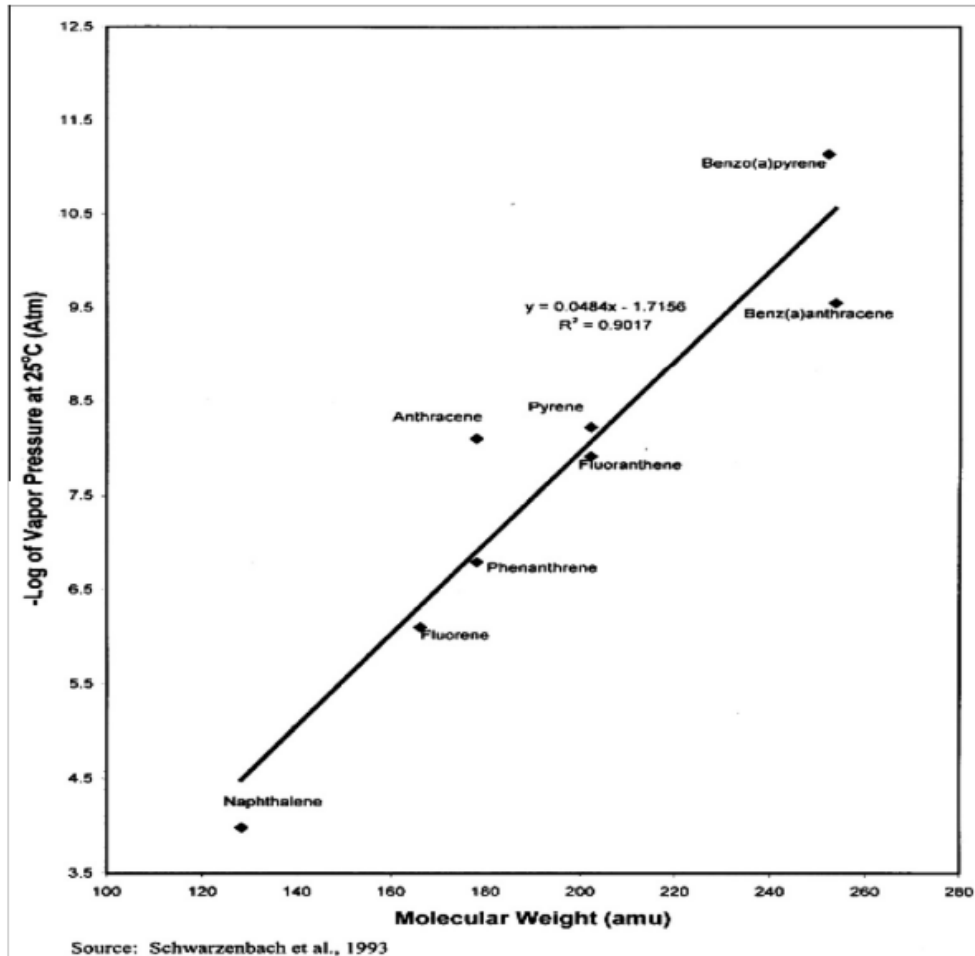
No ambiente terrestre ocorre a contaminação por HPA, na fase sólida origina-se a fonte primária da contaminação por HPA, seja ela antrópica ou natural. No ambiente aquático, os compostos de HPAs são transportados a partir da fonte primária até seu local de deposição, este pode ser os sedimentos do solo, bem como os corpos hídricos, através do fluxo de água subterrânea. A imagem demonstra também os principais meios de exposição associados à saúde humana, como inalação, ingestão e contato dérmico (H.I. Abdel-Shafy, 2016).

1.4.1.5 Emissão atmosférica e deposição de HPAs

As características gerais dos HPAs envolvem alta temperatura de ebulição, baixa pressão de vapor e baixa solubilidade em água. Vale ressaltar que a tendência a formar vapor diminui com o aumento do peso molecular. Uma vez liberados para atmosfera, HPAs podem ser encontrados em duas fases separadas, a fase de vapor e a fase sólida, sendo que nesta última os HPAs encontram-se adsorvidos no material particulado do sedimento. Os HPAs com baixa pressão de vapor tendem a entrar em fase gasosa e serem liberados para a atmosfera de forma mais intensa que os compostos com alta pressão de vapor (H.I. Abdel-Shafy, 2016).

A figura 2 abaixo apresenta a relação entre a pressão de vapor e o peso molecular para os compostos típicos de HPA:

Figura 2 - Regressão entre pressão de vapor e o peso molecular para os principais HPAs



Fonte: H.I. Abdel-Shafy, 2016

Segundo H.I. Abdel-Shafy, 2016:

Em estudo realizado pela Electric Power Research Institute (EPRI), existem duas diferenças entre a fase de vapor e a fase adsorvida. Primeiramente, a concentração total de HPAs na fase de vapor (741 ng/m³) é muito superior à fase adsorvida (12ng/m³). Em segundo lugar, quanto mais baixo for o peso molecular, maior será a pressão de vapor, na fase de vapor, sendo assim, quanto maior for o peso molecular, menor será a pressão de vapor, na fase adsorvida. Em contraste, a fase de vapor apresenta menores concentrações de HPAs com grande peso molecular.

Como exposto na figura 2 acima, o benzo(a)pireno possui a menor pressão de vapor, desta forma tende a estar associado à fase adsorvida, ou seja, os componentes mantem-se retidos nos compartimentos do ambiente. Por outro lado, os compostos HPAs com alta pressão de vapor, como é o caso do naftaleno, tendem a estar associados à fase de vapor.

1.4.1.6 Uso de compostos HPAs

A principal fonte de HPAs envolve a queima de matéria orgânica de fonte antrópica, como carvão, óleo diesel e madeira. Apesar dos HPAs não serem sintetizados para uso industrial, há diversos usos comerciais para estes compostos, principalmente, como composto fármaco, produtos de agricultura, produtos fotográficos, e óleo lubrificante. Segue abaixo o principal uso associado de alguns compostos:

- Antraceno: diluente para conservantes de madeira, manufatura de tingimentos e pigmentos.
- Fluoranteno: manufatura de agroquímicos, tingimentos e fármacos.
- Fluorene: manufatura de fármacos, pigmentos, tingimentos, pesticidas e plástico.
- Fenantreno: manufatura de resinas
- Pireno: manufatura de pigmentos.

Alguns compostos de HPA reagem mais rapidamente do que outros processos químicos atmosféricos, sendo que as frações de HPA na atmosfera dependem das fontes de emissão. Estudos demonstraram que o benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno e antraceno são degradados por meio da radiação ultravioleta, de forma mais rápida que outros isômeros ou HPAs comumente medidos. Em medições de aerosol no mediterrâneo, os componentes mais reativos, citados anteriormente, se apresentam comumente relacionados a emissões veiculares em áreas urbanas e remotas (M.B. Yunker et al., 2002).

1.4.1.7 Riscos associados

Os compostos de HPAs ao serem liberados no ambiente podem formar ou ligar-se a partículas dependendo da fonte. Compostos com dois a três anéis aromáticos ocorrem predominantemente na fase de vapor; compostos com quatro anéis existem tanto na fase de vapor quanto na fase adsorvida, enquanto os compostos com cinco ou mais anéis são encontrados predominantemente na fase adsorvida (CETESB, 2022).

Segundo CETESB, 2022:

Estudos epidemiológicos envolvendo misturas de HPAs a exposição pré-natal, indicam efeitos na reprodução como a diminuição da fertilidade e impactos no desenvolvimento da crianças, como a diminuição do peso ao nascer, e da circunferência da cabeça, danos a habilidade cognitivas, entre outros.

A inalação de benzo(a)pireno por longos períodos pode causar dor torácica, irritação e tosse, além da diminuição das habilidades respiratórias. Estudos com trabalhadores expostos a contato dérmico e inalação de compostos HPAs, por longos períodos de tempo, demonstram que podem acarretar em câncer de pulmão e de pele. Segundo CETESB, 2022:

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o benzo(a)pireno como cancerígeno para o ser humano (Grupo 1), o dibenzo(a,h)antraceno como provável cancerígeno para ser humano (Grupo 2A); o benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(j)fluoranteno, criseno e o indeno(1,2,3-c,d)pireno entre outros como possíveis cancerígenos humanos (Grupo 2B); o acenafteno, antraceno, benzo(e)pireno, benzo(g,h,i)perileno, fluoranteno, fluoreno, fenantreno e o pireno, entre outros como não classificáveis quanto a sua carcinogenicidade para o ser humano (Grupo 3).

1.5 Risco em áreas contaminadas

A definição de risco pode ser descrita como a probabilidade de ocorrência de um dano, devido ao grau de exposição potencial do bem a proteger, em função da SQI presente no compartimento do meio ambiente (CETESB, 2022).

A intensidade do risco varia em função do grau de toxicidade da substância, bem como seu volume no ambiente e o tempo de risco associado. Os tipos de risco associados podem ser classificados em risco crônico ou risco agudo (CETESB, 2022).

O risco é crônico quando o grau de exposição é caracterizado por pequenas concentrações da SQI no meio ambiente, durante um longo período (anos) (CETESB, 2022).

O risco é agudo quando o grau de exposição é caracterizado por pequenas concentrações de SQI no meio ambiente, durante curtos períodos (horas) (CETESB, 2022).

1.6 Nível de risco aceitável em áreas contaminadas

O nível de risco aceitável é definido em função das características do bem a proteger identificado na área de estudo ou seu entorno, em função da SQI (CETESB, 2022), considerando os níveis de exposição real ou potencial para riscos aceitáveis de saúde (CONAMA, 2009). O risco

total à saúde humana é feito através da soma dos riscos quantificados na área contaminada aos receptores humanos, considerando as vias de exposição reais ou potenciais (CETESB, 2022).

Os padrões definidos na legislação brasileira têm como objetivo a proteção de um bem específico, por meio da identificação e quantificação dos valores associados ao compartimento do ambiente ou parâmetro desejado, como por exemplo, padrões de potabilidade, padrões para classificação de corpos d'água superficiais, padrões de qualidade do solo e da água (CETESB, 2022).

O nível aceitável de risco também pode ser descrito na forma de concentração máxima aceitável (CMA) de uma SQI em contato com a área, corpos receptores ou compartimentos do meio ambiente (CETESB, 2022).

Para classificar uma área como sendo contaminada é necessário atestar a existência de um detalhamento dos conceitos de risco e danos em áreas contaminadas (AC), além da delimitação e identificação de uma fonte primária de contaminação na área de estudo (CETESB, 2022).

1.7 Nível de risco aceitável em áreas contaminadas

A caracterização dos receptores humanos foi elaborada a partir dos dados populacionais distribuídos em função do tempo e do risco de exposição associado à contaminação. Esses dados estão relacionados ao grau de exposição e representam as condições de exposição dos contaminantes à vida no local. (CETESB, 2022).

O grau de exposição está diretamente relacionado ao período de tempo associado, sendo este estabelecido em unidades de horas/dia, enquanto a frequência de exposição é elaborada em dias/ano. (CETESB, 2022).

Os riscos de inalação de partículas, em contato dérmico com água subterrânea, por exemplo, são definidos a partir do tempo de exposição associado. Agora, para os riscos de contato dérmico com o solo, são estabelecidos valores de frequência de exposição (CETESB, 2022).

A associação entre tempo de exposição e frequência, é fundamental para associar o grau de exposição de risco dos contaminantes à saúde da população. Receptores rurais, por exemplo, fazem uso do solo para cultivo de alimentos, estando diretamente expostos à contaminação no solo, de forma mais intensa que os receptores urbanos. Outro exemplo associativo, pode ser descrito, quanto

ao cenário residencial, o risco de exposição ocorre durante 24 horas por dia, de forma mais intensa, que os receptores no cenários comercial ou industrial, em que o risco de exposição ocorre em média durante 8 horas por dia (CETESB, 2022).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo desse estudo foi avaliar os parâmetros correspondentes a qualidade do solo e da água subterrânea nas áreas de interesse próximas à USP Leste, em função dos valores orientadores da CETESB, com o intuito de identificar e delimitar as contaminações presentes e elaborar a Avaliação de Risco para os cenários hipotéticos de uso futuro, tanto residencial como comercial/industrial na área.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar e delimitar a ocorrência de contaminantes nos compartimentos do ambiente, utilizando os resultados analíticos das amostras de solo e água subterrânea coletadas em campo.
- Elaborar a Avaliação de Risco para os cenários Residencial e Comercial/Industrial
- Determinar o nível de risco e as CMAs pertinentes a cada um dos cenários
- Determinar medidas institucionais e de controle

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Metodologia de Gerenciamento de áreas contaminadas

O Gerenciamento de áreas contaminadas descreve o conjunto de processos de identificação, caracterização e implementação de medidas de intervenção em AC localizadas na região de interesse, com o objetivo de propor medidas seguras para implementação do uso proposto (CETESB, 2022).

A CETESB, por exemplo, é o órgão ambiental gerenciador responsável pelo licenciamento das atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas na região de estudo definida, em projetos de GAC realizados, no Estado de São Paulo, de acordo com a Lei Estadual n 13.577/2009, e Decreto Estadual Regulamentador n 59.263/2013 (CETESB, 2022).

A metodologia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas compreende os seguintes processos:

- Identificação de áreas com potencial de contaminação
- Avaliação Preliminar
- Investigação Confirmatória
- Investigação Detalhada
- Avaliação de risco

O Processo de identificação e reabilitação de áreas contaminadas se inicia com a definição das áreas com potencial de contaminação, em uma região de interesse. A classificação para a descrição esquemática de cada uma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas (GAC) encontra-se definida na figura 3 abaixo:

Figura 3 - Processo de Identificação e Reabilitação de Áreas Contaminadas



Fonte: CETESB, 2022

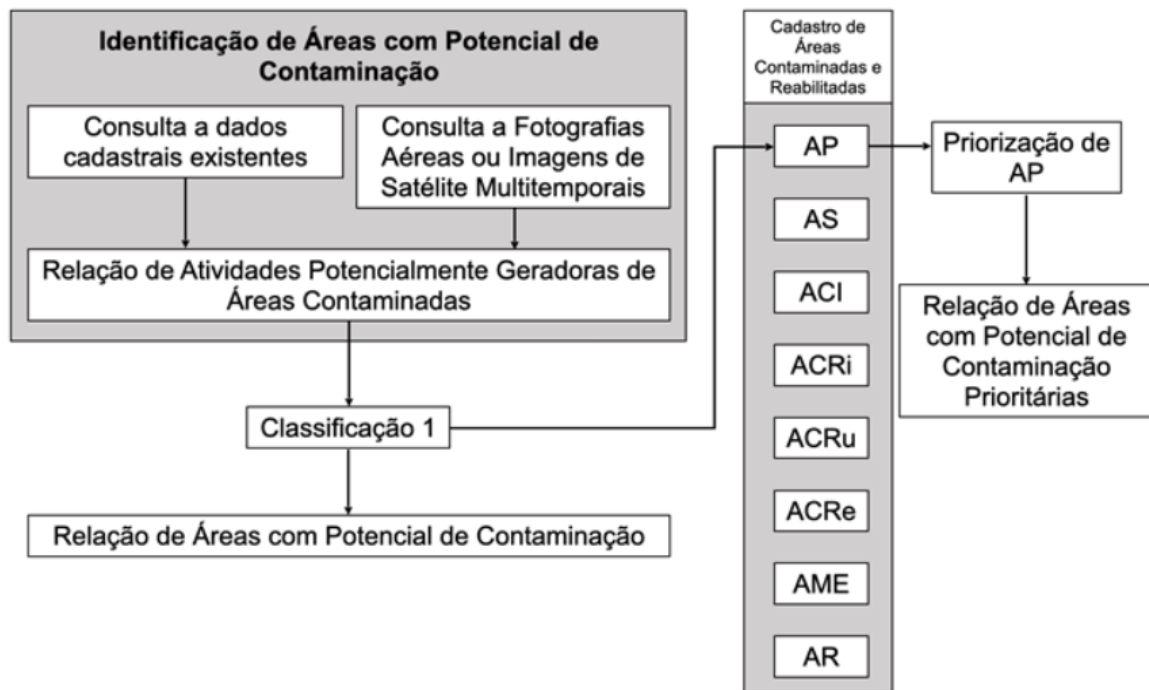
3.1.1 Identificação de áreas com potencial de contaminação

A etapa de Identificação de áreas com potencial de contaminação consiste na delimitação de áreas, dentro da região de interesse, onde possa existir ou haver existido fontes de contaminação potenciais (CETESB, 2022).

A identificação das áreas potenciais é elaborada através de um conjunto de processos, inicialmente com a consulta a dados cadastrais pré-existentes e a consulta a fotografias aéreas. O cruzamento de informações obtidas durante as etapas de confecção das informações com

a relação de atividades potencialmente geradoras de contaminação permite a identificação das áreas potenciais existentes na região (CETESB, 2022). Esse processo está representado na figura 4 abaixo.

Figura 4 - Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação



Fonte: CETESB, 2022

3.1.2 Avaliação Preliminar

A realização da etapa de Avaliação Preliminar consiste na identificação de cada uma das áreas com potencial de contaminação levantadas, com o objetivo de identificar fatos, evidências, indícios ou incertezas que podem levar a suspeitas de contaminação nos compartimentos do meio ambiente (CETESB, 2022).

Os resultados da etapa de avaliação preliminar são utilizados para embasar a classificação da área como Área Suspeita (AS) de contaminação, visando orientar a execução das demais etapas do GAC (CETESB, 2022).

As etapas de Avaliação Preliminar têm como objetivos específicos ou atividades principais:

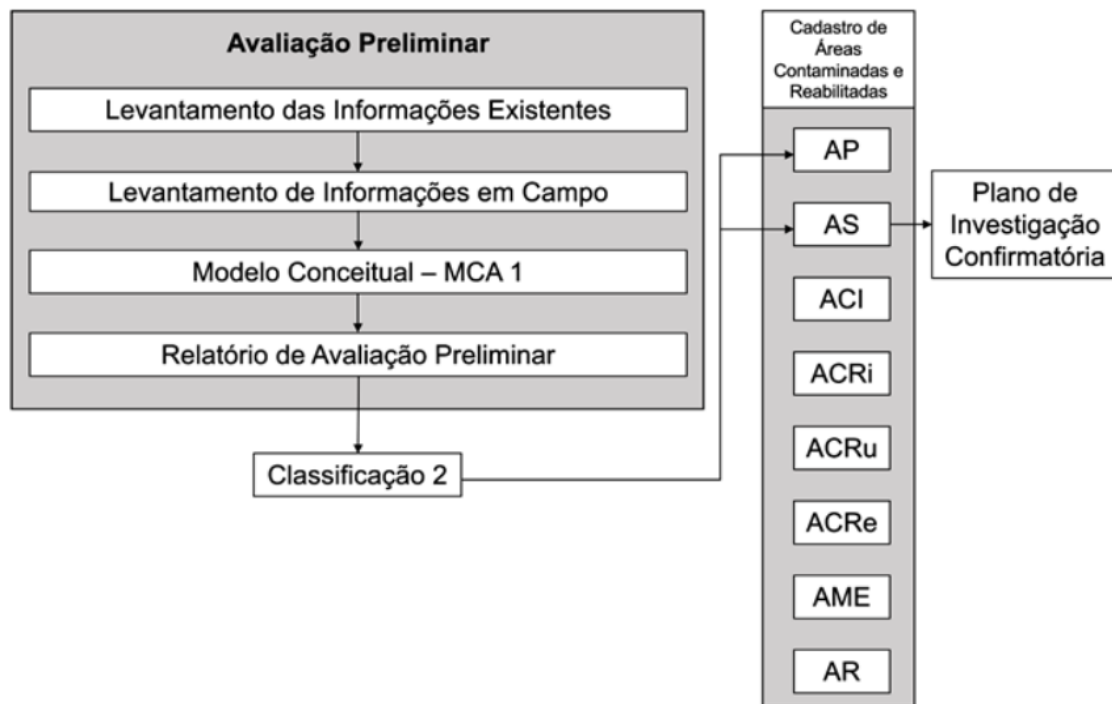
- Identificar as fontes de contaminação potenciais;

- Identificar as substâncias químicas de interesse (SQI);
- Constatar situações que permitam suspeitar da liberação de SQI a partir das fontes de contaminação potenciais;
- Constatar situações que permitam suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente;
- Verificar a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, em fonte de contaminação difusa ou apresentar contaminação por fonte de contaminação natural;
- Descrever as hipóteses de liberação das SQI a partir das fontes de contaminação potenciais e distribuição para os compartimentos do meio ambiente;
- Identificar os bens a proteger;
- Identificar os caminhos de exposição potenciais;
- Identificar os responsáveis legais solidários;
- Definir o modelo conceitual 1 (MCA 1);
- Propor nova classificação da Área com Potencial de Contaminação (AP);
- Verificar a necessidade de realização da etapa de Investigação Confirmatória;
- Propor plano preliminar da etapa de Investigação Confirmatória.

Elaborada a etapa de Avaliação Preliminar, a interpretação de informações deverá ser suficiente para permitir a atualização de classificação da área e a elaboração do modelo conceitual inicial da área (MCA 1), permitindo o subsídio de informações, para compilação e elaboração do documento denominado Relatório de Avaliação Preliminar (CETESB, 2022).

As etapas da Avaliação Preliminar estão descritas na figura 5 abaixo:

Figura 5- Etapas do processo de Avaliação Preliminar de áreas contaminadas



Fonte: CETESB, 2022

3.1.3 Investigação confirmatória

A realização da etapa de Investigação Confirmatória na área classificada como Área Suspeita de Contaminação (AS) tem como objetivo identificar a existência de contaminação no meio ambiente (CETESB, 2021).

A etapa de Investigação Confirmatória tem como objetivos principais:

- elaborar o Plano Definitivo de Investigação Confirmatória;
- executar o Plano Definitivo de Investigação Confirmatória;
- revisar as hipóteses de liberação das SQI a partir das fontes de contaminação primárias para os compartimentos do meio ambiente;
- verificar a possibilidade da área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, em fonte de contaminação difusa ou fonte de contaminação natural;
- identificar os bens a proteger que podem ser efetivamente atingidos pela contaminação;

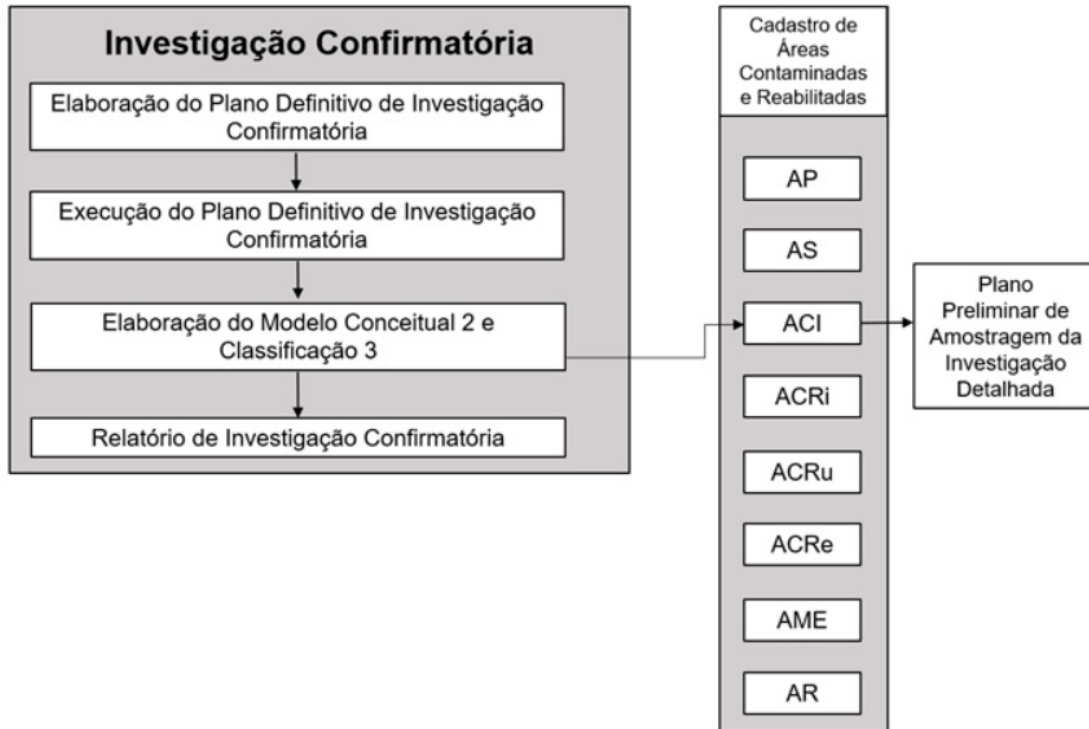
- identificar os caminhos de exposição;
- definir o segundo modelo conceitual (MCA 2);
- propor nova classificação da área em avaliação;
- verificar a necessidade de continuidade do GAC;
- desenvolver Plano Preliminar para a execução da etapa de Investigação Detalhada;
- Identificar os responsáveis legais e solidários.

A sua execução serve, essencialmente, para o desenvolvimento e a execução de um Plano de Investigação Confirmatória, que tratam da metodologia e critérios a serem adotados, para interpretação das informações geradas. Este processo deverá ser suficiente para atualizar a classificação da área (Classificação 3) e elaboração do segundo modelo conceitual (MCA 2), subsidiando assim o Plano Preliminar de Amostragem para a Execução da Investigação Detalhada (CETESB, 2021).

A compilação e interpretação das informações obtidas durante a realização da Investigação Confirmatória, devem ser consubstanciadas e apresentadas em um documento intitulado Relatório de Investigação Confirmatória (CETESB, 2021).

As etapas da Investigação Confirmatória encontram-se descritas na figura 6 abaixo:

Figura 6- Etapas do processo de Investigação Confirmatória de áreas contaminadas



Fonte: CETESB, 2022

Os responsáveis legais pela ACI identificadas deverão executar as etapas de Investigação Detalhada e Avaliação de risco, indiferente de serem demandados pelo órgão ambiental gerenciador (CETESB, 2021).

3.1.4 Investigação Detalhada

O principal intuito da etapa de Investigação Detalhada é fazer a caracterização das fontes primárias de contaminação, bem como quantificar a extensão e mapear a dinâmica de propagação das plumas de contaminação, caracterizar os bens a proteger, definir as vias de exposição, determinar as concentrações de SQI nos pontos de exposição a serem considerados na etapa seguinte do GAC de Avaliação de Risco (CETESB, 2022).

As etapas de Investigação Detalhada estão descritas nas seguintes atividades principais:

- Elaborar o Plano de Investigação Detalhada;
- Executar o Plano de Investigação Detalhada;
- Consolidar, visualizar e interpretar os resultados;

modelo da área, fornecendo assim, dados necessários para a etapa de Avaliação de Risco (CETESB, 2021).

3.1.5 Avaliação de risco

A etapa de avaliação de risco consiste em avaliar a necessidade de medidas de intervenção na área ou na sua vizinhança, visando melhorar seu uso, atual ou futuro, em função dos cenários hipotéticos desejados, de forma segura (CETESB, 2022).

As AC submetidas à Avaliação de Risco devem ser classificadas como Área Contaminada sob Investigação (ACI) ou área contaminada com risco confirmado (ACRi), sendo determinada na etapa de Investigação Detalhada (CETESB, 2022).

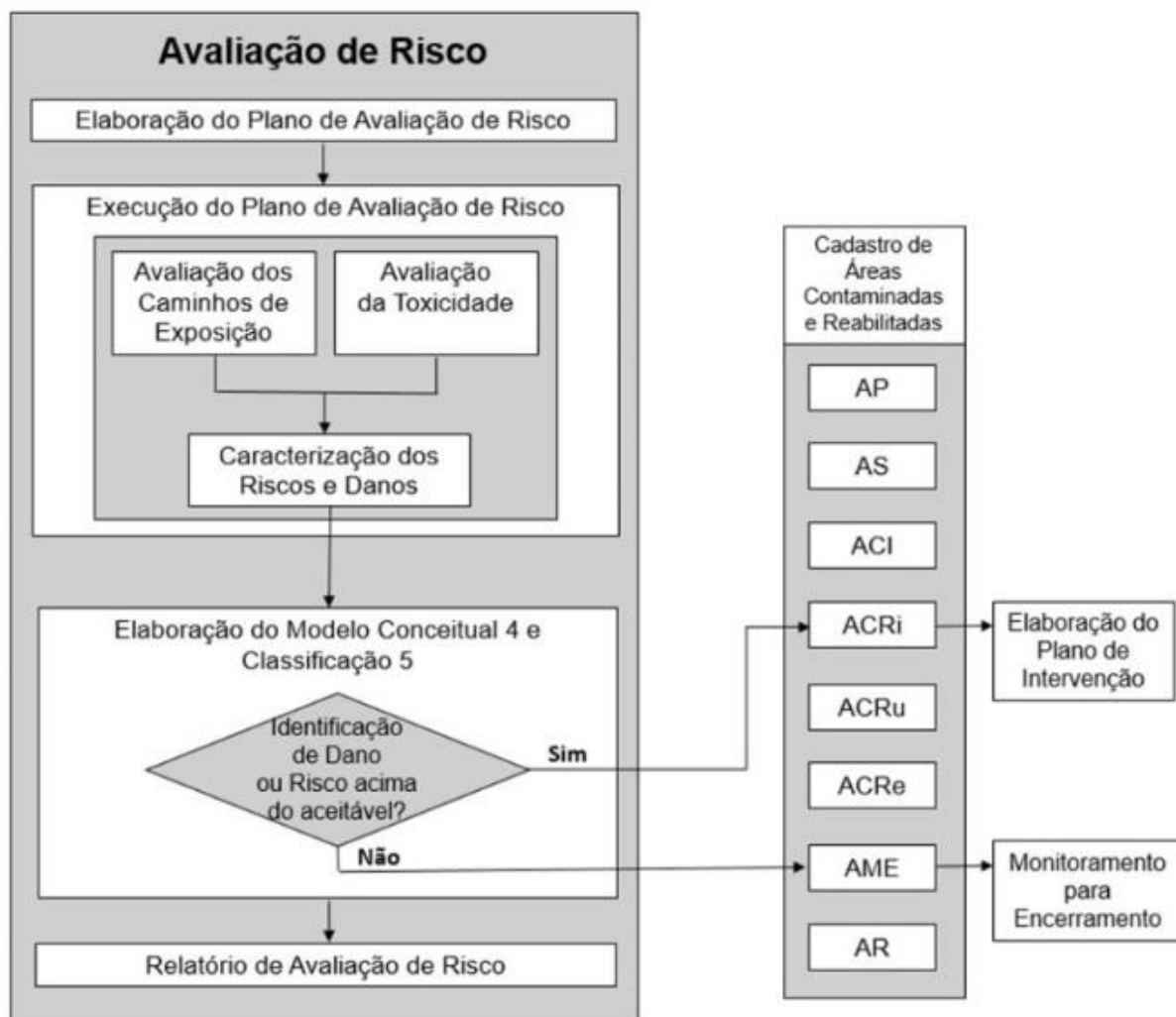
A avaliação de Risco possui o intuito de identificar e caracterizar os riscos acima dos níveis aceitáveis, orientados pelo órgão ambiental vigente, ou mesmo os danos gerados pela exposição de bens a proteger às substâncias químicas de interesse (SQI) (CETESB, 2022).

Os objetivos específicos e as principais atividades relacionadas a etapa de Avaliação de Risco estão listadas a seguir:

- Caracterizar os caminhos de exposição potenciais e reais;
- Caracterizar os riscos aos bens a proteger;
- Caracterizar os danos aos bens a proteger;
- Definir o quarto modelo conceitual da área (MCA 4);
- Propor nova classificação da área em avaliação (*Classificação 5*);
- Verificar a necessidade de continuidade do GAC;
- Identificar os responsáveis legais e solidários.

Os resultados obtidos, bem como a interpretação das informações geradas, deverão ser suficientes para permitir a atualização da classificação da área e, conseqüentemente, gerar informações para a Execução do Plano de Intervenção ou Plano de Monitoramento para Encerramento (CETESB, 2022). As etapas da Avaliação de Risco estão descritas na figura 8 abaixo:

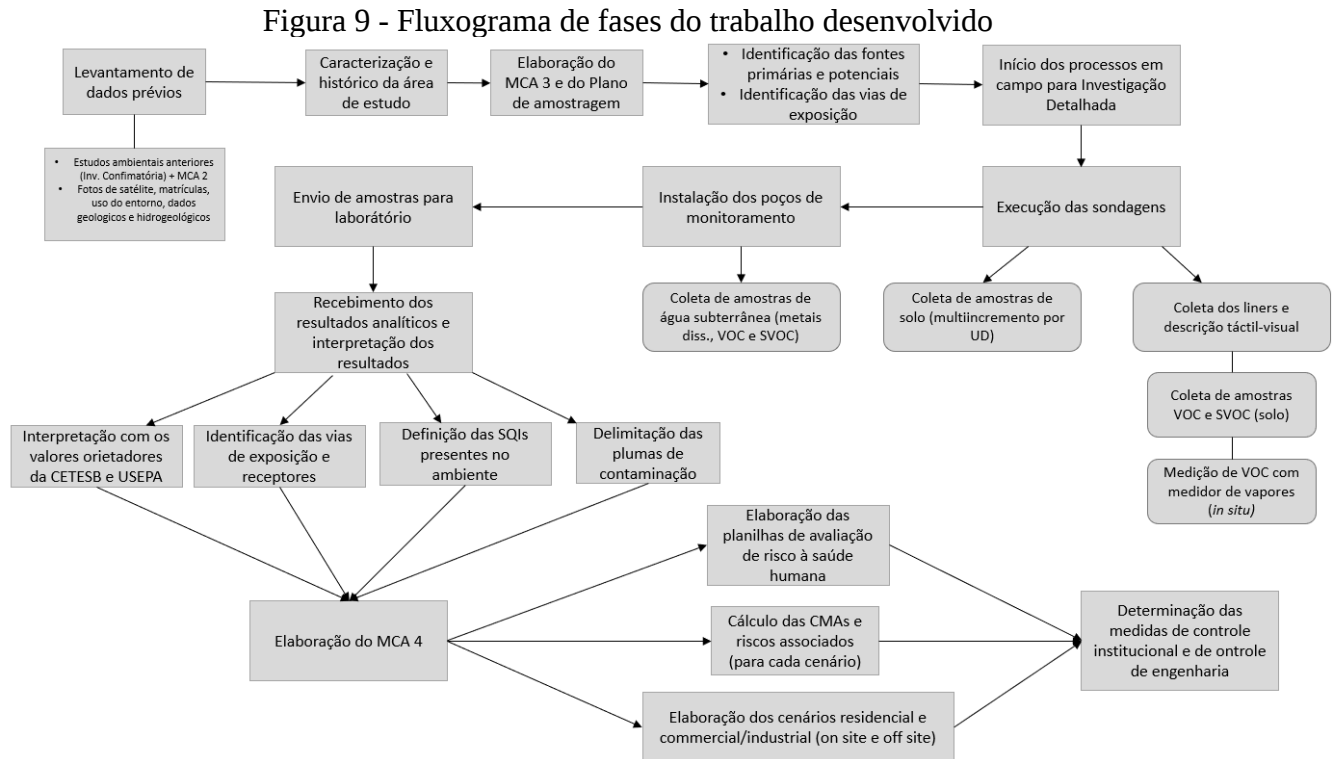
Figura 8 - Etapas envolvidas no processo de Avaliação de Risco de áreas contaminadas



Fonte: CETESB, 2022

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de investigação ambiental desenvolvido no estudo, envolveu as seguintes etapas descritas no modelo apresentado no fluxograma da figura 9 abaixo:



Fonte: Próprio autor

4.1 Levantamento de dados prévios

A etapa de levantamento de dados e informações prévias consistiu na pesquisa, revisão e consolidação das informações disponíveis sobre a área de estudo e seu entorno. Foi feita a seleção dos documentos prévios e informações referentes ao histórico de ocupação da área, manuseio de substâncias, identificação das fontes potencialmente geradoras de contaminação, visando constatar a ocorrência de contaminação no ambiente. Os documentos consistiram em plantas, croquis, mapas, fotos aéreas, de domínio público na Internet ou em processos administrativos prévios da CETESB, que podem ser consultados através de agendamento com o órgão ambiental.

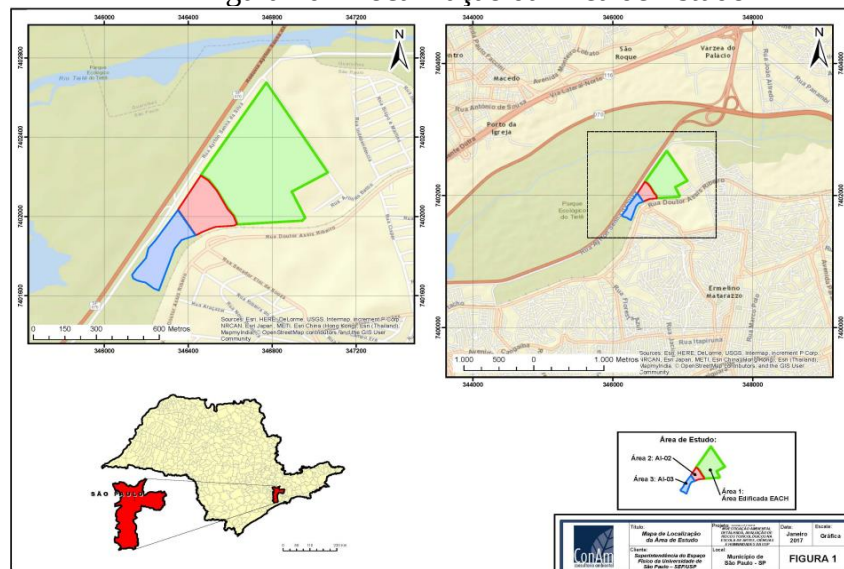
A área possuía poços de monitoramento previamente instalados na área, que foram amostrados em estudo anterior de Investigação Confirmatória. Estes poços foram amostrados novamente, como parte do plano de amostragem elaborado para o MCA 3. Ademais, a CETESB

solicitou a instalação de poços de monitoramento e elaboração do Plano de Amostragem para coleta de amostras de solo e água subterrânea, como parte das novas investigações, para a composição do MCA 4, de forma a reavaliar a situação dos contaminantes presentes nos compartimentos do ambiente.

4.1.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende área ocupada pela Escola de Artes e Ciências Humanas (EACH), na USP Leste, localizada no bairro do Parque Ecológico do Tietê, no município de São Paulo, no estado de São Paulo, conforme figura 10 a seguir.

Figura 10 - Localização da Área de Estudo



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental

As áreas de estudo englobam terrenos não edificadas da USP Leste, AI-02 e AI-03, e a área edificada ocupada EACH, denominada AI-01.

O interesse na região está atrelado a seu histórico, à área edificada ocupada pela EACH, AI-01, encontra-se em processo de monitoramento de gás metano. A área de estudo (AI-01 e AI-02) foram áreas de deposição de solo e/ou resíduos de origem desconhecida entre 2011 e 2012. A região foi estudada a fim de atender o processo de investigação ambiental do Plano de Expansão do campus da USP Leste.

4.1.2 *Histórico de ocupação*

A área de estudo está ocupada pelo terreno edificado, AI-01, ocupado pela EACH-USP, onde são exercidas atividades pedagógicas, encontra-se em processo de monitoramento de gás metano. A área de estudo (AI-02 e AI-03) está atrelada às atividades de obras relacionadas à construção e instalação da Universidade de São Paulo, USP Leste, como a deposição de lodo removido do curso do Rio Tietê, pelo DAEE, além da deposição de solo e/ou resíduos de origem desconhecida entre os anos de 2011 e 2012, definidos conforme parecer CETESB, como “solo importado para aterro”.

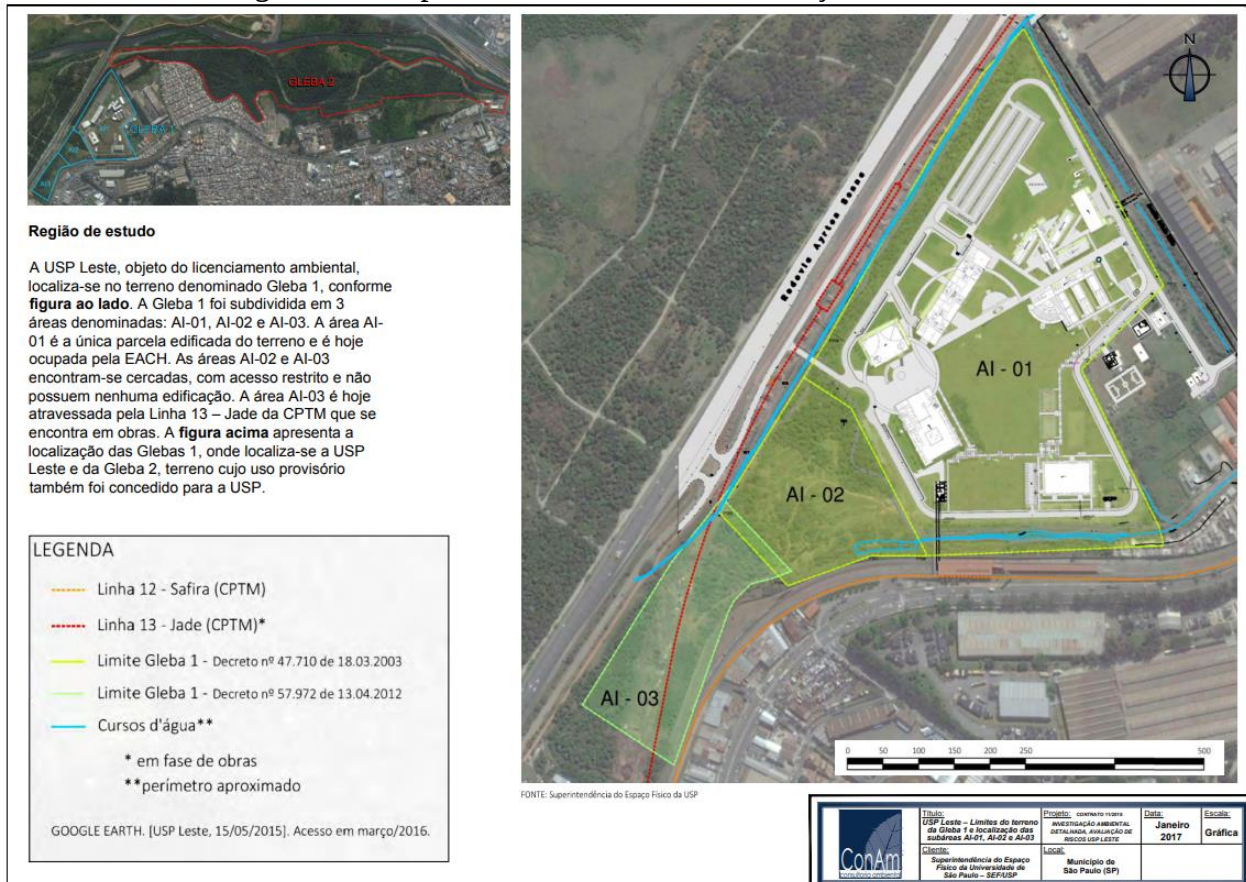
O processo de licenciamento ambiental na área da USP Leste buscou atender às exigências técnicas referentes à obtenção de Licença de Operação (LO) relacionado às atividades de investigação ambiental relacionadas ao Plano de Expansão do campus da USP Leste.

A Universidade de São Paulo solicitou um parecer técnico à CETESB, de forma prévia às intervenções físicas possíveis em um terreno doado à USP, para instalação do Centro de Convenções, Centro de Cultura e Exposições, do Bosque da Chaminé, recomendadas para o projeto de ampliação do campus. No parecer técnico, foi requisitada pelo órgão ambiental, uma investigação da qualidade dos solos, águas subterrâneas, e dos vapores do solo, nas áreas de influência, ocupadas, ou receptoras das atividades na área doada e na Gleba II.

Os estudos ambientais referentes à investigação Detalhada requisitaram uma campanha de monitoramento de água subterrânea, nos poços de monitoramentos prévios e à serem instalados no local. Os relatórios analíticos da campanha de amostragem nos poços monitorados, para os parâmetros de metais totais e dissolvidos, e vapores, junto à avaliação de cenário do uso do solo, foram utilizados para avaliar os possíveis cenários futuros de ocupação da área.

A área edificada encontra-se ocupada pela EACH, enquanto a área de estudo (AI-01 e AI-02), não edificada, encontra-se em área de várzea abandonada, como é possível observar na figura 11 a seguir.

Figura 11 - Mapa limites do terreno e localização das subáreas



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

4.1.3 Caracterização do meio físico

A região em que a área de estudo está situada encontra-se sobre a unidade do Grupo Taubaté, constituído pelas Formações Resende, Tremembé e São Paulo, recobertos pela Formação Itaquaquecetuba. A Bacia Sedimentar de São Paulo (BSP) é uma unidade pertencente ao Rift Continental do Sudeste do Brasil, definido por Riccomini (1989). O Rift Continental do Sudeste do Brasil, consiste em uma feição tectônica, que percorre mais de 1000 km à costa, estando diretamente relacionada à formação de bacias cenozoicas. (Riccomini et. al., 2004)

A região encontra-se sobre solo das planícies fluviais dos Rios Tietê e Pinheiros, que correspondem a depósitos por colúvios argiloso-arenosos, compostos por sedimentos quaternários, como argila, areia e cascalho. (Takiya, 1991).

A área de estudo situa-se em uma região de confluência entre os sedimentos da Formação São Paulo (argila, areia e cascalho) e a planície fluvial do Rio Tietê (argila, areia e cascalho). Os

terrenos que representam o embasamento da BSP são caracterizados essencialmente por duas unidades geológicas, separadas pelas falhas de Taxaquara e Rio Jaguari e rochas granitoides intrusivas. Ao sul das falhas estão as rochas pertencentes ao Complexo Embu, e o conjunto situado na região Norte é formado pelo Grupo São Roque e Grupo Serra do Itaberaba. O preenchimento sedimentar dessa bacia consiste em depósitos continentais Paleógenos e Neógenos, gerados por intensa sedimentação fluvial, e coberturas colúvio-aluviais quaternárias (Riccomini, 1989).

4.2 Elaboração do modelo conceitual

Baseado nas informações e dados prévios, levantados na etapa anterior, elaborou-se o modelo conceitual que compreende a representação visual das áreas investigadas, as características do meio físico e dos processos envolvidos na simulação do transporte e dinâmica de contaminantes na área de estudo.

A execução do modelo conceitual envolveu a identificação e caracterização da área fonte, fontes primárias e secundárias de contaminação, definição das SQI, compreensão dos mecanismos envolvidos na evolução da contaminação e identificação das vias de exposição e potenciais fontes receptoras na área de interesse e seu entorno.

4.2.1 Identificação das fontes potenciais

A partir da combinação de dados e informações levantadas das atividades executadas em campo, identificou-se a principal fonte potencial de contaminação primária como sendo o material de aterro de origem desconhecida, que foi disposto entre os anos de 2010 e 2011, na AI-02, podendo ser considerada também como fonte primária o material de dragagem do Rio Tietê, utilizado para aterramento da USP Leste durante sua construção em 1960.

As fontes secundárias de contaminação estão relacionadas à distribuição espacial dos contaminantes que se propagaram a partir das fontes primárias. As plumas de contaminação de fase retida ou gasosa no solo, e fase dissolvida em água subterrânea, realizadas através dos resultados analíticos das amostras coletas nas fontes primárias citadas, foram identificadas como fontes secundárias de contaminação.

4.2.2 *Identificação dos receptores avaliados*

A caracterização dos receptores humanos foi elaborada a partir dos dados populacionais distribuídos em função do tempo e do risco de exposição associado à contaminação. Esses dados estão relacionados ao grau de exposição e representam as condições de exposição dos contaminantes à vida no local (CETESB, 2022).

O grau de exposição está diretamente relacionado ao período de tempo associado, sendo este estabelecido em unidades de horas/dia, enquanto a frequência de exposição é elaborada em dias/ano. (CETESB, 2022).

Os riscos de inalação de partículas, em contato dérmico com água subterrânea, por exemplo, são definidos a partir do tempo de exposição associado. Agora, para os riscos de contato dérmico com o solo, são estabelecidos valores de frequência de exposição (CETESB, 2022).

A associação entre tempo de exposição e frequência, é fundamental para associar o grau de exposição de risco dos contaminantes à saúde da população. Receptores rurais, por exemplo, fazem uso do solo para cultivo de alimentos, estando diretamente expostos à contaminação no solo, de forma mais intensa que os receptores urbanos. Outro exemplo associativo pode ser descrito, quanto ao cenário residencial, o risco de exposição ocorre durante 24 horas por dia, de forma mais intensa, que os receptores nos cenários comercial ou industrial, em que o risco de exposição ocorre em média durante 8 horas por dia (CETESB, 2022).

Os receptores humanos são divididos em função de dois cenários, sendo, estes, residencial (urbano e rural) e comercial/industrial (classe trabalhadora e de obras civis) (CETESB, 2022).

Para identificação das principais vias de exposição, utilizou-se o modelo de exposição para identificar os principais caminhos associados à presença de contaminação em cada cenário.

A figura 12 apresenta o modelo conceitual de exposição para o cenário de uso residencial.

Figura 12 - Modelo conceitual de Exposição – Cenário Residencial

MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO																		
											MEIO FÍSICO	VIAS DE INGRESSO			RESIDENCIAL URBANO			
															CRIANÇA		ADULTO	
						RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE	RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE									
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES	☒ VERDADEIRO	NÃO APLICÁVEL	☒ VERDADEIRO	NÃO APLICÁVEL									
					PARTÍCULAS	☒ VERDADEIRO		☒ VERDADEIRO										
				CONTATO DÉRMICO		☒ VERDADEIRO		☒ VERDADEIRO										
				INGESTÃO		☒ VERDADEIRO		☒ VERDADEIRO										
				INGESTÃO DE VEGETAIS		☒ VERDADEIRO		☒ VERDADEIRO										
		SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS	☐ FALSO		☐ FALSO										
					AMBIENTES FECHADOS	☐ FALSO		☐ FALSO										
			INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA DILUIÇÃO			☐ FALSO	☐ FALSO	☐ FALSO	☐ FALSO									
	ÁGUA	SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO									
					AMBIENTES FECHADOS	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO									
			USO IRRESTRITO	CONTATO DIRETO	CONTATO DÉRMICO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO									
					INGESTÃO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO	☒ VERDADEIRO									
		SUPERFICIAL	RECREAÇÃO	INALAÇÃO		NÃO APLICÁVEL	☐ FALSO	NÃO APLICÁVEL	☐ FALSO									
				INGESTÃO			☐ FALSO		☐ FALSO									
				CONTATO DÉRMICO			☐ FALSO		☐ FALSO									
	SEDIMENTO	INGESTÃO			NÃO APLICÁVEL	☐ FALSO	NÃO APLICÁVEL	☐ FALSO										
		CONTATO DÉRMICO				☐ FALSO		☐ FALSO										

Fonte: ConAm Consultoria Ambiental

A figura 13 a seguir apresenta o modelo conceitual de exposição para o cenário de uso comercial/industrial.

Figura 13 - Modelo Conceitual - Cenário comercial/industrial

		MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO									
		MEIO FÍSICO	VIAS DE INGRESSO			TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL					
						ADULTO					
						RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE				
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES	☒	VERDADEIRO	NÃO APLICÁVEL			
					PARTÍCULAS	☒	VERDADEIRO				
				CONTATO DÉRMICO			☒		VERDADEIRO		
				INGESTÃO			☒		VERDADEIRO		
				INGESTÃO DE VEGETAIS			NÃO APLICÁVEL				
		SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS		☐	FALSO	☐	FALSO	
					AMBIENTES FECHADOS		☐	FALSO	☐	FALSO	
			INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIMAÇÃO			☐	FALSO	☐	FALSO		
		ÁGUA	SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS		☒	VERDADEIRO	☒	VERDADEIRO
						AMBIENTES FECHADOS		☒	VERDADEIRO	☒	VERDADEIRO
	USO IRRESTRITO			CONTATO DIRETO	CONTATO DÉRMICO		☒	VERDADEIRO	☒	VERDADEIRO	
					INGESTÃO		☒	VERDADEIRO	☒	VERDADEIRO	
			SUPERFICIAL	RECREAÇÃO	INALAÇÃO		NÃO APLICÁVEL		☐	FALSO	
		INGESTÃO			☐	FALSO					
		CONTATO DÉRMICO			☐	FALSO					
SEDIMENTO	INGESTÃO			NÃO APLICÁVEL		☐	FALSO				
	CONTATO DÉRMICO					☐	FALSO				

Fonte: ConAm Consultoria Ambiental

Os principais receptores na área de entorno encontram-se descritos abaixo:

Receptores ON SITE (dentro do local de estudo)

- Cenário residencial: possíveis moradores da área (adulto e criança)
- Cenários comercial e industrial: presença de trabalhadores típicos da universidade (vigilantes e jardineiros), trabalhadores de possíveis obras civis, e alunos, que podem interagir com os compartimentos do meio ambiente da AI-02.

Receptores OFF SITE (raio do entorno de 300 m da área de estudo)

- Cenário residencial: futuros moradores no entorno da área de estudo (adultos e crianças).
- Cenários comercial e industrial: futuros trabalhadores comerciais da comunidade vizinha.

4.2.3 Vias de exposição

As vias de exposição foram definidas a partir dos levantamentos de campo, entrevistas e pesquisa de dados públicos, visando desenhar possíveis caminhos de exposição que um contaminante pode percorrer nos cenários de ocupação da situação atual e futura.

Os caminhos de exposição potenciais ou reais envolvem os principais percursos que uma SQI pode percorrer, desde sua fonte primária de contaminação até os compartimentos ambiente, e os receptores envolvidos (CETESB, 2022).

Para que seja realizada a definição das possíveis vias de exposição, é importante identificar e quantificar os riscos associados, a partir da refinagem de dados, como:

- Caracterização da concentração das fontes primária e secundária.
- Delimitação das plumas de contaminação.
- Descrição dos fenômenos de transferência de massa da SQI das fontes de contaminação entre os compartimentos do ambiente.
- Descrição dos fenômenos de exposição potencial ou real dos bens a proteger estabelecidos.

Os cenários levantados, para simular uma possível alteração do uso do solo, seja em cenário residencial ou comercial/industrial, consideraram as seguintes vias de exposição abaixo, tanto *on site*, quanto *off site*.

- Inalação de vapores e de partículas a partir do solo superficial.
- Contato dérmico com o solo.
- Ingestão de solo.
- Ingestão de vegetais.
- Inalação de vapores em ambientes abertos e fechados a partir de água subterrânea.
- Contato dérmico com a água subterrânea.
- Ingestão de água subterrânea.

Foram levados em consideração, especialmente, as características dos compostos químicos de interesse presentes na área, sendo os compostos avaliados, o Benzo(a)pireno, em fase retida no

solo, um composto semivolátil; benzeno e etilbenzeno, em fase dissolvida, um composto altamente volátil.

4.2.4 *Descrição dos cenários de exposição adotados*

A partir dos modelos conceituais adotados, expressos nas figuras 9 e 10, elaborou-se os principais cenários de exposição, em avaliação on site e off site, para os cenários residencial e comercial/industrial. Assim, foram identificadas as principais vias de exposição, bem como, os principais corpos receptores associados a ocorrência de contaminações para cada cenário.

- Cenário 1 (residencial – on site): cenário residencial efetivamente na área de estudo, no qual os receptores residenciais, podem sofrer exposição por inalação em ambientes abertos e fechados a partir da água subterrânea, como contato dérmico e ingestão de água subterrânea.
- Cenário 2 (residencial – off site): cenário residencial no entorno da área de estudo, no qual os corpos receptores podem sofrer exposição por inalação em ambientes abertos e fechados a partir da água subterrânea, como contato dérmico e ingestão de água subterrânea.
- Cenário 3 (comercial/industrial – on site): cenário comercial efetivamente na área de estudo, no qual os receptores comerciais, podem sofrer exposição por inalação em ambientes abertos e fechados a partir da água subterrânea, como contato dérmico, ingestão de partículas de solo e água subterrânea.
- Cenário 4: cenário comercial de ocorrência no entorno da área de estudo, no qual os receptores comerciais podem sofrer exposição por inalação em ambientes abertos e fechados a partir da água subterrânea, como contato dérmico, ingestão de partículas de solo e água subterrânea.
- Cenário 5: cenário de exposição dos trabalhadores de obras na área de estudo, no qual os receptores, podem sofrer exposição por inalação em ambientes abertos e fechados a partir da água subterrânea, como contato dérmico, ingestão de partículas de solo e água subterrânea.

As vias de exposição de ingestão e contato dérmico com a água subterrânea foram considerados com o intuito de adotar os cenários restritivos, uma vez que a utilização de água

subterrânea não seria possível devido a constatação prévia de contaminações na área em estudo ambientais anteriores.

4.2.5 Substâncias químicas de interesse

O cálculo de risco foi realizado a partir das maiores concentrações obtidas para cada SQI. A presença das concentrações das SQI nos compartimentos do ambiente foi identificada a partir do monitoramento dos pontos de exposição, junto à realização de análises químicas coletadas nos pontos de exposição. (CETESB, 2022)

As concentrações das SQI foram avaliadas para identificação de pontos em que a concentração máxima aceitável tenha sido excedida, estando acima do valor de intervenção estabelecido para o cenário.

O maior valor de ocorrência para os compostos de benzo(a)pireno, benzeno, etilbenzeno, 1,2,4,-trimetilbenzeno, cobalto dissolvido e bário dissolvido, encontram-se expressos na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Parâmetros químicos de interesse

Parâmetro	Ponto de maior concentração	Concentração (mg/kg)
Solo superficial		
Benzo(a)pireno	ST/PM-7	2,98
Água subterrânea		
Bário dissolvido	PM-12	1,31
Cobalto dissolvido	PM-12	0,104
Benzeno	PM-04	0,0653
Etilbenzeno	PM-06	0,338

Fonte: Próprio autor

4.3 Investigação Detalhada

Identificados os principais passivos na área de estudo, com base nas informações e dados prévios, e elaborado o modelo conceitual, iniciou-se a etapa de Investigação Detalhada, com o objetivo de atualizar e aprimorar o modelo conceitual da área, gerando uma nova versão para o planejamento de uso futuro da área de estudo.

A Investigação Detalhada ocorreu através da instalação de poços de monitoramento de água subterrânea; amostragem e coleta de solo e de água subterrânea, seguidas de análises químicas em ensaios laboratoriais. Esses resultados analíticos servem como base para delimitar a distribuição da pluma de contaminantes em fase dissolvida ou gasosa.

A instalação dos poços de monitoramento multiníveis de água subterrânea foi realizada conforme as normas técnicas específicas na ABNT NBR 15.495-1 e 15-495-2. A amostragem e coleta de solos foram realizadas conforme as diretrizes da ABNT NBR 16.434.

4.3.1 *Aspectos geológicos*

A geologia do local foi determinada a partir de 564 sondagens executadas para amostragem de solo multi incremento, com amostras espaçadas de 1 metro. De forma geral, o local de estudo encontra-se sob uma camada de aterro, com porções de areia, e outras de argila. Essas camadas de aterro apresentam principalmente entulho de construção civil, madeiras e raízes. Abaixo da camada de aterro encontra-se a ocorrência de sedimentos aluvionares compostos por argilas orgânicas, argilas orgânicas plástica; há a ocorrência de materiais sedimentares quaternários, como os depósitos fluviais, onde ocorrem argilas, lamas ricas em matéria orgânica, bem como areias e cascalhos, estado relacionada a ocorrência do material de aterro da dragagem do Rio Tietê.

Além disso, as sondagens executadas para a construção dos poços de monitoramento na AI-02, apresentaram predomínio de “Areia média argilosa, variegada (marrom claro, amarelo, cinza claro, bege avermelhado), com a presença de entulho”, podendo ser denominado como “Aterro de solo de origem desconhecida”.

Os locais que não possuem solo de aterro de origem desconhecida apresentaram predominantemente, em sua superfície, “Argila com matéria orgânica (raízes), de cor marrom escuro, marrom claro, e marrom avermelhado/amarelado e pode ocorrer com a presença de entulho”.

4.3.2 *Aspectos hidrogeológicos*

Os aspectos hidrogeológicos da área foram definidos a partir da combinação de informações quanto à malha dos poços instalados, à topografia e geomorfologia locais, sendo assim possível estabelecer um fluxo direcional das águas subterrâneas.

Os poços de monitoramento foram instalados no Parque Tietê, e no córrego que atravessa as áreas de influência definidas dentro da USP Leste.

Na área da USP Leste, o nível freático variou entre 0,73 m a 4,53, para os poços rasos. Para os poços profundos, o nível d'água variou entre 0,66m e 7,50 m. A amplitude de valores constatados na área se justifica em função da grande quantidade de poços instalados dentro de uma área grande, com variações de declividade. A carga hidráulica, no local de estudo, variou entre 723,04 m (PM-12) e 726,02 (PM-36), para os poços rasos, e entre 721,40 (PMN-14) e 725,05 (PMN-04).

No Parque Tietê, o nível d'água, variou entre 0,82 m (PM-21) e 1,48 m (PM-28) nos poços rasos, enquanto, nos poços profundos o nível d'água variou entre 1,1m (PMN-21) e 2,48 m (PMN-27). A carga hidráulica, do parque à margem da rodovia Ayrton Senna, variou entre 721,354 (PM-22) e 724,727 (PM-28), para os poços rasos, e entre 720, 699 (PMN-23) e 724, 791 (PMN-28), para os poços profundos. As cargas hidráulicas foram utilizadas para a elaboração dos mapas potenciométricos.

O mapa potenciométrico dos poços de monitoramento rasos encontra-se na figura 14 abaixo:

Figura 14 - Mapa potenciométrico dos poços de monitoramento rasos



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

O mapa potenciométrico dos poços de monitoramento profundos encontra-se na figura 15 abaixo:

Figura 15 - Mapa potenciométrico dos poços de monitoramento profundos



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental

A partir dos dados construtivos dos poços de monitoramento, foi elaborada a tabela 2 abaixo, que descreve o sentido do fluxo de água subterrânea.

Tabela 2 - Diferença de cargas hidráulicas em poços rasos e profundos das áreas AI-02 e AI-03

Poço raso/profundo	Carga hidráulica Poços rasos	Carga hidráulica Poços profundos	Sentido do Fluxo
PM-04B/PMN-04	724,95	725,01	Levemente Ascendente
PM-06/PMN-06	723,86	723,79	-
PM-08/PMN-08	725,04	725,05	-
PM-10/PMN-10	723,94	724,06	Levemente Ascendente
PM-12/PMN-12	723,04	722,47	Levemente Descendente
PM-14/PMN-14	723,32	721,4	Levemente Descendente
PM-15/PMN-15	724,76	724,73	-
PM-17/PMN-17	723,14	723,45	Levemente Ascendente

Fonte: Próprio Autor

Levando em consideração as características apresentadas quanto aos dados do levantamento topográfico abaixo, foram constatados os fluxos de águas subterrâneas descritos abaixo:

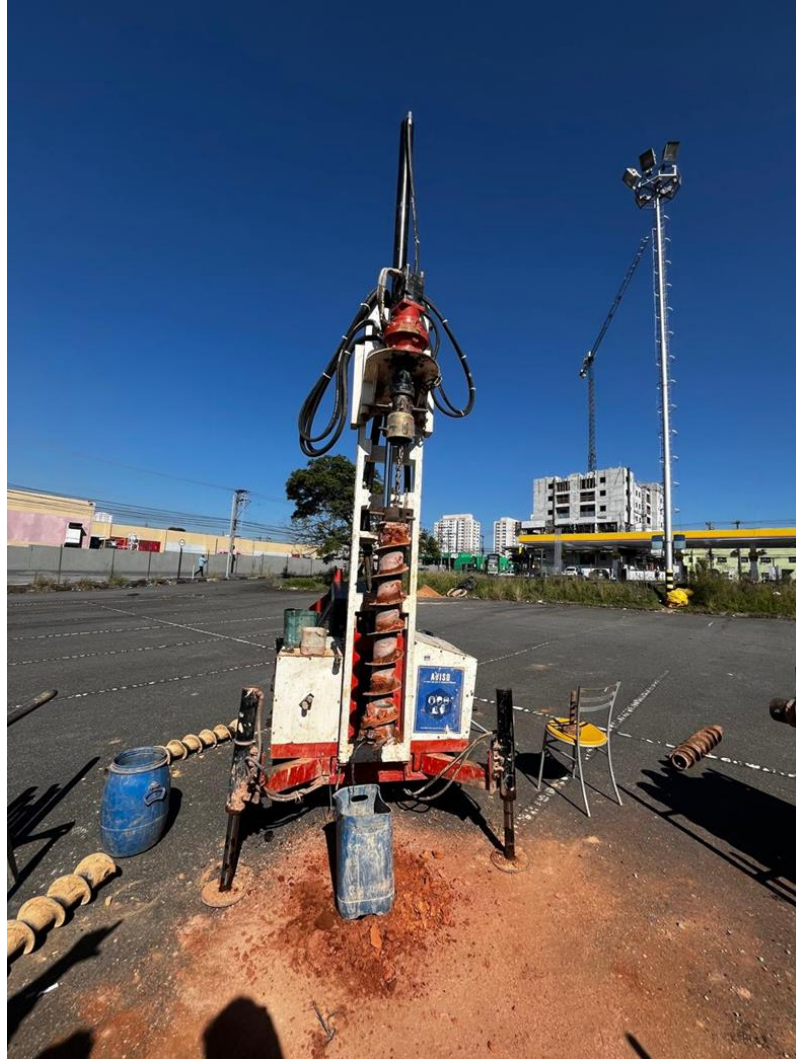
- AI-01, AI-02 e AI-03: O fluxo preferencial das águas subterrâneas no aquífero raso corre no sentido Oeste, em direção ao córrego que fica entre a à Rodovia Ayrton Senna
- No Aquífero profundo, o sentido de fluxo subterrâneo, assume uma tendência radial, de sudoeste a nordeste, sentido Rodovia Ayrton Senna.
- No parque Tietê, o fluxo das águas subterrâneas no aquífero raso, encontra-se no sentido sudoeste. No aquífero profundo, o sentido preferencial das águas ocorre em sentido ao Sul.

4.3.3 Execução de sondagens

A execução das sondagens e amostragem do solo, foram elaboradas com o objetivo de identificar os perfis do solo presentes na região, através da análise tátil-visual, para elaborar a caracterização litológica do solo local.

A perfuração do solo para permitir a recuperação dos *liners* foi elaborada através do trado helicoidal exemplificado na figura 16 abaixo.

Figura 16 - Máquina de perfuração do solo com trado helicoidal



Fonte: Próprio autor

O sistema utilizado para a coleta das amostras de solo, Geoprobe, consiste na perfuração com a ponteira fechada, até a profundidade desejada. A ponteira é essencial para coletar devidamente os materiais das camadas de solo.

Durante a perfuração, o solo é retido dentro do sistema, em tubos plásticos acoplados, denominados *liners*. As amostras foram recuperadas a cada um 1 metro de solo recuperado pelo *liner* após a perfuração.

A execução de sondagem manual para retirada de *liner* está exemplificada na Figura 17 abaixo:

Figura 17 - Execução de sondagem manual para retirada do liner



Fonte: Próprio autor

4.3.4 Instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea

A instalação dos poços de monitoramento foi elaborada com o intuito de identificar e descrever a caracterização geológica dos solos e, principalmente, avaliar a qualidade da água subterrânea.

As sondagens e instalação dos poços de monitoramento foram executadas a montante e à jusante, do rio que deságua no leito da planície fluvial do Rio Tietê, a fim de delimitar a presença de contaminantes no local de estudo. Foram realizadas 57 sondagens, através do método de perfuração rotativa a trado helicoidal de 7'', com posterior construção de 57 poços de monitoramento, revestido com revestimento de tubo PVC geomecânico, sendo que foram utilizadas, seção filtrante de 2,0 m nos poços rasos, a fim de cobrir a camada de aterro mais superficial; seção filtrante de 1,0 m nos poços profundos, para cobrir as camadas de maior condutividade hidráulica.

O espaço anelar entre o diâmetro da perfuração da sondagem e o revestimento de PVC foi preenchido por pré-filtro de areia lavada até 1,0m antes do início do filtro. O revestimento superior foi recoberto por uma argila expandida, chamada bentonita. Por fim, o selo sanitário foi recoberto com uma camada de 20 cm de cimento.

A Figura 18 abaixo representa a tampa de abertura de um poço de monitoramento instalado.

Figura 18 - Tampa de abertura de poço de monitoramento instalado



Fonte: Próprio autor

A alocação dos poços de monitoramento foi elaborada observando os estudos ambientais anteriores da área, junto às características observadas durante as sondagens multi-incremento, como presença de odor e borras, a fim de avaliar os locais com maior probabilidade de ocorrência de contaminantes.

Instalados os poços de monitoramento foram coletados os parâmetros de profundidade do poço, nível d'água e cota topográfica. Os valores de profundidade e nível d'água foram anotados na tampa de todos os poços construtivos, para melhor reconhecimento em caso de futuras atividades que envolvam detalhes da investigação ambiental. Os resultados estão detalhados nas tabelas 3 e 4 a seguir.

Tabela 3 - Dados potenciométricos de poços de monitoramento – PM-01 a PM-15

Poço de Monitoramento	Cota Topográfica (m)	Profundidade do Poço (m)	Nível d'água (m)	Carga Hidráulica (m)
PM-01 AI-01	-	5	3,85	-
PM-04 AI-01	729,574	4,92	3,47	726,104
PM-17 AI-01	728,626	5,05	3,01	725,616
PM-06 AI-01	729,269	4,32	1,22	728,049
PM-38 AI-01	730,009	4,3	1,53	728,479
PM-27 AI-01	730,173	5,08	3,45	726,723
PM-39 AI-01	729,427	5,1	1,49	727,937
PM-15 AI-01	728,735	9,11	6,99*	721,745*
PM-27A AI-01	730,216	9,09	7,5	722,716
PM-39A AI-01	729,535	8,8	6,92	722,615
PM-01	-	4,1	3,03	-
PM-03	-	3,76	1,89	-
PM-04A	728,589	4,28	3,64	724,949
PM-05	726,66	3,9	3,21	723,45
PM-06	726,488	3,68	2,63	723,858
PM-07	726,622	3,15	2,97	723,652
PM-08	726,973	3,56	1,93	725,043
PM-09	725,885	4,16	2,16	723,725
PM-10	724,78	3,1	0,84	723,94
PM-11	724,742	3,89	1,43	723,312
PM-12	725,661	4,47	2,62	723,041
PM-13	725,704	3,65	1,88	723,824
PM-14	725,65	3,25	2,33	723,32
PM-15	726,848	3,31	2,09	724,758

*= Poço de monitoramento profundo

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Dados potenciométricos de poços de monitoramento – PM-35 a PMN-11

Poço de Monitoramento	Cota Topográfica (m)	Profundidade do Poço (m)	Nível d'água (m)	Carga Hidráulica (m)
PM-16	724,948	3,42	0,73	724,218
PM-17	724,503	3,73	1,36	723,143
PM-18	-	4,32	2,61	-
PM-19	726,078	5,2	2,53	723,548
PM-20	726,662	5,07	2,75	723,912
PM-31	728,62	6	3,79	724,83
PM-32	728,28	7	3,97	724,31
PM-33	728,5	6,01	4,53	723,97
PM-34	726,534	5,13	2,49	724,044
PM-35	728,323	5,16	3,38	724,943
PM-36	728,322	5,2	2,3	726,022
PM-37	728,666	6	3,93	724,736
PMN-01	-	10,01	4,78	-
PMN-03B	-	9,51	5,55	-
PMN-04	728,617	8,78	3,61	725,007
PMN-06	726,42	8,3	2,63	723,79
PMN-08	-	8,61	1,89	-
PMN-10	724,715	6,9	0,66	724,055
PMN-11	-	5,91	1,66	-
PMN-12	725,649	9,05	3,18	722,469
PMN-14	724,784	8,35	3,38	721,404
PMN-15	726,847	7,14	2,12	724,727
PMN-17	724,545	6	1,1	723,445

Fonte: Próprio autor

A tabela 5, com os principais aspectos e coordenadas de localização dos poços de monitoramento, encontra-se abaixo:

Tabela 5 Principais aspectos construtivos dos poços de monitoramento

Poço	Coordenadas SIRGAS (2000)	Poço	Coordenadas SIRGAS (2000)
PM-01	346.574,956 E 7.401.977,57 N	PMN-12	346.403,929 E 7.402.084,339 N
PMN-01	346.574,882 E 7.401.977,357 N	PM-13	346.495,71 E 7.402.089,378 N
PM-03	346.553,719 E 7.402.072,971 N	PM-14	346.431,714 E 7.402.083,677 N
PMN-03	346.551,939 E 7.402.074,32 N	PMN-14	346.465,756 E 7.402.120,318 N
PMN-03b	346.551,939 E 7.402.074,32 N	PM-15	346.400,47 E 7.401.913,524 N
PM-04	346.503,082 E 7.401.980,039 N	PMN-15	346.401,37 E 7.401.913,577 N
PM-04a	346.503,082 E 7.401.980,039 N	PM-16	346.254,077 E 7.401.656,916 N
PMN-04	346.504,629 E 7.401.980,462 N	PM-17	346.208,874 E 7.401.749,544 N
PM-05	346.420,593 E 7.402.043,256 N	PMN-17	346.209,3 E 7.401.748,59 N
PM-06	346.414,739 E 7.402.011,074 N	PM-18	346.385,485 E 7.402.008,576 N
PMN-06	346.415,287 E 7.402.012,004 N	PM-19	346.396,44 E 7.402.001,748 N
PM-07	346.471,925 E 7.402.058,076 N	PM-20	346.416,684 E 7.401.997,59 N
PM-08	346.427,846 E 7.401.944,164 N	PM-31	346.539,843 E 7.401.993,633 N
PMN-08	346.427,230 E 7.401.943,49 N	PM-32	346.488,491 E 7.402.033,24 N
PM-09	346.350,943 E 7.401.936,861 N	PM-33	346.523,619 E 7.402.036,081 N
PM-10	346.335,142 E 7.401.870,64 N	PM-34	346.427,724 E 7.402.014,257 N
PMN-10	346.335,137 E 7.401.871,495 N	PM-35	346.504,946 E 7.401.972,133 N
PM-11	346.244,097 E 7.401.845,589 N	PM-36	346.491,338 E 7.401.977,734 N
PMN-11	346.244,902 E 7.401.846,455 N	PM-37	346.503,012 E 7.401.993,922 N
PM-12	346.431,718 E 7.402.083,683 N		

Fonte: Próprio autor

A localização dos poços de monitoramento na AI-01 está expressa na Figura 19 abaixo:

Figura 19 - Localização dos poços de monitoramento na AI-01



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

A localização dos poços de monitoramento na AI-02 e AI-03 encontram-se expressos na figura 20:

Figura 20 - Localização dos poços de monitoramento AI-02 e AI-03



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

4.3.5 Amostragem do solo

As amostras de solo foram executadas nas 19 unidades de decisão, entre profundidades de 0,30 a 1,00 m, sendo coletadas 4 amostras por unidade de decisão. Durante o processo de perfuração das sondagens multiincremento, as principais características, como odor, iridescência, ocorrência de borras de possíveis agentes contaminantes, foram considerados indícios de potencial fonte de contaminação.

Os *liners* são retirados a cada metro de solo perfurado com o trado manual, assim após ser efetuada dos tubos, estes foram abertos com o equipamento adequado de corte, a fim de separar as amostras de solo foram coletadas e separadas em dois processos principais. Os procedimentos executados foram estabelecidos pela ABNT NBR 16.434. A figura 18 demonstra liners estendidos para elaboração táctil-visual.

Uma parte das amostras foram acondicionadas em sacos plásticos auto selantes, para que fosse efetuada a medição de voláteis, com o aparelho detector PID e equipamento leitor de gases Landtec GEM 500.

Outra parte das amostras de solo foram alocadas em frascos de vidro, e enviadas para análise laboratorial dos compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (VOC e SVOC). As alíquotas de solo foram homogeneizadas, peneiradas e quarteadas para obtenção do volume necessário para cada alíquota. Cada amostra foi identificada e armazenada a temperatura inferior a 4°C em recipiente térmico, a fim de preservar a qualidade da amostra, evitando sua deterioração. A figura 21 contém os *liners* de sondagem para cada 1,00 metro de solo, que foram armazenados em seus respectivos recipientes para a coleta de amostras de solo.

Figura 21 - *Liners* de sondagem com equipamento de corte



Fonte: Próprio autor

A figura 22 representa as amostragens de solo, em sacos auto selantes, para compostos orgânicos semivoláteis (SVOC).

Figura 22 - Figura 20 - Amostragem de solo (SVOC) de uma UD



Fonte: Próprio autor

A figura 23 representa as amostragens de solo, em frascos de laboratório, para compostos orgânicos (VOC).

Figura 23 - Amostragem de solo (VOC) de uma UD



Fonte: Próprio autor

As amostras de solo foram executadas nas 19 unidades de decisão, entre profundidades de 0,30 a 1,00 m, sendo coletadas 4 amostras por unidade de decisão. Durante o processo de perfuração das sondagens multi incremento, as principais características, como odor, iridescência, ocorrência de borras de possíveis agentes contaminantes.

A figura 24 representa as localizações das amostragens de solo multiincremento nas Unidades de Decisão estabelecidas para as áreas AI-02 e AI-03:

Figura 24 - Localização das amostragens de solo nas UD's



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

4.3.6 Amostragem de água subterrânea

A coleta de amostras de água subterrânea foi elaborada pelo método de baixa-vazão, com a purga dos poços em acordo com as normas estabelecidas pela ABNT NBR 15.847/2010. O procedimento consiste no controle da entrada de água, em baixa vazão, para amostra, em função do controle do nível de rebaixamento do NA.

A caracterização da qualidade da água, é elaborada para fins de exames e análises, devendo-se obedecer a cuidados e técnicas adequados, com volume e número de amostras condizentes com o total de poços de monitoramento avaliados. A padronização dos exames e métodos de análise é fundamental para a caracterização da qualidade da água (Braga, 2002).

As amostras de água subterrânea buscaram compreender os parâmetros indicativos de qualidade da água, sendo eles pH, Condutividade Elétrica (CE), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial de Oxirredução - ORP e Temperatura (°C) e Potencial de Oxi-redução (mV).

Os parâmetros físico-químicos na amostragem encontram-se expressos na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Parâmetros Físico-Químicos medidos na amostragem de água

Poço	N.A. Estabilizado (m)	Temp (°C)	pH	C. E. (μS/cm)	O.D. (ppm)	ORP (mV)
PM-01	2,48	22,13	6,9	1552	N.D.	-114,1
PM-03	1,45	21,8	6,46	1066	N.D.	-9,4
PM-04	3,36	26,16	6,61	1464	N.D.	-111,9
PM-05	2,67	22,73	6,19	385	N.D.	-33,7
PM-06	2,18	22,85	6,37	869	N.D.	-73,3
PM-07	2,9	23,98	7,08	2760	N.D.	-1632
PM-08	1,49	21,81	5,67	185	N.D.	47,6
PM-09	1,51	21,31	5,02	303	1,48	327,9
PM-10	0,49	22,19	5,91	304	0,3	38,2
PM-11	1,09	22,5	6,28	398	0,3	-25,7
PM-12	2,26	22,93	6,03	508	N.D.	16,5
PM-13	1,53	24,08	6,4	1009	N.D.	-58,4
PM-14	2,32	20,97	6,18	1161	0,14	-98,2
PM-15	1,9	22,63	5,41	186	3,63	53,3
PM-16	0,7	24,21	6,44	705	N.D.	-20,1
PM-17	1,41	22,39	6,79	682	0,43	93,9
PM-18	2,79	22,06	5,77	556	1,71	141,5
PM-19	3,54	21,57	6,18	564	N.D.	115,4
PM-20	3,86	21,96	6,81	1546	2,05	65,7
PM-31	3,96	23,26	7,19	1669	N.D.	-163,6
PM-32	5,07	22,79	5,56	420	0,41	-26
PM-33	4,38	21,84	6,28	1062	0,57	-118,1
PM-34	3,05	21,99	5,82	303	N.D.	132
PM-35	3,5	21,72	6,69	1055	N.D.	-110,7
PM-36	3,4	22,85	5,34	264	0,61	170,4
PM-37	4,15	22,44	7,08	1613	0,12	-93,2
PMN-01	4,61	21,87	5,65	171	N.D.	199
PMN-03	7,11	21,26	5,75	609	0,24	-64,7
PMN-04	3,78	21,83	4,88	209	N.D.	176,3
PMN-06	2,54	21,84	5,8	360	0,12	-147,4
PMN-08	2,6	21,15	6,25	290	0,01	-200,9
PMN-10	0,89	21,18	6,05	300	0,21	-60,6
PMN-11	1,34	21,93	5,71	243	N.D.	136,3
PMN-12	3,4	21,49	5,97	326	0,16	-176,1
PMN-14	3,49	20,24	5,92	408	0,15	-106,1
PMN-15	2,34	21,71	6,66	417	0,17	74,9
PMN-17	2,43	21,23	6,5	303	0,06	-60,7

Fonte: Próprio autor

O pH em valor próximo à 7,0 é a condição ideal para a produção de CH₄, enquanto, a inundação do solo geralmente causa estabilização do pH do solo entre 6,5 e 7,2. As amostras foram coletadas em frascos de vidro de 50 mL, com preservante de ácido clorídrico. As amostras foram acondicionadas em recipiente térmico com gelo, e encaminhados para o laboratório. A figura 25 representa a amostragem de água subterrânea pelo método de baixa vazão.

Figura 25 - amostragem de água subterrânea pelo método de baixa vazão



Fonte: Próprio autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises dos resultados

Elaboradas as análises laboratoriais, foram utilizados os valores orientadores para “Avaliação de Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” estabelecidos na DD 256/2016 pela CETESB.

Os valores de referência utilizados na área de estudo foram empregados com o intuito de avaliar os possíveis cenários de uso futuro da área de estudo, bem como para elaboração da avaliação de risco à saúde humana.

5.1.1 Resultados analíticos de solo

Os resultados obtidos encontram-se nas tabelas 7 a 12 para as medições dos parâmetros de compostos de metais dissolvidos em contraste com os valores de intervenção da CETESB e da USEPA:

Tabela 7 - Principais resultados analíticos-Solo multi-incremento(0,30m - Metais)–UD-01 a 10

Parâmetros	UD-01 (0,3)	UD-03 (0,3)	UD-04 (0,3)	UD-05 (0,3)	UD-06 (0,3)	UD-07 (0,3)	UD-07 (0,3 dupl.)	UD-07 (0,3 tripl.)	UD-08 (0,3)	UD-09 (0,3)	UD-10 (0,3)	Valor Orientador
Metais (mg/kg)												
Alumínio	10582	11641	5307	14180	9253	16799	19034	14784	12961	17352	9193	77000 ⁽²⁾
Bário	72,3	60,3	40,9	34,7	68,6	67,2	90,1	111,6	36,8	66,1	18	1300 ⁽¹⁾
Chumbo	25,6	31,6	16,6	29	19	24,8	25,8	21,4	19,6	28,5	54,4	240 ⁽¹⁾
Cobalto	< 2,00	< 2,02	< 1,82	< 2,55	2,39	1,98	2,56	2,28	< 1,97	2,25	< 1,99	65 ⁽¹⁾
Cobre	24,1	25,6	30,,5	21,2	26,4	18,7	26,8	23,2	22,8	18,9	12,5	2100 ⁽¹⁾
Cromo	16,2	19,9	9,38	23,1	13,5	18,6	20,3	17,5	88	17,8	10,8	300 ⁽¹⁾
Ferro	13186	18427	14994	21054	9212	10348	11965	10608	16396	12719	5657	55000 ⁽²⁾
Manganês	80,2	56,1	52,1	34	73,6	57,5	83,9	320,4	54,5	78,8	24,4	1800 ⁽²⁾
Níquel	6,62	6,06	5,52	4,98	4,57	5,71	7,71	6,9	3,8	19,8	3,51	480 ⁽¹⁾
Vanádio	33,8	45,2	15	55,9	21,6	33	36,8	31,8	49,5	30,2	13,9	390 ⁽²⁾
Zinco	90,3	100,4	65,7	113,6	94,3	77,7	105,7	88,1	161,3	173,4	75	1800 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção Residencial CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção Residencial USEPA (jun 2015)

Fonte: Próprio autor

Tabela 8 - Principais resultados analíticos-Solo multi-incremento(0,30m-Metais)–UD-11 a 20

Parâmetros	UD-11 (0,3)	UD-12 (0,3)	UD-13 (0,3)	UD-14 (0,3)	UD-15 (0,3)	UD-15 (0,3 dupl.)	UD-15 (0,3 tripl.)	UD-16 (0,3)	UD-17 (0,3)	UD-18 (0,3)	UD-19 (0,3)	UD-20 (0,3)	Valor Orientador
Metais (mg/kg)													
Alumínio	6702	1359	12896	9323	15054	16036	13909	10117	6239	10918	10431	13856	77000 ⁽²⁾
Bário	13,8	4,03	29,1	50,5	37,9	38	99,1	15,1	36,9	18,4	36,8	32,7	1300 ⁽¹⁾
Chumbo	8,01	< 2,42	24,9	13,1	11,5	13,4	15,3	8,61	13,3	10,7	18,1	25,1	240 ⁽¹⁾
Cobalto	< 1,82	< 1,81	< 1,86	3,23	4,1	3,33	4,15	< 1,85	< 1,93	< 1,90	5,02	< 1,72	65 ⁽¹⁾
Cobre	4,06	< 2,42	31,5	6,05	22	19,6	15,7	5,63	12	9,66	21	41,8	2100 ⁽¹⁾
Cromo	15,4	< 5,43	22,1	11	20	21,5	19,9	17,1	10,7	19,9	26,6	13	300 ⁽¹⁾
Ferro	9934	2390	19022	12627	18602	20774	16511	17220	6055	8932	17745	8695	55000 ⁽²⁾
Manganês	23	5,06	52,4	92,1	92,1	120,2	371,1	37,8	42,9	32,6	99,6	46,5	1800 ⁽²⁾
Níquel	< 2,43	< 2,42	4,06	11	11	8,93	6,08	2,56	< 2,57	6,08	20,9	4,52	480 ⁽¹⁾
Vanádio	40,7	5,7	36,3	38,1	38,1	43,3	36,8	41,2	18,3	42,4	36,3	25	390 ⁽²⁾
Zinco	24,3	< 6,04	63,3	73,1	73,1	72,4	63,1	43,4	59	56,1	131,3	116,9	1800 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção Residencial CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção Residencial USEPA (jun 2015)

Fonte: Próprio autor

Tabela 9 - Principais resultados analíticos-Solo multi-incremento (1,00m-Metais)–UD-01 a 10

Parâmetros	UD-01 (1,0)	UD-03 (1,0)	UD-04 (1,0)	UD-05 (1,0)	UD-06 (1,0)	UD-07 (1,0)	UD-07 (1,0 dupl.)	UD-07 (1,0 tripl.)	UD-08 (1,0)	UD-09 (1,0)	UD-10 (1,0)	Valor Orientador
Metais (mg/kg)												
Alumínio	11927	14272	6708	24133	13470	18397	24942	27006	7539	24925	9173	77000 ⁽²⁾
Bário	49,4	42,1	29,3	52,2	48,3	62,1	78,5	347,4	52,6	194	6,65	1300 ⁽¹⁾
Chumbo	27,4	17,9	14,6	18,5	40,3	19,9	22,9	17	16,5	65,7	4,77	240 ⁽¹⁾
Cobalto	< 2,10	< 2,29	< 1,88	< 3,02	< 1,98	< 2,19	< 2,16	< 2,15	4,33	3,35	< 1,94	65 ⁽¹⁾
Cobre	23,2	10,1	45,8	10,1	23,4	13,9	18,7	10,6	14,5	34,1	< 2,58	2100 ⁽¹⁾
Cromo	20,1	14	13,3	19	19,4	18,8	20	18,7	19,7	27,4	8,17	300 ⁽¹⁾
Ferro	14139	6438	14844	3811	10203	9987	11893	9628	10815	18495	6084	55000 ⁽²⁾
Manganês	71,3	15,1	33,6	18,9	62,9	36,6	48,8	32,9	165,8	103,9	10,3	1800 ⁽²⁾
Níquel	8,67	< 3,05	< 2,50	< 4,03	3,19	4,5	7,16	4,51	10,7	10,7	< 2,58	480 ⁽¹⁾
Vanádio	38,8	29	15,4	32,5	30,8	37,1	41	38,4	31	31,9	13,9	390 ⁽²⁾
Zinco	79,8	31,1	40,5	24,6	88,3	39,6	61,6	27,6	90,9	130,1	11,1	1800 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção Residencial CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção Residencial USEPA (jun 2015)

Fonte: Próprio autor

Tabela 10 - Principais resultados analíticos - Solo multi-incremento (1,00m-Metais)–UD-11 a 20

Parâmetros	UD-11 (1,0)	UD-12 (1,0)	UD-13 (1,0)	UD-14 (1,0)	UD-15 (1,0)	UD-15 (1,0 dupl.)	UD-15 (1,0 tripl.)	UD-16 (1,0)	UD-17 (1,0)	UD-18 (1,0)	UD-19 (1,0)	UD-20 (1,0)	Valor Orientador
Metais (mg/kg)													
Alumínio	8124	9414	15990	12129	11044	10373	12170	8183	10449	6511	8586	3367	77000 ⁽²⁾
Bário	23,4	19,5	7,71	39,6	52,6	109,5	64,9	26,9	73,7	47,6	27,8	46,7	1300 ⁽¹⁾
Chumbo	7,95	10,1	4,9	12,1	12,9	12,9	19,6	94,9	23,6	17,5	13,7	4,63	240 ⁽¹⁾
Cobalto	< 1,81	< 1,83	< 1,81	2,52	2,6	7,44	3,89	< 1,93	3,1	2,67	2,71	2,91	65 ⁽¹⁾
Cobre	7,1	116,8	< 2,42	7,78	20,1	19,3	14,5	26,3	31,3	17,4	16,7	2,42	2100 ⁽¹⁾
Cromo	12,1	9,7	12,9	14,9	11,6	13,8	15,9	12,1	17,4	15,6	17,9	54,3	300 ⁽¹⁾
Ferro	6570	7563	11629	13935	11127	16017	18546	10532	7606	6144	12588	4822	55000 ⁽²⁾
Manganês	36,5	41	23,3	92,9	195,1	486,5	282,3	36,6	50,3	41,2	75,4	107	1800 ⁽²⁾
Níquel	< 2,41	2,5	< 2,42	5,11	2,65	4,77	4,67	7,51	< 3,05	7,73	11,7	< 2,37	480 ⁽¹⁾
Vanádio	30	21,4	24,7	21,2	27,3	36,8	38,2	30,5	28,1	26,7	27,7	5,75	390 ⁽²⁾
Zinco	22,5	121,6	28,8	51,8	48,3	53,1	53,5	50,9	90,1	65,6	102,9	49,6	1800 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção Residencial CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção Residencial USEPA (jun 2015)

Fonte: Próprio autor

Tabela 11 - Principais resultados analíticos - Solo (VOC)

Parâmetros	UD-12 (S-336)	US-15 (S-438)	UD-15 (S-439)	UD-16 (S-466)	UD-20 (S-575)	Valor Orientador
VOC (mg/kg)						
Benzeno	< 0,011	< 0,011	< 0,010	0,046	< 0,010	0,08 ⁽¹⁾
Tolueno	< 0,011	< 0,011	< 0,010	1,99	< 0,010	14 ⁽¹⁾
Etilbenzeno	0,219	< 0,011	< 0,010	0,504	< 0,010	0,6 ⁽¹⁾
m,p-Xilenos	1,22	< 0,011	< 0,010	1,72	< 0,010	3,2 ⁽¹⁾
o-Xileno	0,43	< 0,011	< 0,010	0,258	< 0,010	650 ⁽¹⁾
Estireno	< 0,11	< 0,011	< 0,010	0,026	< 0,010	60 ⁽¹⁾
Bromofórmio	< 0,11	< 0,011	< 0,010	< 0,08	0,158	19 ⁽²⁾
Isopropilbenzeno	0,309	< 0,011	< 0,010	< 0,08	< 0,010	1900 ⁽²⁾
n-Propilbenzeno	1,47	< 0,011	< 0,010	< 0,08	< 0,010	3800 ⁽²⁾
1,3,5-Trimetilbenzeno	0,925	< 0,011	< 0,010	< 0,08	< 0,010	780 ⁽²⁾
1,2,4-Trimetilbenzeno	5,76	0,305	0,065	< 0,08	< 0,010	58 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção Residencial CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção Residencial USEPA (jun 2015)

Fonte: Próprio autor

Tabela 12 - Principais resultados analíticos - Solo multiincremento (SVOC)

Parâmetros	UD-04 (0,3)	UD-05 (1,0)	UD-07 (0,3 tripl.)	UD-07 (1,0 tripl.)	UD-13 (0,3)	UD-15 (0,3)	UD-15 (0,3 dupl.)	UD-15 (0,3 tripl.)	UD-15 (1,0)	UD-15 (1,0 dupl.)	UD-15 (1,0 tripl.)	UD-16 (0,3)	UD-16 (1,0)	Valor Orientador
SVOC (mg/kg)														
Fluoreno	< 0,024	< 0,040	< 0,025	0,07	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	2400 ⁽²⁾
Fenantreno	0,264	1,54	0,05	0,66	0,09	0,06	0,08	0,09	0,33	0,06	0,08	< 0,025	0,06	40 ⁽¹⁾
Antraceno	0,06	0,30	< 0,025	0,16	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	0,07	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	4600 ⁽¹⁾
Fluoranteno	0,431	4,59	0,29	1,18	0,69	0,24	0,26	0,30	1,43	0,28	0,34	0,08	0,18	2400 ⁽²⁾
Pireno	0,478	1,98	0,10	0,36	0,11	0,06	0,06	0,07	0,26	0,07	0,08	0,06	0,11	1800 ⁽²⁾
Benzo(a)antraceno	0,298	1,09	< 0,025	< 0,029	0,11	< 0,024	< 0,024	< 0,023	0,22	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	7 ⁽¹⁾
Criseno	0,427	1,10	< 0,025	< 0,029	0,14	< 0,024	< 0,024	0,12	0,25	0,11	0,11	< 0,025	< 0,026	600 ⁽¹⁾
Benzo(b)fluoranteno	0,353	6,63	< 0,025	< 0,029	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	0,23	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	7,2 ⁽¹⁾
Benzo(k)fluoranteno	0,085	< 0,040	< 0,025	< 0,029	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	0,07	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	75 ⁽¹⁾
Benzo(a)pireno	0,257	< 0,040	< 0,025	< 0,029	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	0,18	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	0,8 ⁽¹⁾
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,269	< 0,040	< 0,025	< 0,029	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	8 ⁽¹⁾
Carbazol	< 0,024	< 0,040	< 0,025	0,07	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,023	< 0,025	< 0,024	< 0,024	< 0,025	< 0,026	-

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção Residencial CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção Residencial USEPA (jun 2015)

Fonte: Próprio autor

Avaliando os compostos dos grupos VOC e SVOC, sendo considerado como TPH Total, foram detectados os seguintes parâmetros em concentrações superiores aos Valores Orientadores da CETESB, para o cenário de uso residencial, conforme tabela 13:

Tabela 13 – Parâmetros químicos de interesse para compostos VOC e SVOC

<u>Parâmetro detectado</u>	<u>Poço monitorado</u>	<u>Concentração [mg/kg]</u>	<u>Valor Orientador em [mg/kg] (CETESB)</u>
Benzo(a)pireno	ST/PM-07	2,98	0,8
TPH Total	UD-12 (S-336)	74853,9	1000
TPH Total	UD-15 (S-438)	14128,2	1000
TPH Total	UD-15 (S-439)	17248,7	1000
TPH Total	UD-14 (S-403)	4379,18	1000
TPH Total	UD-15 (S-438/S-439)	17031,38	1000

Fonte: Próprio autor

Compostos de HPAs são grupos de diferentes compostos orgânicos com dois ou mais anéis aromáticos, que podem ocorrer em uma em uma variação grande de compostos nos compartimentos do ambiente (Chun Liu et al., 2000). Estes compostos possuem tanto origem natural (infiltrações de óleo, carvão, betume, restos de plantas, incêndio na pradaria), quanto origem antrópica (combustíveis fósseis e combustão). Visto que os compostos de HPA, de ambas as fontes muitas vezes, encontram-se misturados, nos compartimentos do ambiente, a significância das fontes de

HPA antropogênicas devem ser avaliadas em contraste com os valores de ocorrência natural de HPA nos compartimentos do ambiente.

Alguns compostos de HPA reagem mais rapidamente do que outros processos químicos atmosféricos, as frações de HPA na atmosfera dependem das fontes de emissão. Estudos demonstraram que o benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno e antraceno, comumente presentes em fontes antrópicas, são degradados por meio da radiação ultravioleta, de forma mais rápida que outros isômeros ou HPA comumente medidos. Em medições de aerossol no mediterrâneo, os componentes mais reativos, sendo estes citados anteriormente, se apresentam comumente relacionados às emissões veiculares, em áreas urbanas e remotas (M.B. Yunker et al., 2002).

O benzo(a)pireno se trata de um hidrocarboneto policíclico aromático (HPA), que geralmente ocorrem com misturas complexas. Tendo em vista que este é um componente da composição do óleo diesel, e dado levantamento de dados prévios na área, foi possível relacionar a ocorrência de óleo diesel intemperizado das atividades de obras na construção da USP Leste e a presença de máquinas a óleo diesel. Considerou-se o benzo(a)pireno como um composto de TPH.

5.1.2 Resultados analíticos de água subterrânea

Os resultados analíticos detectados nas amostras, foram comparados com os valores orientadores de intervenção de água subterrânea da CETESB e da USEPA. Foram investigados os principais parâmetros relacionados a ocorrência de compostos voláteis e metais dissolvidos.

Os resultados analíticos para a presença de água subterrânea em metais dissolvidos encontram-se expressos nas tabelas 14 a 16.

Tabela 14 - Resultados analíticos - Água Subterrânea (Metais Dissolvidos) – PM-01 a PM08

Parâmetros	PM-01	PMN-01	PM-03	PMN-03	PM-04	PMN-04	PM-05	PM-06	PMN-06	PM-07	PM-08	Valor Orientador
Metais (mg/kg)												
Alumínio Dissolvido	< 30,0	169,00	< 30,0	3.059,00	< 30,0	267,00	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	20000 ⁽²⁾
Bário Dissolvido	726,00	119,00	259,00	377,00	219,00	220,00	201,00	57,90	98,20	927,00	12,80	700 ⁽¹⁾
Boro Dissolvido	102,00	26,00	77,30	< 15,0	< 15,0	< 15,0	< 15,0	68,50	< 15,0	110,00	< 15,0	2400 ⁽¹⁾
Chumbo Dissolvido	< 9,00	< 9,00	< 9,00	27,30	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	100 ⁽¹⁾
Cobalto Dissolvido	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	11,40	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	45,80	< 5,00	70 ⁽¹⁾
Cobre Dissolvido	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	2000 ⁽¹⁾
Ferro Dissolvido	21.169	131	5.102	40.600	12.207	72	41.471	2.248	917	679	217	1400 ⁽²⁾
Manganês Dissolvido	2.840	303	835	551	8.237	727	987	1.030	564	6.912	< 10,0	0,052 ⁽²⁾
Níquel Dissolvido	< 5,00	< 5,00	< 5,00	10,60	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	70 ⁽¹⁾
Zinco Dissolvido	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	1800 ⁽¹⁾
Cálcio Dissolvido	186.087	4.353	15.652	15.884	334.457	10.347	39.315	149.891	395.109	40.978	27.902	-
Magnésio Dissolvido	94.457	1.245	18.913	5.937	42.065	4.636	10.231	37.283	5.104	47.174	4.423	-
Potássio Dissolvido	46.848	3.555	1.913	11.967	30.978	3.912	3.086	7.031	4.415	148.587	3.478	-
Sódio Dissolvido	20.326	24.992	15.217	19.348	20.761	13.997	5.531	11.227	8.326	262.174	5.499	-

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção USEPA (jun 2015).

Fonte: Próprio autor

Tabela 15 - Resultados analíticos - Água Subterrânea (Metais Dissolvidos) – PMN-08 a PMN-14

Parâmetros	PMN-08	PM-09	PM-10	PMN-10	PM-11	PMN-11	PM-12	PMN-12	PM-13	PM-14	PMN-14	Valor Orientador
Metais (mg/kg)												
Alumínio Dissolvido	< 30,0	626,00	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	392,00	< 30,0	< 30,0	20000 ⁽²⁾
Bário Dissolvido	187,00	78,40	146,00	126,00	< 10,0	83,80	1.306,00	240,00	1.096,00	689,00	236,00	700 ⁽¹⁾
Boro Dissolvido	15,20	97,00	45,10	34,60	< 15,0	< 15,0	59,80	< 15,0	37,90	24,90	< 15,0	2400 ⁽¹⁾
Chumbo Dissolvido	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	100 ⁽¹⁾
Cobalto Dissolvido	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	17,60	104,00	< 5,00	42,60	56,20	< 5,00	70 ⁽¹⁾
Cobre Dissolvido	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	2000 ⁽¹⁾
Ferro Dissolvido	82.900	< 300	3.890	17.200	16.527	39.300	37.715	47.764	80.547	85.159	48.755	1400 ⁽²⁾
Manganês Dissolvido	868	296	494	529	206	711	8.512	1.451	3.690	6.970	1.430	0,052 ⁽²⁾
Níquel Dissolvido	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	70 ⁽¹⁾
Zinco Dissolvido	< 70,0	< 70,0	< 70,0	147,00	< 70,0	< 70,0	79,90	< 70,0	< 70,0	< 70,0	106,00	1800 ⁽¹⁾
Cálcio Dissolvido	35.337	42.902	35.913	27.663	4.025	14.793	31.739	15.772	44.043	36.848	25.924	-
Magnésio Dissolvido	4.642	8.270	6.471	3.138	6.935	3.054	10.192	2.525	13.815	1.041	6.939	-
Potássio Dissolvido	5.378	4.266	1.013	13.272	5.178	5.096	14.457	4.439	8.576	10.897	5.887	-
Sódio Dissolvido	1.363	7.940	15.467	19.772	9.434	18.717	11.846	11.796	31.935	4.837	21.739	-

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção USEPA (jun 2015).

Fonte: Próprio autor

Tabela 16 - Resultados analíticos - Água Subterrânea (Metais Dissolvidos) – PM-15 A PMN-33

Parâmetros	PM-15	PMN-15	PM-16	PM-17	PMN-17	PM-18	PM-31	PM-32	PM-33	PMN-33	Valor Orientador
Metais (mg/kg)											
Alumínio Dissolvido	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	224,00	< 30,0	174,00	< 30,0	N/A	20000 ⁽²⁾
Bário Dissolvido	67,80	167,00	288,00	83,80	145,00	< 10,0	201,00	109,00	470,00	N/A	700 ⁽¹⁾
Boro Dissolvido	18,60	40,20	53,70	< 15,0	< 15,0	< 15,0	72,30	< 15,0	< 15,0	N/A	2400 ⁽¹⁾
Chumbo Dissolvido	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	10 ⁽¹⁾
Cobalto Dissolvido	< 5,00	< 5,00	24,00	< 5,00	< 5,00	5,26	< 5,00	15,30	15,20	N/A	70 ⁽¹⁾
Cobre Dissolvido	< 9,00	< 9,00	< 9,00	25,90	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	< 9,00	N/A	2000 ⁽¹⁾
Ferro Dissolvido	< 30,0	46,40	10.526,00	47,70	21798	129,00	1.501,00	1.159,00	28,739	N/A	1400 ⁽²⁾
Manganês Dissolvido	38,80	216,00	1.910,00	314,00	736,00	502,00	410,00	1.376,00	2.560,00	N/A	0,052 ⁽²⁾
Níquel Dissolvido	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	N/A	70 ⁽¹⁾
Zinco Dissolvido	< 70,0	109,00	86,20	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	< 70,0	N/A	1800 ⁽¹⁾
Cálcio Dissolvido	21.446	9.875	91.315	53.152	12.641	65.804	#####	32.152	80.804	N/A	-
Magnésio Dissolvido	4.995	1.485	11.843	4.767	1.615	19.783	7.062	1.237	1.988	N/A	-
Potássio Dissolvido	1.323	5.672	9.203	476	4.376	2.124	50.935	18.478	70.815	N/A	-
Sódio Dissolvido	8.914	67.261	20.587	90.109	#####	27.587	26.087	18.696	41.739	N/A	-

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção USEPA (jun 2015).

Fonte: Próprio autor

Para o grupo de metais, desconsiderou-se as medições para metais totais, visto que a ocorrência de metais em fase dissolvida é fundamental para observar a ocorrência de contaminantes na água subterrânea. Assim, para as concentrações de metais dissolvidos, foram detectados os 03 parâmetros químicos de interesse, conforme tabela 17:

Tabela 17 - Parâmetros químicos de interesse para metais dissolvidos

Parâmetros detectados	Poços detectados	Concentração [ug/L]	Valor Orientador em [ug/L]
Bário dissolvido	PM-01	726	700 ⁽¹⁾
	PM-07	927	700 ⁽¹⁾
	PM-12	1306	700 ⁽¹⁾
	PM-13	1096	700 ⁽¹⁾
Chumbo dissolvido	PMN-03	27,3	700 ⁽¹⁾
Cobalto dissolvido	PM-12	104	70 ⁽¹⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014).

Fonte: Próprio autor

Para o grupo de compostos orgânicos voláteis, os resultados analíticos para VOC estão expressos na tabela 18 abaixo:

Tabela 18 - Resultados analíticos - Água Subterrânea (VOC)

Parâmetros	PM-04	PM-06	Valor Orientador
VOC (µg/L)			
Clorofórmio	< 3,00	< 3,00	300 ⁽¹⁾
Benzeno	65,30	< 3,00	5 ⁽¹⁾
Tolueno	55,70	391,70	700 ⁽¹⁾
Etilbenzeno	< 3,00	338,00	300 ⁽¹⁾
m,p-Xilenos	10,90	410,20	500 ⁽¹⁾
o-Xileno	16,20	76,20	
Estireno	10,90	< 3,00	20 ⁽¹⁾
1,3,5-Trimetilbenzeno	< 3,00	69,3	120 ⁽²⁾
1,2,4-Trimetilbenzeno	< 3,00	92,3	15 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção USEPA (jun 2015).

Fonte: Próprio autor

Os principais resultados analíticos de solo para os compostos SVOC estão expressos na tabela 19 abaixo:

Tabela 19 – Resultados analíticos – Água Subterrânea (SVOC)

Parâmetros	PM-04	Valor Orientador
SVOC (µg/L)		
Naftaleno	39,20	60 ⁽¹⁾
2-Metilnaftaleno	8,82	36 ⁽²⁾
Acenafitleno	5,34	-
Acenafteno	2,20	530 ⁽²⁾
Dibenzofurano	2,04	7,9 ⁽²⁾
Fluoreno	3,18	290 ⁽²⁾
Fenantreno	1,69	140 ⁽¹⁾
Carbazol	5,49	-

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção USEPA (jun 2015).

Fonte: Próprio autor

Para o grupo de compostos orgânicos voláteis (VOC), foram detectados os seguintes parâmetros, conforme tabela 20:

Tabela 20 – Parâmetros químicos de interesse – Água Subterrânea (VOC)

Parâmetros detectados	Poços detectados	Concentração [µg/L]	Valor Orientador
VOC			
Benzeno	PM-04	65,3	5 ⁽¹⁾
Etilbenzeno	PM-06	338	300 ⁽¹⁾
S-VOC			
1,2,4-Trimetilbenzeno	PM-06	92,3	15 ⁽²⁾

Legenda: (1) Valor Orientador de Intervenção CETESB (2014); (2) Valor Orientador de Intervenção USEPA (jun 2015).

Fonte: Próprio autor

Os compostos Benzeno e Etilbenzeno, foram detectados em concentração superior ao Valor de Intervenção estabelecido pela CETESB, no PM-04, e no PM-06, respectivamente.

O composto 1,2,4-Trimetilbenzeno, apresentou uma concentração superior ao Valor Orientador estabelecido pela USEPA, no PM-06.

5.2 Delimitação das plumas de contaminantes

A pluma de contaminação pode ser definida como o espaço de concentração de uma SQI nos compartimentos do ambiente, de forma que pode provocar riscos acima dos níveis aceitáveis e propagar danos à área (CETESB, 2022).

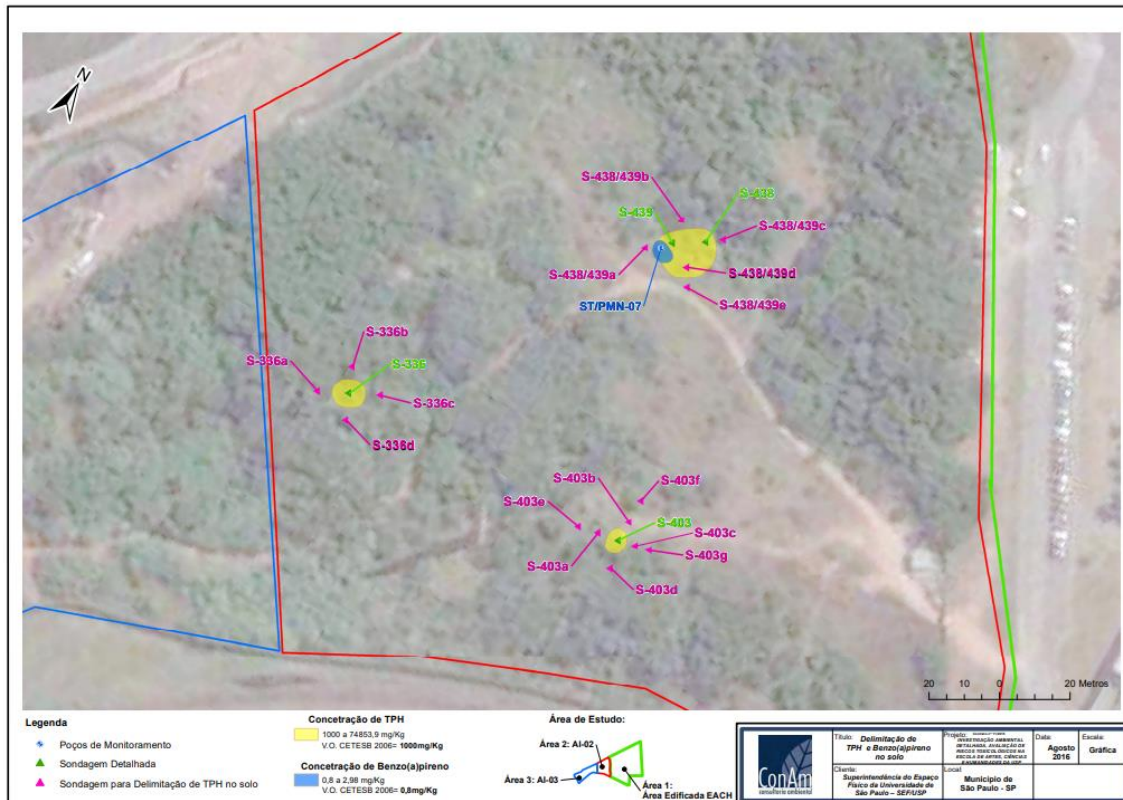
A caracterização do centro da pluma é fundamental para determinar a potência a partir de sua dinâmica de propagação, com base na modelagem matemática elaborada a partir dos dados das SQI, e das características hidrogeológicas (CETESB, 2022).

As plumas de contaminantes foram elaboradas a partir da correlação entre os dados potenciométricos, os fluxos de água subterrânea constatados, e os resultados analíticos de laboratório obtidos, através do programa de modulação de fluxo chamado Modflow, na sua versão 2000.

5.2.1 Delimitação dos contaminantes no Solo

As concentrações de ocorrência de TPH e benzeno no solo, encontram-se na figura 26 abaixo:

Figura 26 – Delimitação de TPH e Benzo(a)pireno no solo



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

5.2.2 Delimitação dos contaminantes de água subterrânea

A delimitação dos contaminantes em água subterrânea, foi elaborada para os parâmetros químicos de interesse a seguir: benzeno, etilbenzeno, bário dissolvido e cobalto dissolvido.

A pluma de contaminação de benzeno encontra-se no PM-04 delimitado horizontalmente pelos PM-31, PM-35, PM-36 e PM-37, como consta na figura 27 abaixo:

Figura 27 – Pluma delimitação de benzeno



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

A pluma de contaminação do etilbenzeno, encontra-se com foco no PM-06, delimitado horizontalmente pelos PM-05, PM-06, PM-18, PM-19, PM-20 e PM-34, como consta na figura 28 abaixo:

Figura 28 – Pluma de delimitação de etilbenzeno



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

A pluma de bário dissolvido, encontra-se delimitado pelos poços PM-01, PM-03, PM-05, PM-07, PM-12, PM-13, PM-14, PM-31 PM-32 e PM-33, como consta na figura 29 abaixo:

Figura 29 – Pluma de delimitação de bário dissolvido



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

A pluma de Cobalto dissolvido, encontra-se com foco no PM-12, delimitada pelos poços PM-05, PM-07 e PM-14, como consta na Figura 30 abaixo:

Figura 30 - Pluma de delimitação de cobalto dissolvido



Fonte: ConAm Consultoria Ambiental, 2017

5.3 Avaliação de risco à saúde humana

A realização da etapa de *Avaliação de Risco* tem como objetivo geral definir se haverá a necessidade da implementação de medidas de intervenção na área em avaliação ou na sua vizinhança, visando viabilizar o seu uso, atual ou futuro, de forma segura (CETESB, 2021).

A interpretação dos cenários de avaliação de risco foi elaborada através da composição dos resultados analíticos obtidos de solo e água subterrânea com o cálculo das comparações máximas aceitáveis para os compostos químicos de interesse, que devem ser alcançadas para avaliar o risco em função de cada cenário.

Os cenários de exposição foram elaborados para os cenários Residencial Urbano e Comercial/Industrial, em escavações on site e off site, a fim de avaliar os riscos de exposição a cada cenário.

5.3.1 Cenários de Avaliação de Risco

Os principais riscos associados aos cenários de exposição no uso residencial urbano estiveram relacionados à ingestão e contato dérmico com o solo e a água, tanto *on site*, quanto *off site*, ou seja, para o entorno de 300 m, estabelecido a partir da USP Leste. A delimitação das plumas de contaminação na propriedade da universidade, é essencial para avaliar a presença dos contaminantes nos cenários *on* e *off site*.

Para o cenário de exposição para uso comercial/industrial, e à exposição de obras civis e escavações delimitadas *on site*, apresentaram risco de ingestão de água subterrânea, para consumo humano. A tabela abaixo apresenta os valores máximos encontrados, bem como as Concentrações Máximas Aceitáveis para os cenários propostos entre água subterrânea e solo.

As principais substâncias químicas de interesse (SQI) foram identificadas, e seu valor de ocorrência foi comparado com cada um dos cenários propostos, residencial e comercial/industrial. A Environmental Protection Agency indica que para faixas de TPH definidas, devem ser considerados somente os efeitos não carcinogênicos visto que a ocorrência de SQIs com efeitos carcinogênicos, como é o caso do benzo (a)pireno, fluorante, e demais compostos, devem ser avaliados individualmente, pois caso fosse englobado como uma série entre outros compostos aromáticos, a avaliação de risco se tornaria excessivamente protetora. Além disso, foram identificados os riscos associados a cada cenário.

A tabela 21 abaixo estabelece os principais parâmetros adotados, bem como a identificação dos cenários elaborados:

Tabela 21 - Valores máximos encontrados e CMAs calculados

Parâmetros	Concentração Máxima Encontrada	Risco	CMA			
			Inalação de Vapores		Contato Dérmico	Ingestão
			Ambiente Aberto	Ambiente Fechado		
Solo						
Residencial Urbano Crianças						
Benzo[a]pireno	2,98E+00	C	2,33E+03	1,01E+07	2,07E+00	1,29E+00
		NC	ND	ND	ND	ND
Residencial Urbano Crianças						
Benzo[a]pireno	2,98E+00	C	2,83E+03	1,22E+07	2,54E+00	2,40E+00
		NC	ND	ND	ND	ND
Água Subterrânea						
Residencial Urbano Crianças <i>on site</i>						
Cobalto	1,04E-01	C	ND	ND	ND	ND
		NC	ND	ND	1,23E+00	4,69E-03
Benzeno	6,53E-02	C	4,97E+01	4,17E-01	2,39E-01	3,41E-02
		NC	9,68E+01	8,13E-01	4,39E-01	6,26E-02
Etilbenzeno	3,38E-01	C	1,57E+02	1,27E+00	3,62E-01	1,71E-01
		NC	3,26E+03	2,64E+01	3,32E+00	1,56E+00
Residencial Urbano Crianças <i>off site</i>						
Cobalto	1,04E-01	C	ND	ND	ND	ND
		NC	ND	ND	3,77E+00	1,44E-02
Residencial Urbano Adultos <i>on site</i>						
Cobalto	1,04E-01	C	ND	ND	ND	ND
		NC	ND	ND	1,32E+00	1,10E-02
Benzeno	6,53E-02	C	3,01E+01	2,54E-01	5,16E-02	1,59E-02
		NC	2,94E+02	2,48E+00	4,73E-01	1,46E-01
Etilbenzeno	3,38E-01	C	9,50E+01	7,72E-01	7,79E-02	7,96E-02
		NC	9,90E+03	8,04E+01	3,57E+00	3,65E+00
Residencial Urbano Adultos <i>off site</i>						
Cobalto	1,04E-01	C	ND	ND	ND	ND
		NC	ND	ND	4,06E+00	3,36E-02
Trabalhadores comerciais e industriais <i>on site</i>						
Cobalto	1,04E-01	C	ND	ND	ND	ND
		NC	ND	ND	1,34E+01	2,64E-02
Benzeno	6,53E-02	C	4,98E+01	9,01E-01	6,30E-01	4,61E-02
		NC	4,05E+02	7,32E+00	4,81E+00	3,52E-01
Etilbenzeno	3,38E-01	C	1,55E+02	2,71E+00	9,52E-01	2,31E-01
		NC	1,35E+04	2,35E+02	3,64E+01	8,81E+00
Trabalhadores comerciais e industriais <i>off site</i>						
Cobalto	1,04E-01	C	ND	ND	ND	ND
		NC	ND	ND	3,36E+00	2,64E-02

* C: Risco Carcinogênico ; * NC: Risco Não Carcinogênico

Fonte: Próprio autor

5.3.1.1 Avaliação de risco no solo

A partir das planilhas de avaliação de risco elaboradas, à determinação das concentrações máximas aceitáveis calculadas e os riscos associados, encontram-se como risco associado à cada cenário, na matriz de solo, os seguintes resultados:

- Cenário 1 - Cenário residencial (On site)

Contato dérmico - verificou-se risco carcinogênico para Benzo(a)pireno

Ingestão de solo superficial - verificou-se risco carcinogênico para benzo(a)pireno

- Cenário 1 - Cenário residencial (Off site)

Contato dérmico - risco carcinogênico para Benzo(a)pireno

Ingestão de solo superficial - risco carcinogênico para benzo(a)pireno

- Cenário 3 - Cenário comercial e industrial (on site)

Para este cenário, não foram verificados riscos para este cenário

- Cenário 5 - Cenário de atividade de trabalhadores (on site)

Para este cenário, não foram verificados riscos para este cenário

5.3.1.2 Avaliação de risco na água subterrânea

O procedimento de identificação das concentrações máximas aceitáveis e dos riscos associados, para cada cenário, em função dos resultados analíticos de água subterrânea, encontram-se descritos abaixo:

- Cenário 1 - Residentes e crianças - on site

Contato dérmico - verificou-se risco de acumulativo, sendo difícil pontuar apenas uma substância

Ingestão de água subterrânea - verificou-se risco não carcinogênico para benzeno e cobalto; risco carcinogênico para Benzeno e Etilbenzeno. Os riscos são cumulativos para este cenário.

- Cenário 1 - Residentes adultos - off site

Contato dérmico - verificou-se risco carcinogênico cumulativo para este cenário

Ingestão de água subterrânea - verificou-se risco não carcinogênico para cobalto e risco carcinogênico para Benzeno e Etilbenzeno. O risco é cumulativo para este cenário

- Cenário 2 - Residentes e crianças - on site

Ingestão de água subterrânea - verificou-se risco não carcinogênico para cobalto e risco não carcinogênico cumulativo.

- Cenário 2 - Residentes adultos - off site

Ingestão de água subterrânea - verificou-se risco não carcinogênico para cobalto.

- Cenário 3 - Trabalhadores efetivos (Cenário comercial e Industrial) - On site

Ingestão de água subterrânea - verificou-se risco não carcinogênico para cobalto, e risco carcinogênico para Benzeno e Etilbenzeno

- Cenário 3 - Trabalhadores efetivos (Cenário comercial e Industrial) - Off site

Não foram verificados riscos para este cenário.

- Cenário 4 - Trabalhadores efetivos (Cenário comercial e industrial) - off site

Não foram verificados riscos para este cenário.

- Cenário 5 - Trabalhadores temporários (cenário de atividades) - on site e off site

Ingestão de água subterrânea - verificou-se risco não carcinogênico para cobalto.

5.4 Cenário de Risco à saúde humana e elaboração das medidas de intervenção

Os cenários da avaliação de risco à saúde humana e seus riscos associados foram fundamentais para determinar as medidas de intervenção a serem adotadas para cada um dos cenários, descritos no quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Cenários de risco à saúde humana e medidas de intervenção

Cenários da Avaliação de Risco à Saúde Humana		Medidas de Intervenção
Cenário 1 - Residencial Urbano - on site	Risco carcinogênico, contato dérmico e ingestão benzo(a)pireno no solo.	Caso adote-se o cenário de uso residencial, recomendam-se as seguintes medidas para eliminar os riscos de contato com o solo. Medida de engenharia: recomendam-se a escavação e remoção de solo contaminado com Benzo(a)pireno e destinação adequada conforme normas para emissão de CADRI*.
Cenário 2 - Residencial Urbano - off site	Risco de ingestão de água subterrânea não carcinogênico para cobalto e carcinogênico para benzeno e etilbenzeno.	Medida de controle institucional: restrição do uso de água subterrânea para abastecimento do aquífero local. Recomenda-se o monitoramento dos poços de água subterrânea por dois ciclos hidrológicos, visando sua correção de monitoramento conforme detecção de risco.
	Risco carcinogênico de contato dérmico com água subterrânea com presença de benzeno e etilbenzeno.	
Cenário 3 - Cenário comercial - On site	Risco de ingestão não carcinogênico para cobalto e carcinogênico para benzeno e etilbenzeno.	
Cenário 5 - Cenário industrial - On site	Risco de ingestão não carcinogênico para cobalto.	

* Certificado de movimentação de resíduos de interesse ambiental.

Fonte: Próprio autor

5.4.1 Cenários de Risco à saúde humana e elaboração das medidas de intervenção - Cenário residencial

A avaliação de risco da Investigação Detalhada, para o cenário residencial, elaborada com os dados dos resultados analíticos, definiu a ocorrência das concentrações de parâmetros acima dos valores orientadores estabelecidos pela CETESB, conforme DD 256/2016, para os compostos orgânicos voláteis (VoC) e semivoláteis (S-VoC).

Adotou-se, na avaliação de risco, como medida de controle institucional, a restrição do uso de água subterrânea do aquífero local, para abastecimento no local com solo contaminado, bem como o monitoramento dos poços de água subterrânea por dois ciclos hidrológicos.

Como medidas de controle de engenharia relacionadas ao cenário residencial, recomenda-se a remoção do solo contaminado pelos compostos, bem como sua análise para orientar sua disposição final.

As práticas de execução das atividades de remoção e destinação do solo impactado pelos contaminantes, para execução de possíveis obras residências urbanas na área, deve ser orientada conforme a Norma ABNT NBR 10004:2004

5.4.2 Cenários de Risco à saúde humana e elaboração das medidas de intervenção - Cenário comercial/industrial

A avaliação de risco elaborada com os resultados analíticos da Investigação Detalhada, para os cenários comercial/industrial, definiu que a ocorrência das substâncias de interesse, não apresentaram concentrações acima dos valores de intervenção no solo e na água subterrânea, assim não apresentaram risco à saúde humana nas condições da área.

As vias de exposição relacionadas ao cenário não estavam previstas para uso, ainda assim, recomenda-se como medida de controle institucional, à restrição ao consumo de água subterrânea com abastecimento do aquífero local,

As medidas de controle de engenharia são elaboradas visando eliminar os riscos associados às contaminações presentes na área, desta forma, recomendou-se o monitoramento das águas subterrâneas dos poços avaliados, em dois ciclos hidrológicos, com o intuito de atenuar os impactos naturais dos contaminantes, para execução de possíveis atividades comerciais/industriais ao longo do tempo na área, como descrito na tabela 22.

Para o cenário em questão a retirada do material de solo contaminado por compostos orgânicos voláteis (VoC) e semivoláteis (S-VoC) não é considerada obrigatória, visto que, o composta não é apresenta volatilidade suficiente, para permear a profundidade de solo, cerca de 2,00 m, em que encontra-se delimitado.

Caso, um possível plano de execução de obras ocorra para cenário residencial na área, recomenda-se a remoção do solo superficial através das normas estabelecidas pela Norma ABNT NBR 10004:2004, caso sejam feitas obras de escavações relacionadas para implementação de obras de construção civil, na área em que foram identificados presença dos compostos

6 CONCLUSÃO

Os trabalhos de investigação realizados, nas áreas de influência definidas na área da USP Leste, visaram identificar os focos de contaminação, através da delimitação das fontes de contaminação e das medições realizadas nos poços de monitoramento.

Elaboradas as sondagens de solo e as medições de água subterrânea, nas matrizes estabelecidas, das áreas de influência AI-01, AI-02 e AI-03, os resultados analíticos obtidos, com auxílio da norma ABNT NBR 15.515-2/2011 permitiram avaliar a qualidade do solo e da água subterrânea, e avaliá-los para os cenários residencial e industrial/comercial.

Nas investigações ambientais elaboradas a fim de subsidiar informações para possíveis execuções do Plano de Expansão da USP Leste, com o subsídio do gerenciamento de áreas contaminadas propostos, elaborou-se os cenários possíveis residencial e comercial/industrial futuros da área.

Na área AI-01 detectou-se concentrações acima dos valores de intervenção para os compostos derivados do petróleo eluindo nas faixas do óleo diesel intemperizado e óleo lubrificante. Para os compostos VOC e S-VOC não foram detectadas concentrações acima dos valores de intervenção estabelecidos, para a presença de borras de óleo.

Na área AI-02 e AI-03, foram instalados 28 poços de monitoramento (17 poços rasos e 11 poços profundos) com o intuito de avaliar a qualidade da área como um todo. Detectaram-se medições de concentrações laboratoriais acima dos valores de intervenção da CETESB, para os compostos de benzeno no PM-04, Etilbenzeno e 1,2,4-trimetilbenzeno, no PM-06. Desta forma, foram acrescidos 9 poços de monitoramento para a delimitação da pluma para os compostos, a partir dos resultados analíticos laboratoriais obtidos nas coletas de amostras de solo e água subterrânea nos poços de monitoramento.

Quanto à avaliação de risco à saúde humana, em relação à presença de contaminação de metais dissolvidos (bário e cobalto) ou de compostos orgânicos voláteis, como Benzeno e Etilbenzeno, foi definido risco para cenários de contato dérmico e Ingestão de água subterrânea, desta forma, recomendou-se o monitoramento por dois ciclos hidrogeológicos conforme DD 103/2007 da CETESB.

Para o cenário hipotético residencial, o principal risco associado está relacionado ao contato dérmico e à ingestão de solo por Benzo(a)pireno. Caso elaborem-se atividades neste cenário no futuro, recomenda-se a remoção do solo como medida de controle de engenharia.

Para o cenário comercial/industrial, sendo este o cenário de maior probabilidade de ocorrência no futuro, os riscos estão associados a contato dérmico e ingestão do solo. Apesar da presença de compostos orgânicos voláteis (VOC) e semivoláteis (S-VoC) não apresentaram risco associado somente a contato dérmico e ingestão, caso sejam elaboradas obras de remoção do solo, recomendou-se à escavação e remoção do solo conforme ABNT NBR 1004:200

REFERÊNCIAS

ABDEL-SHAIFY, Hussein I.; MANSOUR, Mona S.M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 25, n. 1, p. 107-123, mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>. Acesso em: 1 jul. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011. 327 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gpv.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.

BALESTRIN, Deisi. Impactos do transporte rodoviário de produtos perigosos na saúde pública e no meio ambiente. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2018. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/1607/2/2018DeisiBalestrin.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.

BRAGA, Benedito. Hidrologia: aplicada à gestão de águas superficiais. São Paulo: Blucher, 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5769440/mod_resource/content/1/Benedito%20Braga.pdf. Acesso em: 1 jul. 2024.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução a Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 305 p., 2002.

CETESB/GTZ. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 2ª ed. São Paulo: CETESB, 2001. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 1 jul. 2024.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Planilhas para avaliação de áreas contaminadas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>. Acesso em: 1 jul. 2024.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: introdução ao gerenciamento de áreas contaminadas - conceituação. Disponível em:

<<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/introducao-ao-gerenciamento-de-areas-contaminadas/conceituacao/>>. Acesso em: 1 jul. 2024.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Conceitos sobre transporte de substâncias nas zonas não saturada e saturada. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/conceitos-sobre-transporte-de-substancias-nas-zonas-nao-saturada-e-saturada/>>.

Acesso em: 1 jul. 2024.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Guia nacional de coleta e preservação de amostras. São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2024.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: investigação detalhada - introdução à investigação detalhada. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/investigacao-detalhada/introducao-investigacao-detalhada/>>. Acesso em: 1 jul. 2024.

CONAM CONSULTORIA AMBIENTAL. Investigação ambiental detalhada, avaliação de riscos toxicológicos na escola de artes, ciências e humanidades da USP. 2017. Disponível em: https://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2017/02/Investigação-Detalhada-e-Avaliação-de-Risco-USP-Leste_Final_1_Texto1.pdf. Acesso em: 1 jul. 2024.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acrs.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.

GÜNTHER, Wanda Maria Risso. **Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana**. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. abr.-jun 2006, p. 105-117, 2006 Tradução. Acesso em: 06 fev. 2023.

KUMAR, Mukesh; BOSKI, Tomasz; GONZÁLEZ-VILÁ, Francisco J.; de la ROSA, José M^a; GONZÁLEZ-PÉREZ, José A. Discerning natural and anthropogenic organic matter inputs to salt

marsh sediments of Ria Formosa lagoon (South Portugal). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 28962-28985, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09235-9>. Acesso em: 18 jul. 2024.

LORIA, Giovana Lamano. Investigação confirmatória de área contaminada: estudo de caso de um conjunto habitacional de interesse social. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/17748/TCC%20Giovana%20_Vers%C3%A3o%20Final%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/17748/TCC%20Giovana%20_Vers%C3%A3o%20Final%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 01 jul. 2024.

RICCOMINI, Claudio. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. 1990. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990. doi:10.11606/T.44.1990.tde-18032013-105507. Acesso em: 1 jul. 2024.

SANTOS, Giovana. Avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas: estudo de caso na cidade de Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto, 2020. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1058/1/MONOGRAFIA_Avalia%c3%a7%c3%a3oRiscoSa%c3%bade.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Hidrologia aplicada. São Paulo: Livros Abertos, 2018. Disponível em: <<https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/953/864/3333>>. Acesso em: 1 jul. 2024.

YUNKER, M. B. et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. Organic geochemistry, v. 33, n. 4, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00002-5). Acesso em: 1 de Julho de 2024.

APÊNDICE

 CETESB		CONTAMINANTE	EFEITO	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL																				NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO A UMA DISTÂNCIA DO PONTO DE EXPOSIÇÃO
				RESIDENCIAL URBANO										CRIANÇA										
				NO PONTO DE EXPOSIÇÃO																				
				SUPERFICIAL										SUBSUPERFICIAL										
				CONTATO DIRETO					INGESTÃO DE VEGETAIS					INHALAÇÃO					INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LÍQUIDAÇÃO DO SOLO					
INHALAÇÃO		CONTATO DERMICO		INGESTÃO		INGESTÃO DE COMPOSTOS METÁLICOS		INGESTÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES RECIPIENTES		LÍQUIDAÇÃO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA										
VAPORES		PARTÍCULAS																						
mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg										
1	7440-39-3	Barium	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA									
			ND	ND	4,61E+07	ND	ND	1,56E+04	1,71E+06	ND	NA	NA	NA	NA	NA									
2	7440-48-4	Cobalt	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA									
			ND	ND	1,32E+08	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA									
			ND	ND	5,54E+05	ND	ND	2,35E+01	1,74E+03	ND	NA	NA	NA	NA	NA									
3	71-43-2	Benzene	C	7,13E+02	1,42E+09	ND	ND	1,71E+02	ND	ND	9,92E+00	ND	NA	NA	NA									
			ND	ND	2,77E+09	ND	ND	3,13E+02	ND	ND	1,75E+01	ND	NA	NA	NA									
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	2,22E+03	4,43E+09	ND	ND	6,53E+02	ND	ND	8,12E+01	ND	NA	NA	NA									
			ND	ND	4,63E+04	9,23E+10	ND	ND	7,82E+03	ND	7,44E+02	ND	NA	NA	NA									
5	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA									
			ND	ND	3,24E+02	6,48E+08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA									
6	50-32-8	Benz[a]pyrene	C	2,33E+03	1,01E+07	ND	2,07E+06	1,29E+06	ND	ND	1,07E+02	ND	NA	NA	NA									
			ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA									

Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas

Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas

1,00E-05

1

NA

NA

Não Avaliado

Não Dissolúvel

NA

NA

NA

NA

CAS No.	CONTAMINANTE	EFEITO	RISCO CARCINOGENICO E NAO CARCINOGENICO PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL														RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINACAO	RISCO CUMULATIVO POR LOCAIS RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINACAO
			RESIDENCIAL URBANO							ADULTO								
			RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINACAO															
			SUPERFICIAL							SUBSUPERFICIAL								
			CONTEXTO URBANO							INVALIAÇÃO								
INALACAO		CONTATO DERMICO		INGESTAO		INGESTAO DE COMPOSTOS METALICOS		INGESTAO DE COMPOSTOS ORGANICOS		ARREBENTAS AERIAS		ARREBENTAS FECULOSAS		INGESTAO DE AGUA SUBTERRANEA A PARTIR DA LUTIVACAO DO SOLO		INGESTAO DE AGUA SUBTERRANEA A PARTIR DA LUTIVACAO DO SOLO		
VAPORES	PARTICULAS																	
1	7440-39-3	Barium	NC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
			NC	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
2	7440-48-4	Cobalt	NC	ND	0.00E+00	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
			NC	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
3	71-43-2	Benzene	C	0.00E+00	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
			NC	0.00E+00	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	0.00E+00	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
			NC	0.00E+00	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
5	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C	0.00E+00	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
			NC	0.00E+00	0.00E+00	ND	0.00E+00	ND	0.00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
6	50-32-6	Benzocyclopentadiene	C	1.05E-08	2.44E-12	1.17E-05	1.24E-05	5.15E-07	5.15E-07	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.47E-05	NA
			NC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	NA
RISCO CUMULATIVO POR CENARIO			Substâncias Carcinogênicas		1.05E-08	2.44E-12	1.17E-05	1.24E-05	5.15E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
			Substâncias Não Carcinogênicas		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Risco Médio Aceitável para Substâncias Carcinogênicas			1.00E-05															
Risco Médio Aceitável para Substâncias Não Carcinogênicas			1															
NA			Não Avaliado															
NA			Não Avaliado															

 CETESB		CONTAMINANTE	EFEITO	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL																
				RESIDENCIAL URBANO								ADULTO								
				NO PONTO DE EXPOSIÇÃO																NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO A UMA DISTÂNCIA DO PONTO DE EXPOSIÇÃO
				SUPERFICIAL								SUBSUPERFICIAL								
CAS No.	CONTATO DIRETO		INGESTÃO DE VEGETAIS				INGESTÃO DE COMPOSTOS METÁLICOS		INGESTÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LUVIÇÃO DO SOLO		LUVIÇÃO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA			
	INALHAÇÃO		CONTATO DERMICO		INGESTÃO		INGESTÃO DE COMPOSTOS METÁLICOS		INGESTÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LUVIÇÃO DO SOLO		LUVIÇÃO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA			
	VAPORES	PARTÍCULAS	mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg		mg/kg			
1	7440-39-3	Barium	C	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	
			NC	ND	2,85E+08	0	ND	0	1,48E+05	0	4,28E+06	0	NA	0	NA	0	NA	0		
2	7440-48-4	Cobalt	C	ND	0	1,43E+08	0	ND	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	
			NC	ND	0	3,30E+06	0	ND	0	2,19E+02	0	4,26E+03	0	NA	0	NA	0	NA	0	
3	71-43-2	Benzene	C	8,65E+02	0	1,72E+09	0	ND	0	3,19E+02	0	NA	0	4,59E+00	0	NA	0	NA	0	
			NC	8,43E+03	0	1,68E+10	0	ND	0	2,92E+03	0	NA	0	4,21E+01	0	NA	0	NA	0	
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	2,70E+03	0	5,37E+09	0	ND	0	1,69E+03	0	NA	0	3,91E+01	0	NA	0	NA	0	
			NC	2,81E+05	0	5,60E+11	0	ND	0	7,30E+04	0	NA	0	1,79E+03	0	NA	0	NA	0	
5	95-63-3	1,2,4-trimethylbenzene, 1,2,4-	C	1,97E+03	0	3,90E+09	0	ND	0	ND	0	NA	0	ND	0	NA	0	NA	0	
			NC	1,97E+03	0	3,90E+09	0	ND	0	ND	0	NA	0	ND	0	NA	0	NA	0	
6	80-32-8	Benz[a]pyrene	C	2,83E+03	0	1,22E+07	0	2,84E+00	0	2,40E+00	0	NA	0	5,17E+01	0	NA	0	NA	0	
			NC	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	NA	0	ND	0	NA	0	NA	0	
Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas				1,00E-05																
Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas				1																
NA	Não Avaliado																			
ND	Não Detectável																			

 CETESB		CONTAMINANTE	EFEITO	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA															
				RESIDENCIAL URBANO								ADULTO							
				NO PONTO DE EXPOSIÇÃO								NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO A UMA DISTÂNCIA DO PONTO DE EXPOSIÇÃO							
				INALAÇÃO				CONTATO DIRETO				INALAÇÃO				CONTATO DIRETO			
CAS No.				AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		CONTATO DERMICO		INGESTÃO		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		CONTATO DERMICO		INGESTÃO	
				mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
1	7440-39-3	Barium	C	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0
			NC	ND	0	ND	0	2,46E+01	0	7,30E+00	0	ND	0	ND	0	7,57E+01	0	2,24E+01	0
2	7440-48-4	Cobalt	C	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0
			NC	ND	0	ND	0	1,32E+00	0	1,10E-02	0	ND	0	ND	0	4,06E+00	0	3,36E-02	0
3	71-43-2	Benzene	C	3,44E+01	0	2,75E-01	0	5,16E-02	0	1,59E-02	0	1,02E+03	0	8,16E+00	0	1,53E+00	0	4,73E-01	0
			NC	3,35E+02	0	2,68E+00	0	4,73E-01	0	1,46E-01	0	9,95E+03	0	7,95E+01	0	1,40E+01	0	4,33E+00	0
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	1,07E+02	0	8,32E-01	0	7,79E-02	0	7,96E-02	0	1,54E+07	0	1,19E+05	0	1,12E+04	0	1,14E+04	0
			NC	1,12E+04	0	8,67E+01	0	3,57E+00	0	3,65E+00	0	1,60E+09	0	1,24E+07	0	5,11E+05	0	5,23E+05	0
5	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0
			NC	1,03E+02	0	8,28E-01	0	ND	0	ND	0	1,36E+22	0	1,06E+20	0	ND	0	ND	0
6	50-32-8	Benz[a]pyrene	C	6,38E+02	0	1,02E+01	0	8,12E-06	0	1,20E-04	0	2,52E+194	0	4,04E+192	0	3,21E+186	0	4,75E+187	0
			NC	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0	ND	0
Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas				1,00E-05															
Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas				1															
NA	Não Avaliado																		
NR	Não Disponível																		

 CETESB		CONTAMINANTE	EFEITO	RISCO CARCINOGENICO E NÃO CARCINOGENICO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA																RISCO CUMULATIVO POR SQ PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO	RISCO CUMULATIVO POR SQ PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO
				TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL								ADULTO									
				RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO								RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO									
				INALAÇÃO				CONTATO DIRETO				INALAÇÃO				CONTATO DIRETO					
				AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		CONTATO DERMICO		INGESTÃO		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		CONTATO DERMICO		INGESTÃO			
CAS No.																					
1	7440-39-3	Barium	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			NC	ND	ND	ND	5,20E-03	7,41E-02	ND	ND	ND	5,98E-04	8,51E-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
2	7440-48-4	Cobalt	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			NC	ND	ND	ND	7,73E-03	3,93E+00	ND	ND	ND	8,88E-04	4,52E-01	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
3	71-43-2	Benzene	C	1,31E-08	7,24E-07	1,04E-06	1,42E-05	1,56E-10	8,61E-09	1,23E-08	1,68E-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			NC	1,61E-04	8,92E-03	1,36E-02	1,85E-01	1,92E-06	1,08E-04	1,61E-04	2,20E-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	2,18E-08	1,25E-06	3,55E-06	1,47E-05	5,36E-14	3,08E-12	8,75E-12	3,61E-11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			NC	2,51E-05	1,44E-03	9,29E-03	3,84E-02	6,18E-11	3,55E-09	2,29E-08	9,45E-08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
5	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C	ND	ND	ND	ND	ND	1,98E-24	1,09E-22	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			NC	7,41E-04	4,08E-02	ND	ND	ND	1,98E-24	1,09E-22	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
6	50-32-8	Benz[a]pyrene	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
			NC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO				SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS			
				3,49E-08		1,97E-06		4,59E-05		2,88E-05		1,59E-10		8,62E-09		1,23E-08		1,68E-07			
				9,27E-04		5,11E-02		3,58E-02		4,23E+00		1,92E-06		1,09E-04		1,05E-03		4,63E-01			
Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas				1,00E-05																	
Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas				1																	
NA				Não Avaliado																	
ND				Não Disponível																	

 CETESB		CONTAMINANTE	EFEITO	RISCO CARCINOGENICO E NÃO CARCINOGENICO PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA														RISCO CUMULATIVO POR SQ PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO		
				TRABALHADOR EM OBRAS CIVIS E DE ESCAVAÇÃO								ADULTO								
				RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO								RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO								
				INALAÇÃO				CONTATO DIRETO				INALAÇÃO				CONTATO DIRETO				
				AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		CONTATO DERMICO		INGESTÃO		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS		CONTATO DERMICO			INGESTÃO	
CAS No.																				
1	7440-39-3	Barium	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND		
			NC	ND	ND	ND	2,08E-02	7,41E-02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9,49E-02	ND		
2	7440-48-4	Cobalt	C	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND		
			NC	ND	ND	ND	3,09E-02	3,93E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3,97E+00	ND		
3	71-43-2	Benzene	C	1,20E-09	7,43E-08	3,32E-07	1,13E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,54E-06	ND		
			NC	1,84E-04	1,14E-02	5,43E-02	1,85E-01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,51E-01	ND		
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	1,97E-09	1,28E-07	1,14E-06	1,17E-06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2,44E-06	ND		
			NC	2,83E-05	1,84E-03	3,72E-02	3,84E-02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7,74E-02	ND		
5	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND		
			NC	0,00E+00	0,00E+00	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND		
6	50-32-8	Benzo(a)pyrene	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND		
			NC	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND		
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO		SUBSTÂNCIAS CARCINOGENICAS		3,16E-09		2,02E-07		1,47E-06		2,39E-06		0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00		
		SUBSTÂNCIAS NÃO CARCINOGENICAS		2,13E-04		1,33E-02		1,43E-01		4,23E+00		0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00		
Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas				1,00E-06																
Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas				1																
NA		Não Avaliado																		
ND		Não Disponível																		

		CONTAMINANTE	BREVETAMENTO	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL																	
				TRABALHADOR EM OBRAS CIVIS E DE ESCAVAÇÃO								ADULTO									
				NO PONTO DE EXPOSIÇÃO																NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO A UMA DISTÂNCIA DO PONTO DE EXPOSIÇÃO	
				SUPERFICIAL								SUBSUPERFICIAL									SUBSUPERFICIAL
				CONTATO DIRETO				INGESTÃO DE VEGETAIS				INALHAÇÃO				INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIEVIAÇÃO DO SOLO					
CAS No.			INALHAÇÃO		CONTATO DERMICO		INGESTÃO		INGESTÃO DE COMPOSTOS METÁLICOS		INGESTÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS		AMBIENTES ABERTOS		AMBIENTES FECHADOS						
			mg/kg	partículas/m³	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg					
1	7440-39-3	Barium	C	ND	0	ND	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
			NC	ND	0	8,44E+07	0	ND	0	8,81E+04	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
2	7440-48-4	Cobalt	C	ND	0	8,78E+06	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
			NC	ND	0	1,01E+09	0	ND	0	1,33E+02	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
3	71-43-2	Benzene	C	2,81E+02	0	7,80E+09	0	ND	0	2,88E+03	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
			NC	1,70E+02	0	5,07E+09	0	ND	0	1,76E+03	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
4	100-41-4	Ethylbenzene	C	8,14E+02	0	2,43E+10	0	ND	0	1,44E+04	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
			NC	5,65E+03	0	1,69E+11	0	ND	0	4,41E+04	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
5	95-63-6	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C	ND	0	ND	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
			NC	3,96E+01	0	1,18E+09	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
6	50-32-8	Benz[a]pyrene	C	3,31E+03	0	5,53E+07	0	6,80E+01	0	2,17E+01	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
			NC	ND	0	ND	0	ND	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA	0		
Risco Máximo Aceitável para Substâncias Carcinogênicas				1,00E-05																	
Quociente de Perigo Máximo Aceitável para Substâncias não Carcinogênicas				1																	
NA	Não Avaliado																				
NR	Não Regulamentado																				

