



Renata Buzeti Garcia de Souza

***AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR
HIDROCARBONETOS DO SOLO
E DA ÁGUA DA REGIÃO DE AVARÉ***



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Renata Buzeti Garcia de Souza

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS DO SOLO E DA ÁGUA DA REGIÃO
DE AVARÉ

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Souza, Renata Buzeti Garcia de
S719A AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS DO SOLO E DA
ÁGUA DA REGIÃO DE AVARE / Renata Buzeti Garcia de Souza. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2022

165 f.: il

DOI: 10.37423/2022.edcl630

ISBN: 978-65-5367-207-9

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. água-e-solo 2. contaminação 3. hidrocarbonetos I. Souza, Renata Buzeti Garcia de II. Título

CDU: 624

<https://doi.org/10.37423/2022.edcl630>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonatto

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2022



10.37423/2022.edcl630



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus** que é a minha salvação, refúgio e fortaleza. Que me faz voar com asas como de águias para atingir os meus sonhos.

Agradeço ao meu marido e melhor amigo Victor por todo o seu grande apoio, amor incondicional, companhia e paciência por todos os momentos em que estive ausente.

Agradeço aos meus pais Nemésio e Renata que me ensinaram o caminho da vida e ao meu irmão Fernando que me enche de alegria desde que nasceu.

Agradeço ao meu sogro Hamilton e sogra Vera por todo o apoio, por serem minha segunda família e por serem meus Amigos.

Agradeço à minha querida tia Zenaide que cedendo seu apartamento tornou possível a realização desse mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Lodi pela paciência, dedicação e segurança que me passou durante esse trabalho.

Agradeço ao meu novo amigo Prof. Paulo Fogaça pela paciência, ajuda com os relatórios e principalmente pelas valiosas dicas.

Agradeço aos meus modernos avós Ruy, Marcia, Nemésio e Nadir, por todo apoio e por me alegrarem sempre com suas aventuras.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo a avaliação da contaminação da água e solo por hidrocarbonetos em dois postos de combustíveis denominados Postos A e B, em dois municípios da região de Avaré (SP). Foram avaliadas as concentrações de contaminantes identificadas nas amostras de água e solo coletadas pelas empresas A e B e, comparadas aos Valores de Intervenção da CETESB para solos e águas subterrâneas. Confirmada a contaminação por hidrocarbonetos em ambos os postos e reclassificadas essas áreas como Áreas Contaminadas (AC), foi avaliada a eficácia das técnicas de remediação executadas no Posto A e, através do comparativo traçado entre 21 casos similares da região de Avaré, traçado um plano de remediação para o Posto B. Foram avaliadas as técnicas praticadas no Posto A, de Bombeamento e Tratamento, Biorremediação e Extração de Vapores do Solo. Os principais resultados mostraram uma significativa redução de BTEX totais entre 74,44% e 97,85%, com exceção apenas do ponto onde encontra-se a bomba de sucção do efluente que apresentou aumento, devido à migração da fase residual. Em relação ao Posto B, o comparativo traçado, resultou em um plano de remediação que conta com a associação das técnicas de Bombeamento e Tratamento e, Biorremediação com o uso de Bioestimulantes, visando a aceleração do processo de remediação, tendo em vista que o único meio de abastecimento de água do Posto B trata-se de poço artesiano. A avaliação das investigações permitiu: a classificação de ambos os postos como AC, a identificação das fontes primárias e secundárias de contaminação, o estudo do fluxo de água subterrânea e a direção e extensão da contaminação ao longo do tempo. Além disso, a metodologia de ações corretivas baseadas no risco (ACBR) permitiu o traçado dos possíveis cenários de risco. O processo de remediação dos postos, continua em operação até que essas concentrações se tornem nulas.

Palavras chave: água e solo, contaminação, hidrocarbonetos, valores orientadores, monitoramento, postos de abastecimento, remediação.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. JUSTIFICATIVA.....	17
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1. CONTAMINAÇÃO DO SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA POR COMBUSTÍVEIS	19
4.2. CONTAMINANTES - ORIGEM E CARACTERÍSTICAS	25
4.3. DINÂMICA DOS CONTAMINANTES.....	31
4.4. PROCEDIMENTOS DE IDENTIFICAÇÃO DE UMA ÁREA CONTAMINADA.....	38
4.5. VALORES ORIENTADORES	42
4.6. ANÁLISE DE RISCO.....	43
4.7. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	46
4.8. REVISÃO DE ARTIGOS.....	52
5. MATERIAIS E MÉTODOS	57
5.1. MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	57
5.2. POSTO A.....	61
5.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO POSTO A.....	61
5.2.2. INSTALAÇÕES DO POSTO A	67
5.2.3. ANÁLISE DO SOLO LOCAL	68
5.2.4. ANÁLISE DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA LOCAL	71
5.3. POSTO B.....	74
5.3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO POSTO B.....	74
5.3.2. INSTALAÇÕES DO POSTO B.....	78
5.3.3. ANÁLISE DO SOLO LOCAL	80
5.3.4. ANÁLISE DO FLUXO DE AGUA SUBTERRÂNEA.....	81
6. RESULTADOS OBTIDOS E PROVIDÊNCIAS	83

6.1. POSTO A.....	83
6.1.1. INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	83
6.1.2. INVESTIGAÇÃO DETALHADA	86
6.1.3. DELIMITAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO	94
6.1.4. ANÁLISE DE VOC'S.....	97
6.1.5. ANÁLISE DE RISCO.....	102
6.1.6. MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO EXECUTADOS.....	104
DESCARTE	111
6.2. POSTO B.....	112
6.2.1. INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	112
6.2.2. INVESTIGAÇÃO DETALHADA	119
6.2.3. DELIMITAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO	120
6.2.4. ANÁLISE DE VOC'S.....	123
6.2.5. ANÁLISE DE RISCO.....	124
6.2.6. MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO PROPOSTOS	126
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	137
7.1. POSTO A.....	138
RESULTADO DA ET	138
7.2. POSTO B.....	146
8. CONCLUSÕES	146
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
ANEXOS	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grupos de hidrocarbonetos	27
Figura 2 - Combustíveis provenientes do refino do petróleo.....	30
Figura 3 - Zona Saturada e Zona Não Saturada	33
Figura 4 - Relação NAPL's com a água	34
Figura 5 - Transformação de fases dos LNAPL.....	35
Figura 6 - Deslocamento e intensidade da pluma de contaminação.....	36
Figura 7 - Processo de Infiltração.....	37
Figura 8 - Processo de Advecção	37
Figura 9 - Processo de Difusão	37
Figura 10 - Processo de Dispersão.....	38
Figura 11 - Processo de Volatilização	38
Figura 12 - Processos Físicos, Químicos e Biológicos	39
Figura 13 - Evolução da pluma de contaminação no tempo	40
Figura 14 - Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas .	42
Figura 15 - Distribuição das áreas contaminadas	43
Figura 16 - Etapas análise de risco	47
Figura 17 - Técnicas de remediação implantadas até dezembro de 2013	49
Figura 18 - Processo biológico da quebra de contaminantes	51
Figura 19 - Comparação entre os custos do tratamento de solos empregando diferentes técnicas de tratamento	51
Figura 20 - Esquema de sistema SVE	53
Figura 21 - Esquema de sondagem a percussão por martelo hidráulico para coleta de amostras de solo	60
Figura 22 - Poço de monitoramento para coleta de amostras de água subterrânea.....	61
Figura 23 - Localização de Itaí no Estado de São Paulo	63
Figura 24 - Unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo	64
Figura 25 - Localização Município de Itaí na área de recarga do Aquífero Guarani.....	65

Figura 26 - Relevo do Estado de São Paulo	66
Figura 27 - Depressão do Paranapanema	66
Figura 28 - Mapa pedológico Estado de São Paulo.	67
Figura 29 - Instalações do Posto A	69
Figura 30 - Locação dos pontos PM1 a PM7 para sondagem	70
Figura 31 - Perfil do solo Posto A	71
Figura 32 - Sentido da movimentação da água subterrânea	73
Figura 33 - Folha Cartográfica do Município de Itai	74
Figura 34 - Fluxo da água subterrânea	75
Figura 35 - Localização de Iaras no Estado de São Paulo	76
Figura 36 - Unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo	76
Figura 37 - Localização Município de Itai na área de recarga do Aquífero Guarani.....	77
Figura 38 - Depressão do Paranapanema	78
Figura 39 - Mapa pedológico Estado de São Paulo	79
Figura 40 - Instalações Posto B	80
Figura 41 - Locação dos pontos PM1 e PM2 para sondagem	81
Figura 42 - Perfil do solo Posto B	82
Figura 43 - Sentido da movimentação da água subterrânea	83
Figura 44 - Fluxo da água subterrânea	83
Figura 45 - Perfil dos poços de monitoramento	85
Figura 46 - Locação dos pontos PM1 a PM7 - Investigação Confirmatória	86
Figura 47 - Locação dos pontos PM8 a PM14 - Investigação Detalhada	88
Figura 48 - Delimitação da pluma de contaminação	96
Figura 49 - Estimativa da extensão da pluma de contaminação	98
Figura 50 - Medição de VOC's em PM8	99
Figura 51 - Medição de VOC's em PM9	99
Figura 52 - Medição de VOC's em PM10	100
Figura 53 - Medição de VOC's em PM11	100

Figura 54 - Medição de VOC's em PM12	101
Figura 55 - Medição de VOC's em PM13	101
Figura 56 - Medição de VOC's em PM14	102
Figura 57 - Relação da concentração de VOC's nos pontos PM8 a PM14	102
Figura 58 - Delimitação pluma de VOC's	103
Figura 59 - Modelo padrão de bomba pneumática utilizada para bombeamento.....	108
Figura 60 - Sistema de tratamento de água subterrânea	109
Figura 61 - Instalação do sistema de remediação do posto A	110
Figura 62 - Cronograma das atividades investigatórias realizadas	111
Figura 63 - Caracterização e classificação de resíduos	112
Figura 64 - Locação dos pontos PM1 e PM2 - Investigação Confirmatória	113
Figura 65 - Perfil poços de monitoramento	114
Figura 66 - Locação dos pontos PM03 a PM13 - Investigação Detalhada.....	120
Figura 67 - Delimitação da pluma de contaminação	122
Figura 68 - Intervalos de variação de K para diversos solos	123
Figura 69 - Estimativa da extensão da pluma de contaminação	124
Figura 70 - Estimativa de locação de área para análise de VOC's	125
Figura 71 - Esquema de revestimento com argamassa impermeabilizante para caixa separadora de água e óleo	128
Figura 72 - Nata de cimento e água	129
Figura 73 - Proximidade entre Itaí e laras	130
Figura 74 - Local de instalação E.T.	136
Figura 75 - Esquema de remediação Posto B	137
Figura 76 - Locação sistema de remediação	137
Figura 77 - Levantamento de AC entre 2002 e 2014	138
Figura 78 - Evolução da contaminação em PM3	140
Figura 79 - Evolução da contaminação em PM4	141
Figura 80 - Evolução da contaminação em PM9	142
Figura 81 - Evolução da contaminação em PM10	143

Figura 82 - Evolução da contaminação em PM11	144
Figura 83 - Evolução da contaminação em PM13	144
Figura 84 - Evolução da contaminação em PM5	145
Figura 85 - Evolução da remediação por coleta	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo	16
Tabela 2 - Proporção de acidentes	22
Tabela 3 - Relação de Normas Técnicas de fiscalização de postos de abastecimento.	24
Tabela 4 - Transformações sofridas pelos contaminantes.	29
Tabela 5 - Comparação entre BTEX e HPA	31
Tabela 6 - Comparação quantitativa entre alguns compostos constituintes da gasolina e óleo diesel	32
Tabela 7 - Relação meio x caminho de exposição	46
Tabela 8 - Informações técnicas e localização das sondagens	70
Tabela 9 - Características físicas do solo amostrado	72
Tabela 10 - Cargas e potenciais hidráulicos	72
Tabela 11 - Informações técnicas e localização das sondagens	81
Tabela 12 - Cargas e potenciais hidráulicos	82
Tabela 13 - Informações técnicas dos poços de monitoramento	85
Tabela 14 - Informações técnicas e localização das sondagens	88
Tabela 15 - Resultados analíticos amostras solos-BTEX	89
Tabela 16 - Resultados analíticos amostras solos-BTEX	90
Tabela 17 - Resultados analíticos amostras solos-HPA	91
Tabela 18 - Resultados analíticos amostras solos-HPA	92
Tabela 19 - Resultados analíticos amostras água-BTEX	93
Tabela 20 - Resultados analíticos amostras água-HPA	94
Tabela 21 - Possíveis cenários de contaminação	104
Tabela 22 - Distâncias críticas	105
Tabela 23 - Estado de contaminação do solo local	106
Tabela 24 - Estado de contaminação da água subterrânea local	106
Tabela 25 - Cronograma do processo de remediação.....	111
Tabela 26 - Concentração dos parâmetros analisados, ponto PM01	116
Tabela 27 - Concentração dos parâmetros analisados, ponto PM02	117

Tabela 28 - Concentração dos parâmetros analisados nas amostras de água ..	118
Tabela 29 - Concentração dos parâmetros analisados nas amostras de água ..	119
Tabela 30 - Possíveis cenários de contaminação	126
Tabela 31 - Distancias criticas	127
Tabela 32 - Estado de contaminação do solo local	127
Tabela 33 - Estado de contaminação da água subterrânea local	128
Tabela 34 - Comparação características Posto A e Posto B	131
Tabela 35 - Levantamento de áreas contaminadas em municípios limítrofes ...	132
Tabela 36 - Comparativo entre casos similares.....	133

LISTA DE SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC- Área Contaminada

ACBR- Ações Corretivas Baseadas no Risco

ANP- Agencia Nacional de Petróleo

AR- Área Reabilitada para Uso Declarado

ART- Anotação de Responsabilidade Técnica

AS- Área Suspeita

CWA- Lei da água limpa – “Clean Water Act”

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNAPL - Fase Líquida Não Aquosa Densa - “Dense non-aqueous phase liquid”

ET - Estação de Tratamento

HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

HTP- Hidrocarbonetos Totais de Petróleo

IUPAC- União Internacional de Química Pura e Aplicada – “International Union of Pure and Applied Chemistry”

ISR - Instalação de Sistema Retalhista

LI - Licença de Instalação

LNAPL- Fase Líquida Não Aquosa Leve- “Light non-aqueous phase liquid”

LO - Licença de Operação

LP- Licença Prévia

LQ- Limite de Quantificação

OMS - Organização Mundial da Saúde

PA - Posto de Abastecimento

PF - Posto Flutuante

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

POA - Processos Oxidativos Avançados

PR - Posto Revendedor

SAAC - Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis

SQI - Substâncias Químicas de Interesse

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

VI - Valores de Intervenção

VOC - Compostos Orgânicos Voláteis – “Volatile Organic Compound”

VO - Valores Orientadores

VP - Valores de Prevenção

VRQ - Valores de Referência de Qualidade

1. INTRODUÇÃO

A contaminação do solo e da água subterrânea por hidrocarbonetos é ocorrência comum devido ao derrame de combustíveis em postos de abastecimento. Apesar de subestimado, esse problema merece atenção devido à frequência com que acontece e o modo como coloca a saúde humana em risco por ser causado pelo derrame de substâncias que possuem componentes altamente tóxicos (SANTOS, 2009).

Uma das principais causas para o aumento da frequência com que esse problema acontece foi o intenso avanço tecnológico e industrial que gerou uma grande demanda por automóveis próprios e voltados para logísticas industriais (FREIRE, 2011).

Aumentando-se o número de automóveis, aumentaram-se também a necessidade de postos de abastecimento de combustíveis e, visualizando esse mercado, foram estabelecidos milhares de postos sem observância às normas reguladoras (SANTOS, 2009).

Esse fato, juntamente com o pouco conhecimento sobre contaminantes provenientes de combustíveis e pouca fiscalização, são responsáveis hoje, por uma das mais graves causas de contaminação como mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo

Região	Atividade					Total
	Comercial	Industrial	Resíduos	Postos de Combustíveis	Acidentes Agricultura	
São Paulo	76	248	38	1294	9	1665
RMSP-Outros	48	199	23	535	11	816
Interior	75	228	45	1314	15	1677
Litoral	29	42	28	247	2	348
Vale do Paraíba	4	51	2	207	1	265
Total	232	768	136	3597	38	4771
Percentual (%)	6	16	4	73	1	100

Fonte: CETESB, 2014.

Vários são os fatores que geram o derrame de combustíveis. As falhas humanas operacionais estão relacionadas ao manuseio incorreto da bomba no ato do abastecimento do automóvel que, formam poças de combustíveis no pátio das ilhas de abastecimento e; no descarregamento de combustíveis

dos caminhões transportadores para os tanques submersos que, se preenchidos além do nível estabelecido, geram o transbordamento dos respiros (GUIGUER, 1996).

A princípio como não haviam conhecimento e consciência da presença de contaminantes nas águas subterrâneas, não haviam legislações específicas que determinassem diretrizes para o uso, preservação e monitoramento.

As águas subterrâneas, que são uma parcela das águas superficiais provenientes de precipitações através da infiltração, ocupam poros e vazios intergranulares dos solos sedimentares. Segundo Santos (2009), apesar de toda a água encontrada abaixo da superfície ser essencialmente subterrânea, a definição de água subterrânea é dada apenas a água em circulação na zona saturada.

O fator que a torna apropriada para o consumo humano é o próprio ato da infiltração dessas águas, onde ocorre um processo de depuração natural com retenção de partículas sólidas, neutralização de pH e remoção de microrganismos. Essas águas são consideradas de maior pureza que os mananciais superficiais e, portanto, adequadas para o consumo humano (SILVA, 2003).

Em 1970, foi identificada pela primeira vez a presença de compostos de combustíveis diluídos em poços de água para abastecimento humano nos Estados Unidos. Várias alterações posteriores e reorganizações nas agências do governo federal motivaram a criação da Lei da Água Limpa “ Clean Water Act” (CWA) em 1972, onde o monitoramento das águas subterrâneas é tratado na seção 305, item b, estabelecendo critérios para os diferentes usos das águas subterrâneas. Essa Lei surgiu como aprimoramento da Lei Federal de Controle e Poluição das águas “ Federal Water Pollution Control Act “, de 1948 que estabelecia critérios para controle da poluição das águas, antes dessa data as leis existentes nos Estados Unidos tratavam apenas da preservação dos cursos d’água para fins de navegação.

No Brasil, a primeira legislação criada a respeito das águas tratava sobre o domínio das águas comuns e particulares do território nacional, concessões, autorizações, fiscalizações, uso da energia hidrelétrica e a proibição das contaminações que causassem danos à saúde humana. Diretrizes sobre o aproveitamento das águas subterrâneas e pluviais também foram traçadas neste Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934, chamado O Código das Águas.

A fim de selecionar as atividades relacionadas às águas subterrâneas, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH, nº 15, de 11 de janeiro de 2001, determina que atividades que causem alterações nessas águas, tanto de proteção quanto de mitigação devem apresentar:

- Descrição e previsão dos impactos;
- Estimativas de fonte pontuais e difusas de contaminação e;
- Avaliação das características e uso do solo superficial e das águas subterrâneas.

Todas essas resoluções dão atualmente as diretrizes necessárias, para o controle das águas subterrâneas. Entretanto além da proteção deste recurso se faz necessário a proteção do solo, recurso fundamental que segundo a Comissão das Comunidades Europeias (2006, é responsável pelas funções vitais de:

- Manutenção do ciclo da água e dos nutrientes;
- Conservação das reservas minerais e de matérias-primas;
- Produção de alimentos e;
- Manutenção da atividade sócio-econômica.

2. JUSTIFICATIVA

A ocorrência de contaminação ambiental por hidrocarbonetos causa prejuízos à saúde humana no momento em que os vapores expelidos pelos contaminantes são inalados, ocorre a ingestão da água ou, de vegetais plantados no solo contaminado (BRAGA, 2005).

Devido a esse fato, o uso inadequado do solo pode trazer extensas consequências de difícil recuperação para a qualidade das águas. O derrame de contaminantes pode comprometer extensas áreas imprescindíveis para o desenvolvimento regional, por isso a necessidade de fiscalização a respeito de atividades contaminadoras de risco para o solo, são hoje reconhecidas mundialmente (RODRIGUES e DUARTE, 2003).

Segundo o Boletim de Abastecimento de Fevereiro de 2015 da Agência Nacional de Petróleo, ANP, o Brasil possui cerca de 40.266 revendedores de combustíveis líquidos para automóveis. A maior parte desses, concentrada nas regiões metropolitanas do país, sendo o Estado de São Paulo, devido ao maior fluxo de automóveis, o possuidor do maior número de postos instalados seguido por Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Bahia (GOUVEIA, 2004). Segundo a Relação de áreas contaminadas da CETESB de 2014, o Estado de São Paulo possui atualmente 4.771 áreas cadastradas classificadas como contaminadas.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento da ONU, no ano 2000, estabeleceu no plano dos Objetivos do Milênio, como seu 7º objetivo a “Garantia da qualidade de vida e respeito ao meio ambiente”. Dentre as 4 metas a serem atingidas por esse objetivo, a meta C trata da “Redução da população sem acesso a água potável”.

O risco para a saúde humana da contaminação do solo e da água por combustíveis ainda é subestimado (CETESB, 2001).

Segundo o National Research Council, NRC, de 1997, é fundamental a criação de bancos de dados das tecnologias de remediação de contaminação por combustíveis existentes e eficazes, visto que cada local possui características específicas e, um maior número de estudos facilitaria comparações e a escolha das tecnologias a serem utilizadas.

Assim, esta pesquisa se justifica pelo crescente número de áreas contaminadas identificadas no Estado de São Paulo que comprometem a água subterrânea usada para abastecimento da população e, pelo fato de que, apesar das inúmeras legislações existentes, a consciência das graves consequências da contaminação do solo e da água subterrânea sob postos de abastecimento ainda não é tratada pelos proprietários e consumidores dos postos com a atenção necessária. Ademais, este trabalho discute ainda dados técnicos para conhecimento do problema, desde a disponibilidade de água, qualidade dos recursos, legislações existentes, conhecimentos sobre os contaminantes, identificação de áreas contaminadas, até os processos de remediação disponíveis. Buscando-se determinar as principais fontes de contaminação e, como ocorre a dinâmica dos processos envolvidos. Para tanto, foram estudados dois casos de áreas contaminadas devido à vazamentos em postos de abastecimento de combustíveis em municípios distintos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Realizar a avaliação dos relatórios das Investigações Confirmatória e Detalhada, emitidos pelas empresas A e B, do solo e da água por hidrocarbonetos de dois postos de abastecimento de combustíveis nos municípios de Itaí e Iaras, na região da Avaré (SP).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visando o cumprimento do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificação de duas áreas de postos de abastecimento potencialmente contaminadas por combustíveis na região de interesse de Avaré-SP;
- Levantamento da área de atuação, instalações e histórico de contaminação dos postos escolhidos;
- Comparação dos resultados das Investigações Confirmatória e Detalhada com os Valores de Intervenção para solos e águas subterrâneas, estabelecidos pela CETESB na Tabela de Valores Orientadores para Solos e Água Subterrânea no Estado de São Paulo de 2005;
- Identificação das possíveis causas de contaminação;
- Análise do sentido e extensão das plumas de contaminação;
- Comparativo entre casos de contaminação por combustíveis em postos de abastecimento similares, identificados na região de interesse de Avaré-SP;
- Apresentação dos resultados dos processos de remediação executados levantados no comparativo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo foi referenciado em livros, artigos, dissertações, leis e normas a respeito da dinâmica de contaminantes e processos de remediação. Descrevem-se também as características dos contaminantes e suas consequências para a saúde humana, métodos investigativos, valores orientadores definidos pela CETESB, definição de áreas contaminadas e remediadas, dinâmica da pluma de contaminação e métodos de remediação.

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, também foi analisado de modo a esclarecer como é feita a classificação de uma área e quais as etapas e os processos investigativos envolvidos.

O processo de análise de risco foi descrito visando o esclarecimento dos possíveis cenários de riscos.

Os métodos de remediação associados para recuperação das áreas contaminadas dos estudos de caso em questão, também foram descritos a fim de proporcionar o entendimento das técnicas realizadas.

A revisão bibliográfica foi elaborada de forma a proporcionar o embasamento para a análise dos resultados obtidos.

4.1. CONTAMINAÇÃO DO SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA POR COMBUSTÍVEIS

Contaminantes são compostos químicos artificiais que entram em contato com o meio ambiente através da ação do homem e, em concentrações específicas, causam danos à saúde humana e alterações no meio onde estão inseridos. Esses podem ser encontrados nos solos, sedimentos, rochas, águas subterrâneas, zonas não saturada e saturada, e, estruturas de construções, de acordo com sua

capacidade de transporte que permiti a migração de um local para outro através da transformação entre as fases líquida, sólida e vapor. Apresentando uma área evidências de substâncias tóxicas acima dos valores de segurança estabelecidos pelos órgãos reguladores, essa pode ser definida como área contaminada (CETESB, 2004).

Segundo a CETESB (2007), uma área, local, ou terreno exposto a contaminação devido à presença de substâncias poluidoras seja por armazenagem, depósito ou infiltração, de modo acidental ou natural, é considerada uma área contaminada.

Apesar do maior espaço ocupado na mídia a respeito da contaminação de solos e águas por combustíveis tratar de grandes derrames industriais, os pequenos vazamentos ocorrentes em postos de combustíveis representam 73% dos casos de áreas contaminadas no Estado de São Paulo (CETESB, 2014).

Segundo Sanchez (1998), são quatro os problemas principais das áreas contaminadas. O primeiro considera o risco à saúde pública; o segundo, o risco de comprometimento sobre as propriedades existentes sobre essas áreas; o terceiro, as restrições ao desenvolvimento urbano e; o quarto a redução do valor imobiliário da área, fato esse que coloca os proprietários locatários também em alerta a respeito das atividades que estão sendo exercidas em sua área.

Outra importante causa diz respeito aos aspectos construtivos como, a pavimentação mal executada que devido à solicitação começa a apresentar rachaduras, o mal assentamento das tubulações que fazem a ligação das bombas aos tanques e, a alvenaria das caixas separadoras e acumuladoras que muitas vezes não são impermeabilizadas corretamente.

Os materiais usados também influenciam no risco de acidentes de contaminação. Tanques e tubulações de má qualidade podem sofrer corrosão antes do previsto e microfissuras devido à baixa resistência do material que está sujeito à vibrações em virtude do intenso tráfego de veículos. Todas essas falhas ocorrem em elementos enterrados, dificultando a identificação do problema até que seja constatada a contaminação no solo ou na água subterrânea. Esses fatos podem ocorrer isoladamente ou em conjunto, como é o caso do combustível derramado no momento do abastecimento que se infiltra no solo devido às rachaduras no piso.

A tabela 2 apresenta os dados segundo a CETESB relacionados à proporção das causas de acidentes em postos de combustíveis no último estudo realizado em 2006.

Tabela 2 - Proporção de acidentes

Causas	%
Tanque	31,5
Passivo ambiental	17,7
Tubulação	16,3
Extravasamento	8,1
Descarte	5,4
Outros	5,4
Desativação	4,6
Tubulação e tanque	4,0
Bomba	3,0
Não identificado	2,1
Caixa separadora	1,8

Fonte: CETESB, 2006a.

Segundo Freire (2011), o tempo de operação dos postos, sem passar por reformas, deve ser considerado, pois, a vida útil dos tanques e tubulações é estimada entre 20 e 25 anos, razão pela qual a área sob os postos mais antigos constitui a maior proporção das áreas de risco. Tanques fissurados podem perder de 2 a 3 litros de combustíveis por dia, valores esses não considerados pelos funcionários e proprietários por se assemelharem ao volume de perda comum no ato do abastecimento. Porém, sendo esses valores perdidos por vazamento no solo, ao longo de 10 a 15 anos acabam por atingir áreas afora dos limites dos postos (CETESB, 1999a).

A respeito das legislações, a Lei Federal nº6938/81, regulamentada pelo Decreto Federal nº 99274/90, sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, fornece um importante passo classificando postos de abastecimento de combustíveis como estabelecimentos com potencial contaminador, devido ao armazenamento de substâncias com potencial tóxico, lavagem de veículos, serviços de troca de óleo e geração de resíduos.

Atualmente a legislação mais importante que regulamenta as atividades dos postos de abastecimento é a Resolução CONAMA nº 420 de 2009, que fornece diretrizes sobre procedimentos de instalação de postos de abastecimento de combustíveis e exige licenciamento ambiental para seu funcionamento.

Esta resolução afirma que postos de abastecimento não praticam apenas a atividade de abastecimento e os classifica de acordo com 4 práticas:

- Posto Revendedor (PR): onde se revende combustível derivado de petróleo com equipamentos e sistema de armazenamento e medição de combustível;
- Posto de Abastecimento (PA): instalação que possui equipamentos de armazenamento, com registrador de volume próprio para abastecimento de quaisquer equipamentos móveis, como automóveis, aeronaves, embarcações, etc. cujos produtos sejam destinados unicamente para o uso do detentor do empreendimento, como clubes, condomínio ou afins;
- Instalação de Sistema Retalhista (ISR): instalação com tanques de armazenamento de óleo diesel, óleo combustível, querosene destinados ao exercício da atividade de Transportador Revendedor Retalhista e;
- Posto Flutuante (PF): embarcação sem propulsão destinada para armazenamento, distribuição e comércio de combustíveis que opera em local determinado.

A não observância desta resolução pode suspender parcialmente ou totalmente a atividade de postos como forma de penalidade e, em casos menos severos, aplicar multas até que a licença seja obtida.

São 3 as licenças necessárias para o funcionamento:

- Licença Prévia (LP): emitida antes do início das instalações, diz respeito a aprovação da localização, do projeto e a viabilidade ambiental. Em caso de reprovação, identifica quais os critérios devem ser atendidos;
- Licença de Instalação (LI): que após projeto aprovado, autoriza a instalação do posto. Pode ser emitida juntamente com a LP e;
- Licença de Operação (LO): que após a completa instalação do posto, autoriza o início da atividade comercial.

Uma atualização foi dada a Resolução 273 de 2000 em dezembro de 2002, estabelecida pela Resolução CONAMA nº 319, sobre prevenção e controle da poluição em postos de abastecimento, dando diretrizes a respeito da montagem e instalação de equipamentos. A partir dessa Resolução que colocou os estados e os municípios também como fiscalizadores, várias normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, criadas a partir de 1997, começaram a ser observadas conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Relação de Normas Técnicas de fiscalização de postos de abastecimento.

Item	Norma	Título
1	NBR 13212:2004	Posto de serviço – Construção de tanque atmosférico subterrâneo em resina termofixa reforçada com fibras de vidro, de parede simples ou dupla
2	NBR 13312:2003	Posto de serviço - Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço carbono
3	NBR 13781:2001	Posto de serviço - Manuseio e instalação de tanque subterrâneo de combustíveis
4	NBR 13782:2001	Posto de serviço - Sistemas de proteção externa para tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono
5	NBR 13783:2005	Posto de serviço - Instalação do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis – SASC
6	NBR 13784:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção de métodos para detecção de vazamentos e ensaios de estanqueidade em sistemas de abastecimento subterrâneo de combustíveis (SASC)
7	NBR 13785:2003	Posto de serviço - Construção de tanque atmosférico de parede dupla, jaquetado
8	NBR 13786:2005	Posto de serviço - Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis
9	NBR 13787:1997	Controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) nos postos de serviço
10	NBR 13895:200	Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem - Procedimentos
11	NBR 14605:2000	Sistema de drenagem oleosa
12	NBR 14606:2000	Entrada em espaço confinado
13	NBR 14639:2001	Instalações elétricas
14	NBR 14722:2001	Tubulação não metálica
15	NBR 14867:2002	Tubos metálicos flexíveis
16	NBR 14973:2004	Remoção e destinação de tanques subterrâneos usados
17	NBR 15005:2003	Válvula antitransbordamento
18	NBR 15015:2006	Válvulas de esfera flutuante
19	NBR 15072:2004	Construção de tanque atmosférico subterrâneo ou aéreo em aço-carbono ou resina termofixa reforçada com fibra de vidro para óleo usado
20	NBR 15118:2004	Câmaras de contenção construídas em polietileno
21	NBR 15138:2004	Armazenagem de combustível - Dispositivo para descarga selada
22	NBR 15139:2004	Armazenagem de combustível - Válvula de retenção instalada em linhas de sucção

Fonte: MARANHÃO et al., 2007.

Tabela 3 - Relação de Normas Técnicas de fiscalização de postos de abastecimento (continuação).

23	NBR 15205:2005	Armazenamento de combustível – Revestimento interno de tanque instalado, com a criação de parede dupla e espaço intersticial
24	NBR 15288:2005	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor veicular (serviços) — Plano de atendimento a emergências (PAE)
25	NBR 15427:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Válvula de segurança da mangueira
26	NBR 15428:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Manutenção de unidade de abastecimento
27	NBR 17505-1:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Disposições gerais
28	NBR 17505-2:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 2: Armazenamento em tanque e em vasos
29	NBR 17505-3:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 3: Sistemas de tubulações
30	NBR 17505-4:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 4: Armazenamento em recipientes e em tanques portáteis
31	NBR 17505-5:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 5: Operações
32	NBR 17505-6:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 6: Instalações e equipamentos elétricos
33	NBR 17505-7:2006	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários

Fonte: MARANHÃO et al., 2007.

23NBR 15205:2005Armazenamento de combustível – Revestimento interno de tanque instalado, com a criação de parede dupla e espaço intersticial24NBR 15288:2005Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor veicular (serviços) — Plano de atendimento a emergências (PAE)25NBR 15427:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Válvula de segurança da mangueira26NBR 15428:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Manutenção de unidade de abastecimento27NBR 17505-1:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Disposições gerais28NBR 17505-2:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 2: Armazenamento em tanque e em vasos29NBR 17505-3:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 3: Sistemas de tubulações30NBR 17505-4:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 4: Armazenamento em recipientes e em tanques portáteis31NBR 17505-5:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 5: Operações32NBR 17505-6:2006Armazenamento de

líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 6: Instalações e equipamentos elétricos33NBR 17505-7:2006Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários

Em 2003 a Lei Complementar nº 125, exigiu que postos de abastecimento deveriam ter área mínima de 1.440m² para lotes localizados no meio da quadra e, 1.000m² para lotes localizados em esquinas.

Por fim em janeiro de 2006a, além das 3 licenças LP, LI e LO, a CETESB, por meio da decisão da diretoria nº 010-2006-C, passou a exigir os seguintes anexos, para o licenciamento dos postos de abastecimento.

- Anexo I: Procedimento para Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis – Roteiro Único;
- Anexo II: Quadros de Exigências para o Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis;
- Anexo III: Roteiro de Inspeção de Tanques Aéreos de Armazenamento de Combustíveis e suas Tubulações
- Anexo IV: Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis; contendo 3 anexos:
 - Tabela para determinação do número de sondagens;
 - Procedimento para avaliação de gases no solo e;
 - Procedimento para amostragem de água subterrânea.
- Anexo V: Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis (SAAC), contendo um único anexo para amostragem de água subterrânea;
- Anexo VI: Procedimento para Remoção de Tanques e Desmobilização de Sistema de Armazenamento e Abastecimento de Combustíveis, contendo um único sub anexo para avaliação de gases no solo e;
- Anexo VII: Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos.

Todas essas Leis e Decretos facilitam a fiscalização dos postos de abastecimento, que não podem ser instalados e iniciar suas atividades sem que todas as exigências sejam cumpridas para a obtenção da licença. Mesmo após o início das atividades é necessário ainda que os procedimentos de monitoramento sejam mantidos.

4.2. CONTAMINANTES - ORIGEM E CARACTERÍSTICAS

O petróleo, mundialmente conhecido como fonte de energia, é composto por uma complexa mistura de decomposição de matéria orgânica de plantas e animais, carbono, hidrogênio e pequenas porções

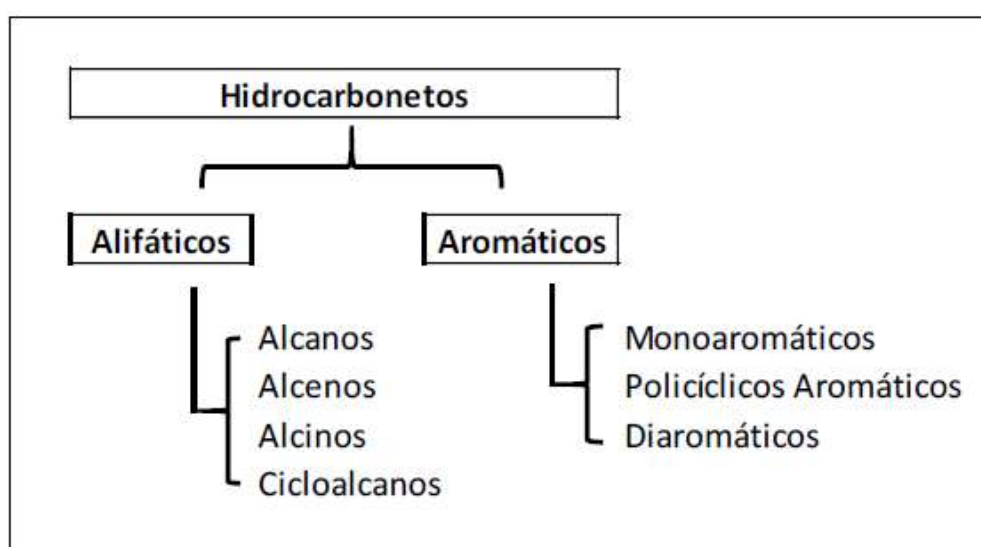
de oxigênio, nitrogênio e enxofre. O petróleo imediatamente extraído, chamado de óleo cru, ainda é a matéria prima principal dos combustíveis produzidos em todo o mundo. Isso se deve às características da sua composição que contam com 84,5% de carbono, 13,0% de hidrogênio, 1,5% de enxofre, 0,5% de nitrogênio e 0,5% de oxigênio (SANTOS, 2009).

Ao passar pelo processo de refinaria que ocorre através de intervalos de temperatura e pressão a que se sujeita o petróleo bruto, os combustíveis resultantes são classificados em três grupos de acordo com o número de átomos de carbono, sendo eles: as gasolinas, com 4 a 12 átomos de carbono; os destilados, com 9 a 20 átomos de carbono e; os óleos pesados, com mais de 14 átomos de carbono (MARIANO, 2006).

Todos os combustíveis derivados do petróleo obtidos a partir de diferentes faixas de destilação, são compostos por hidrocarbonetos em diferentes proporções que, por estarem presentes no petróleo bruto, são chamados de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo, HTP. A composição do petróleo muda de acordo com a localização onde é extraído, porém o que é comum no petróleo encontrado em todos os lugares são as altas proporções de hidrocarbonetos em sua composição (THOMAS et al., 2001).

Os hidrocarbonetos, são compostos químicos constituídos por átomos de carbono e hidrogênio em organizações variadas. Esses são formados em grandes profundidades, cerca de 150 quilômetros abaixo da terra e trazidos à superfície ao longo de milhares de anos através dos processos geológicos (PATNAIK, 1996). São divididos em 2 grupos como mostra a figura 1:

Figura 1 - Grupos de hidrocarbonetos



Fonte: Adaptado de SILVA, 2002.

O grupo dos Alifáticos tem como características cadeias cíclicas (fechadas) ou acíclicas (abertas), sem a presença de anéis de benzeno, com ligações simples, duplas ou triplas. Já os Aromáticos são caracterizados pela presença de dois ou mais anéis de benzeno (SILVA, 2002).

Segundo Sánches (1998), os HTP são tóxicos pois, afetam diretamente o sistema nervoso central e causam mutações celulares associadas ao câncer em homens e animais, afetando também os ecossistemas.

Por serem hidrofóbicos não se misturam com facilidade ao meio líquido ficando a sua maior parte retida no solo (BAPTISTA, 2007). A princípio as partículas retidas ficam depositadas como líquidos imiscíveis e essas, são caracterizadas como fonte continua de contaminação, pois, devido às ações biológicas, ao longo do tempo vão se disseminando passando pelos processos de transformação entre as fases líquidas e gasosas (MENEGETTI, 2007).

Os produtos identificados em maior proporção nos acidentes envolvendo postos de abastecimento, de acordo com as estatísticas da CETESB publicadas em 2006a foram gasolina com 71,1% dos casos e óleo diesel com 18,6%. Segundo o Boletim Gerencial da Superintendência de Abastecimento nº 47 de 2015 da ANP, foram comercializados no ano de 2014 cerca de 4.200.000m³ de gasolina e 4.700.000m³ de óleo diesel.

A gasolina e o óleo diesel, combustíveis tratados neste trabalho, são produtos derivados do petróleo, essenciais para as atividades diárias e industriais.

Em se tratando de contaminação por HTP provenientes de combustível, são destacados dois grupos:

- BTEX - formado por Hidrocarbonetos Mono Aromático
- HPA - formado por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

No fracionamento do Petróleo no momento da destilação entre 30° C e 215° C, obtêm - se a gasolina. Nas refinarias ocorrem ainda os processos de craqueamento e polimerização, para produção desse combustível responsável pelo abastecimento de toda a frota de automóveis pequenos como carros e motos (NEIVA, 1986).

A gasolina possui uma mistura de hidrocarbonetos compostos de 4 a 12 átomos de carbono, chamados Hidrocarbonetos Mono Aromáticos, dentre eles o mais importante em se tratando de contaminação por combustíveis o grupo BTEX, Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno que aparece nas proporções de 18 a 25% na gasolina (TIGUEROS, 2008). A tabela 4 mostra algumas particularidades do grupo BTEX:

Tabela 4 - Transformações sofridas pelos contaminantes.

Composto	Porcentagens dos contaminantes que sofrem transformações		
	Adsorção	Volatilização	Dissolução
Benzeno	3%	62%	35%
Etilbenzeno	21%	59%	20%
Tolueno	3%	77%	20%
Xilenos	15%	54%	31%

Fonte: TECNOHIDRO, 2001.

A respeito das consequências para a saúde humana esses hidrocarbonetos são considerados depressores do sistema nervoso central e podem levar a morte em casos de exposições agudas. O tolueno possui a maior capacidade de volatilização e, ao ser inalado de forma excessiva e por longo período de tempo, age causando distúrbios na fala, visão, audição e controle muscular. Já o benzeno, que possui maior capacidade de dissolução, age afetando a medula óssea, causando mutações genéticas geradoras de tumores e cânceres, especialmente leucemia aguda (TIGUEROS, 2008).

O grupo dos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, HPA, está presente no óleo diesel responsável atualmente pelo abastecimento de motores que trabalham a explosão como ônibus, navios, locomotivas, tratores e demais automóveis de grande porte. Esse óleo é obtido entre o ponto de ebulição de 180°C a 380°C do petróleo e possui as substâncias resultantes do próprio processo de refinaria do petróleo a saber querosene, gasóleos e nafta pesada (SANTOS, 2009).

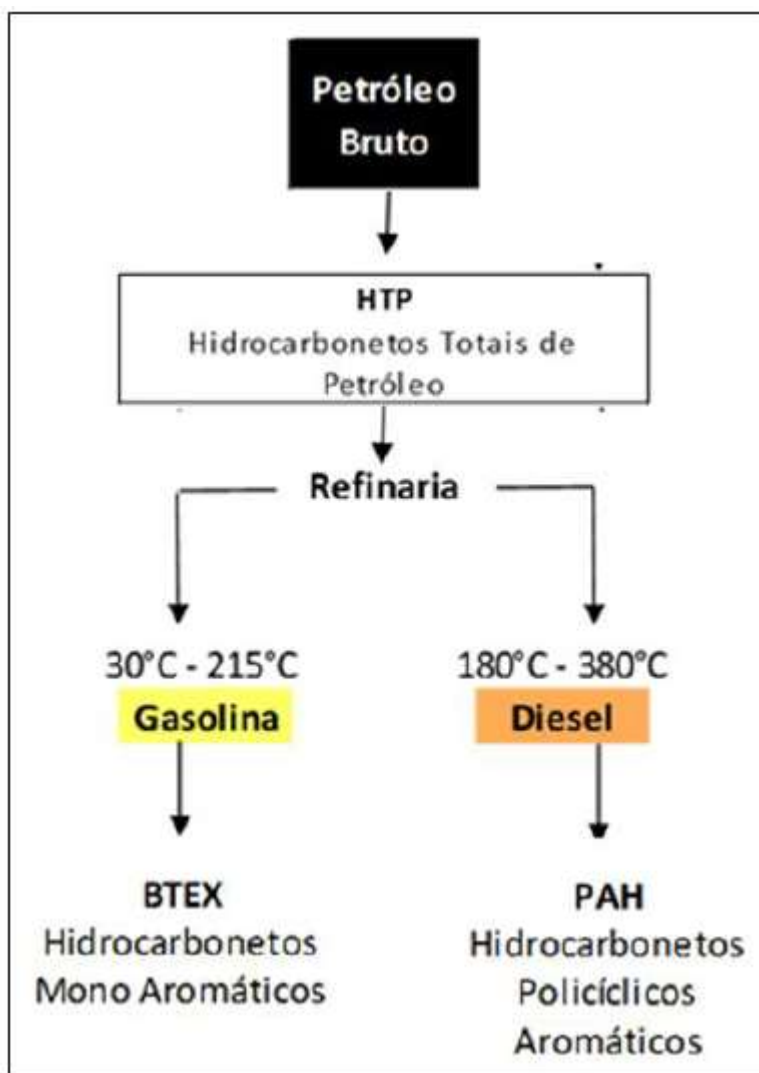
Diferentemente do grupo BTEX, os HPA são compostos de 12 a 20 átomos de carbono e atualmente, são reconhecidos mais de 100 HPA pela União Internacional de Química Pura e Aplicada, IUPAC, porém, devido à importância industrial e ambiental o grupo de HPA estudado é formado por 16 elementos prioritários ao todo: Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo (a) Antraceno, Criseno, Benzo (b) Fluoranteno, Benzo (k) Fluoranteno, Benzo (a) Pireno, Indeno (1, 2, 3) Pireno, Dibenzeno (a h) Antraceno e Benzo (g, h, i) Perileno (FOGAÇA, 2014).

Dentre as consequências da exposição desses componentes lipossolúveis ao homem tem-se o alto potencial carcinogênico de formação de tumores e alterações genética que, uma vez inalados,

ingeridos ou em contato com o homem adentram à membrana celular e acumulam-se no tecido adiposo (NETTO, 2000).

Neste trabalho avaliou-se a contaminação proveniente dos combustíveis compostos de BTEX e HPA, ambos obtidos no processo de refino do petróleo conforme a figura 2.

Figura 2 - Combustíveis provenientes do refino do petróleo



Comparando-se as características dos grupos BTEX e HPA na tabela 5, tem-se:

Tabela 5 - Comparação entre BTEX e HPA

CARACTERÍSTICA	BTEX	HPA
Combustível	Gasolina	Óleo diesel
Faixa destilação	Entre 30° C e 215° C	Entre 180°C e 380°C
Nº átomos de Carbono ¹	4 a 12	12 a 20
Densidade ²	Baixa	Alta
Potencial de Infiltração	Alto	Baixo
Mobilidade	Alta	Baixa
Volatilidade	Alta	Baixa
Riscos para a saúde	*Depressores do sistema nervoso central	*Potencial carcinogênico, de formação de tumores e alteração genética
	*Tolueno e Xileno: distúrbios da fala, visão, audição, músculos	
	*Benzeno: Leucemia Aguda	

Nota: ¹ Influência direta na Densidade. ² Influência direta no Potencial de Infiltração e Mobilidade.

O grupo dos BTEX difere dos HPA em relação ao tamanho das cadeias de carbono. Devido ao maior número de átomos de carbono existentes na estrutura dos HPA, esses são considerados mais densos, menos solúveis e menos móveis que os BTEX. Os HPA possuem ainda, maior capacidade de serem adsorvidos pelas partículas orgânicas do solo, o que os torna mais difícil de serem degradados em caso de contaminação em fase adsorvida do que os BTEX.

Em contrapartida possuindo, o grupo dos BTEX, um menor número de átomos de carbono, são considerados substâncias menos densas, portanto, com maior potencial de infiltração no meio subterrâneo. Esse fato aumenta a extensão da contaminação e diminui o tempo necessário para que o contaminante atinja o lençol freático. Outra importante característica do BTEX é a volatilidade (CORSEUIL, 1992).

Em relação a mobilidade e potencial de expansão os HPA causam efeitos menos agressivos do que o grupo dos BTEX, porém não menos perigosos.

Outra importante comparação trata-se da presença de substâncias tóxicas nos combustíveis gasolina e óleo diesel. A tabela 6 apresenta a proporção desses contaminantes em cada combustível.

Tabela 6 - Comparação quantitativa entre alguns compostos constituintes da gasolina e óleo diesel

Composto	Quantidade	Gasolina	Diesel
	Carbonos	(C5-C10) - % peso	(C10-C30) - % peso
ALCANOS			
n-Pentano	5	5,75-10,92	-
n-Octano	8	0,36-1,43	0,1
n-Dodecano	12	0,04-0,09	1,0-2,5
n-Heptadecano	17	0,31-1,96	1,4-2,9
n-Pentadecano	15	-	1,9-3,1
AROMÁTICOS			
Benzeno	6	0,12-3,50	0,003-0,10
Tolueno	7	2,73-21,80	0,007-0,70
Etilbenzeno	8	0,36-2,86	0,007-0,20
Xilenos (orto,meta e para)	8	3,22-8,31	0,037-1,109
POLIAROMÁTICOS			
Naftaleno	10	0,09-0,49	0,01-0,80
Benzo(a)pireno	20	0,19-2,8 mg/kg	0,000005-0,00084
Pireno	16	-	0,000018-0,015

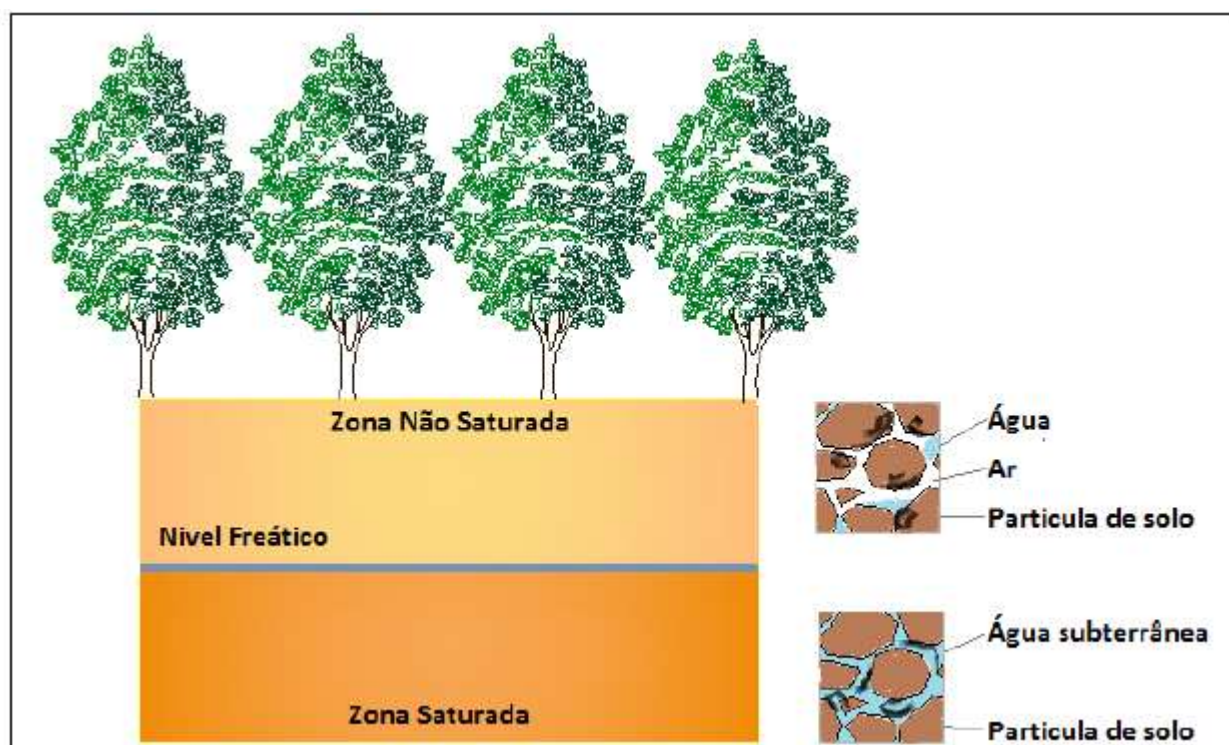
Fonte: Silva (2002)

Os compostos tóxicos comparados aparecem em menores proporções no óleo diesel, reforçando assim a ideia de que a gasolina possui maior potencial de contaminação em caso de vazamentos de mesmo porte.

4.3. DINÂMICA DOS CONTAMINANTES

Antes de se abordar o comportamento dos contaminantes, se faz necessário o entendimento das áreas em que o solo se divide. São duas essas áreas, divididas em zona não saturada e zona saturada como mostra a figura 3.

Figura 3 - Zona Saturada e Zona Não Saturada



A zona não saturada é a primeira camada onde as águas superficiais se infiltram preenchendo os vazios entre os poros que também são compostos de partículas de ar. Essa zona também é conhecida como zona de aeração ou vadosa. Pela gravidade, as águas superficiais continuam a se infiltrar até encontrar uma profundidade onde os poros estão completamente preenchidos (saturados) por água. A essa camada localizada abaixo da zona não saturada, dá-se o nome de zona saturada (BOSCARDIN et al., 2004).

A divisão entre essas duas zonas é chamada de nível freático. Abaixo desse nível são formados os reservatórios naturais de águas subterrâneas por infiltração, a uma baixíssima velocidade ao longo de vários dias, meses e anos.

A contaminação do meio subterrâneo acontece quando os contaminantes percorrem essas áreas comprometendo o solo e a água confinada. O estudo da dinâmica da contaminação no solo e na água permitiu a identificação dos sistemas de transportes dos contaminantes (SANTOS, 2009).

A solubilidade, massa específica, pressão de vapor e viscosidade dos combustíveis para abastecimento de automóveis, são características que influenciam diretamente a mobilidade e a expansão desses contaminantes tanto no solo como na água (FREIRE, 2011).

Os contaminantes provenientes de combustíveis são classificados devido à suas características como Fase Líquida Não Aquosa, NAPL, pois possuem propriedades físicas e químicas que os tornam imiscíveis em contato com a água (NEWELL et al., 1995).

Os NAPL's são classificados em 2 tipos de acordo com a densidade, Fase Líquida Não Aquosa Leve, LNAPL, que possui densidade menor do que a água; e Fase Líquida Não Aquosa Densa, DNAPL, que possui densidade maior do que a água, caso por exemplo dos hidrocarbonetos utilizados em atividade industriais.

A figura 4 mostra a relação dos NAPL's com a água.

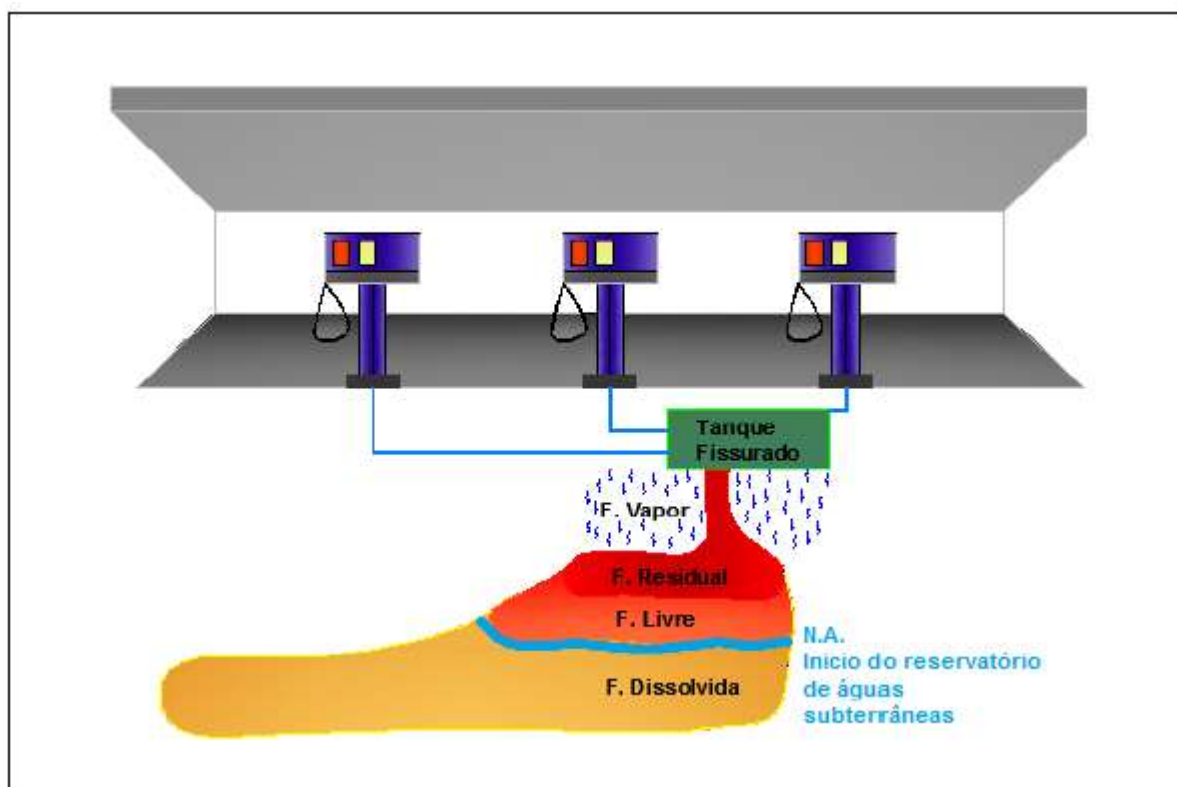
Figura 4 - Relação NAPL's com a água



Fonte: Hidroplan, 2016¹.

Os combustíveis gasolina e óleo diesel se enquadram na classe dos LNAPL e, no momento do derrame se infiltram com facilidade na zona não saturada, migrando pelo solo até a zona saturada à medida que passam por 4 fases características como mostra a figura 5 (FERREIRA, 2000).

Figura 5 - Transformação de fases dos LNAPL

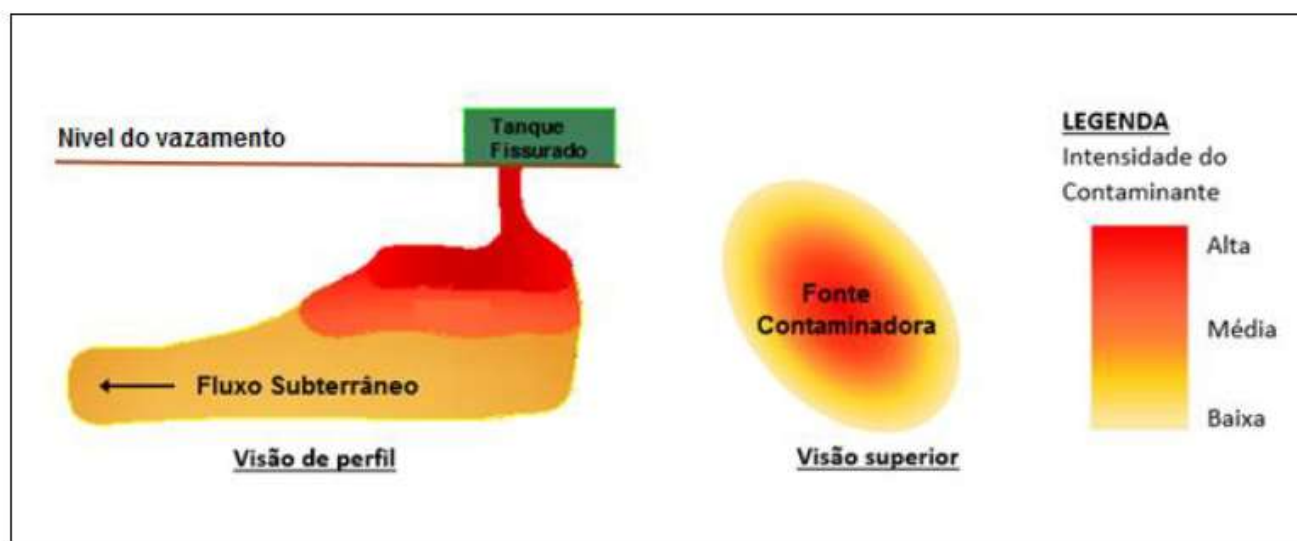


A primeira fase ocorre logo após a infiltração na primeira camada do solo, zona não saturada, através dos fenômenos de infiltração e capilaridade. O LNAPL penetra formando uma fina película que, a medida em que passa pelos poros, tem frações de suas partículas retidas, formando pequenos gânglios de contaminantes. Essa fase recebe o nome de fase residual ou adsorvida, e é localizada entre a superfície e o limite superior da fase livre. A importância dada a essa fase varia de acordo com porosidade do solo, concentração e viscosidade do contaminante, pois ao longo do tempo as partículas retidas nos poros vão se transformando nas demais fases, fazendo com que a contaminação seja constante. Logo abaixo da fase residual, tem-se a fase livre, formada pela parte líquida de LNAPL que não foi adsorvida pelos colóides do solo. A fase livre tem localização exata logo acima do nível da água subterrânea, porém não possui um limite bem definido e sim faixas de transição que variam de espessura e extensão de acordo com a viscosidade e solubilidade do contaminante infiltrado. A fase dissolvida é o LNAPL dissolvido na água subterrânea dando início a contaminação da água, variando a extensão do líquido dissolvido de acordo com a solubilidade do contaminante. Esses hidrocarbonetos podem ainda formar películas sobre a superfície do solo submerso e, apesar de estarem em concentrações menores, podem atingir áreas mais extensas. Por fim para os LNAPL em fase de vapor (fase gasosa dos contaminantes) a transformação ocorre de acordo com a volatilidade de cada

contaminante que é vaporizado e ocupa os espaços vazios entre os poros. Portanto, aparece em maiores proporções nas regiões vadasas do solo, podendo essa fase de vapor chegar até a superfície e ser inalada (MARIANO, 2006).

Durante todas essas fases toma forma a pluma de contaminação que segundo a CETESB (2004), é a delimitação da área que possui a presença de contaminante, tanto no solo como na água. A pluma também mostra a intensidade da concentração do contaminante, que é mais elevada quanto mais próxima a fonte e mais ao centro da pluma como mostra a figura 6. O deslocamento também pode ser observado de acordo com a perda de intensidade.

Figura 6 - Deslocamento e intensidade da pluma de contaminação



Vários fatores são responsáveis pela formação da pluma. A respeito dos contaminantes as características levadas em consideração são a densidade, solubilidade, concentração no meio e a relação do contaminante com as partículas orgânicas do solo, responsáveis pela biodegradação. Segundo Santos (2009), os elementos menos solúveis se movimentam sobre o nível freático, devido ao fato de possuírem uma menor densidade.

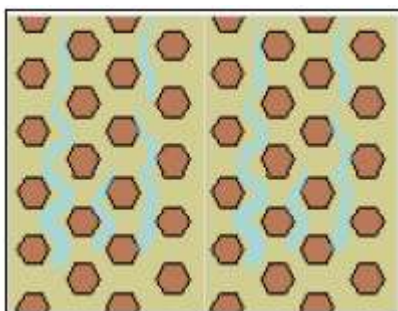
Características do ambiente também são levadas em consideração como o volume das precipitações, a quanto tempo o contaminante está em contato com o meio subterrâneo e a presença de microrganismos decompositores.

Sobre as características do solo a principal é a granulometria que está diretamente relacionada a sua permeabilidade. A disseminação do contaminante está diretamente ligada a capacidade permeável do solo, pois, quanto maior for essa, maior será a facilidade de penetração do contaminante (NRC, 2003).

Os processos de formação de uma pluma de contaminação podem ser classificados em Processos Físicos, referentes ao transporte dos contaminantes; e Processos Químicos e Biológicos referentes a transformação desses compostos. Dentre os Processos Físicos, no momento do derrame do combustível, tem-se:

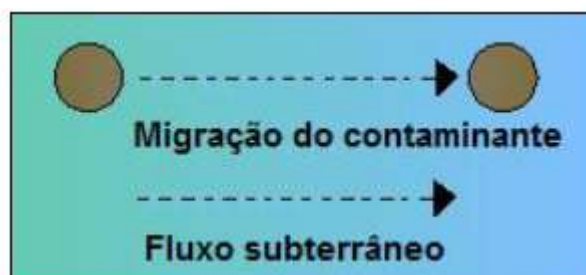
- **Infiltração:** quando o LNAPL vazado na superfície ou no meio subterrâneo penetra o solo verticalmente passando pelos poros, como mostra a figura 7.

Figura 7 - Processo de Infiltração



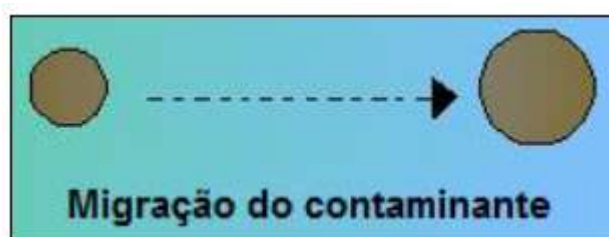
- **Advecção:** trata-se do processo de maior eficiência de transporte do LNAPL pois, ocorre através do próprio fluxo e velocidade da água subterrânea, como mostra a figura 8 (SANTOS, 2009).

Figura 8 - Processo de Advecção



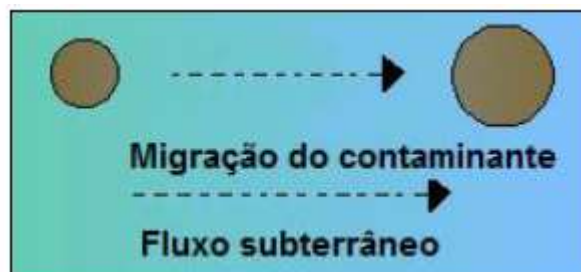
- **Difusão:** quando o LNAPL migra da área de maior concentração para a de menor concentração, independentemente de a água estar em repouso ou movimento, como mostra a figura 9 (SANTOS, 2009).

Figura 9 - Processo de Difusão



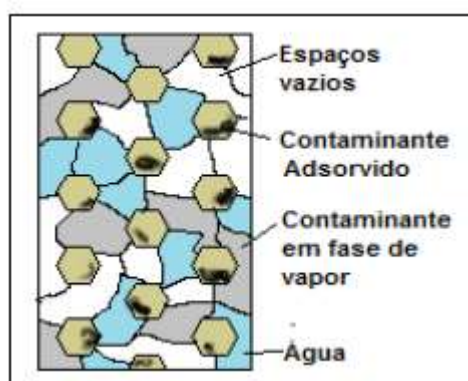
- **Dispersão:** quando o LNAPL se movimenta junto ao fluxo da água subterrânea e, além disso, migra da área de maior concentração para a de menor concentração, como mostra a figura 10 (SANTOS, 2009).

Figura 10 - Processo de Dispersão



- **Volatilização:** quando o LNAPL passa do estado líquido para o gasoso, produzindo vapores que preenchem os espaços vazios entre os poros, como mostra a figura 11 (FREIRE, 2011).

Figura 11 - Processo de Volatilização

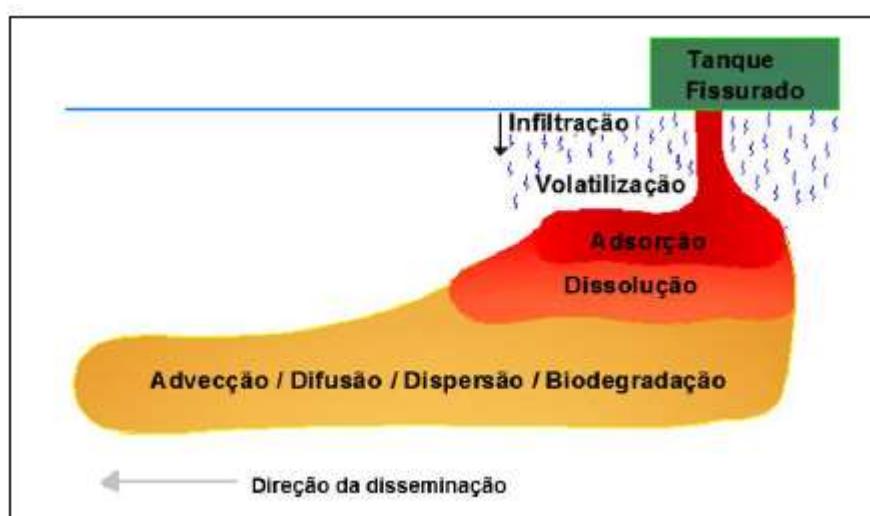


Já os Processos Químicos e Biológicos agem no sentido de alterar a concentração dos contaminantes através da relação entre o contaminante e as partículas do solo. Dentre os mais importantes tem-se:

- **Adsorção:** fenômeno que acontece na fase residual, quando frações do LNAPL aderem às partículas de solo devido à atração da natureza química das partículas com o contaminante (SANTOS, 2009).
- **Biodegradação:** quando o LNAPL interage com os microrganismos presentes no solo, que através do metabolismo, decompõem ao longo do tempo o contaminante (SANTOS, 2009).

Tanto os Processos Físicos, como os Químicos e Biológicos podem ocorrer simultaneamente conforme a figura 12.

Figura 12 - Processos Físicos, Químicos e Biológicos



4.4. PROCEDIMENTOS DE IDENTIFICAÇÃO DE UMA ÁREA CONTAMINADA

A classificação das áreas no Estado de São Paulo é feita de acordo com o Manual de Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas, da CETESB de 2007 que, as divide em:

- Área Potencialmente Contaminada (AP);
- Área Suspeita de Contaminação (AS) e;
- Área Contaminada (AC).

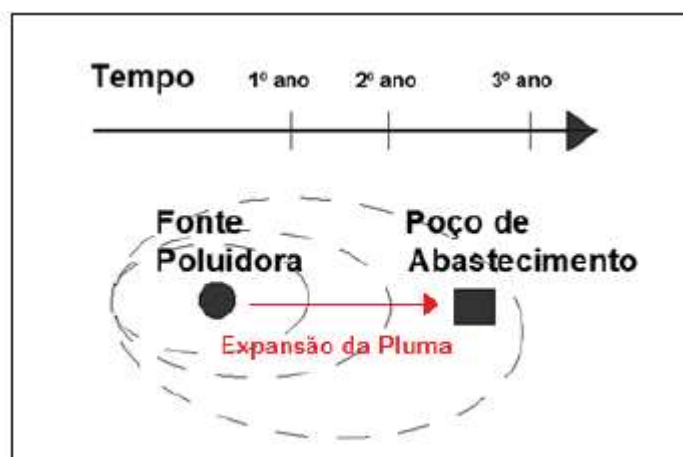
A Área Potencialmente Contaminada (AP), é aquela onde são desenvolvidas atividades com potencial contaminante e de risco ao meio ambiente. Os postos de abastecimento de combustíveis são hoje classificados, conforme lei já citada, como estabelecimentos que exercem essas atividades de alto risco ambiental.

A Área Suspeita de Contaminação (AS), é aquela que demonstra pequenos sinais de contaminação, por exemplo, percepção de perda constante ou de cheiro excessivo de combustíveis, perda da vegetação natural e corrosões.

Já a Área Contaminada (AC), é aquela onde a contaminação foi comprovada e ainda está acontecendo de modo a apresentar riscos à saúde e bem-estar da população, fauna e flora e comprometer a qualidade do solo e das águas. Nessa área os contaminantes podem estar localizados logo abaixo das instalações de alvenaria e pátios; nos casos de aterros, nos materiais que o compõem ou; no solo nas zonas saturada e não saturada. Segundo Sanchez (1998), essa área ainda pode ser classificada como Área Degradada pois, a degradação implica alterações negativas nas propriedades físicas e químicas do solo.

O grande risco das áreas contaminadas está como mostra a figura 13, no contato do homem com o contaminante. No caso de um vazamento de combustível contínuo, o contaminante se dissemina tomando a forma de pluma de contaminação até que medidas de contenção e remediação sejam tomadas. Porém, em muitos casos, antes que a contaminação seja percebida e a remediação seja executada, o homem entra em contato com o contaminante através de poços para abastecimento de água, plantações e inalação do vapor.

Figura 13 - Evolução da pluma de contaminação no tempo



De acordo com Santos (2009), a detalhada e extensa avaliação da contaminação, o estudo da dinâmica e a análise das concentrações dos contaminantes são fatores que podem dificultar uma proteção eficiente.

Segundo a CETESB 1999b, o Processo de Identificação de Áreas Contaminadas é composto por duas grandes etapas. A primeira diz respeito a um conjunto de processos visando a identificação e classificação das áreas e a segunda visando a remediação.

No processo de identificação, a princípio tem-se a definição das regiões de interesse que, segundo a CETESB 1999b são aquelas onde há manipulação de substâncias cujos componentes químicos possam causar danos à saúde e ao meio ambiente.

Após essa definição são levantadas informações em busca de Áreas Potencialmente Contaminadas através da Avaliação Preliminar. No ato dessa avaliação devem ser executadas as atividades de coleta de dados existentes, busca do histórico das atividades exercidas no estabelecimento, estudos sobre o meio físico e reconhecimento da área.

Uma vez que as informações obtidas forneçam evidências de possível contaminação essa área é então classificada como AS.

A etapa seguinte consiste na Investigação Confirmatória, que tem por objetivo confirmar a presença ou a ausência de contaminantes. Essa confirmação é feita por métodos diretos de análise de amostras. Confirmada a presença de contaminantes acima dos Valores de Intervenção estabelecidos pela CETESB, a área é finalmente classificada como AC.

A fase de remediação é iniciada com a Investigação Detalhada que, diferentemente da Investigação Confirmatória, tem como objetivo: quantificar e delimitar a contaminação; obter informações a respeito dos componentes contaminantes e suas concentrações; e detalhes sobre a fonte contaminadora, a fim de que o processo de remediação seja planejado de modo eficaz.

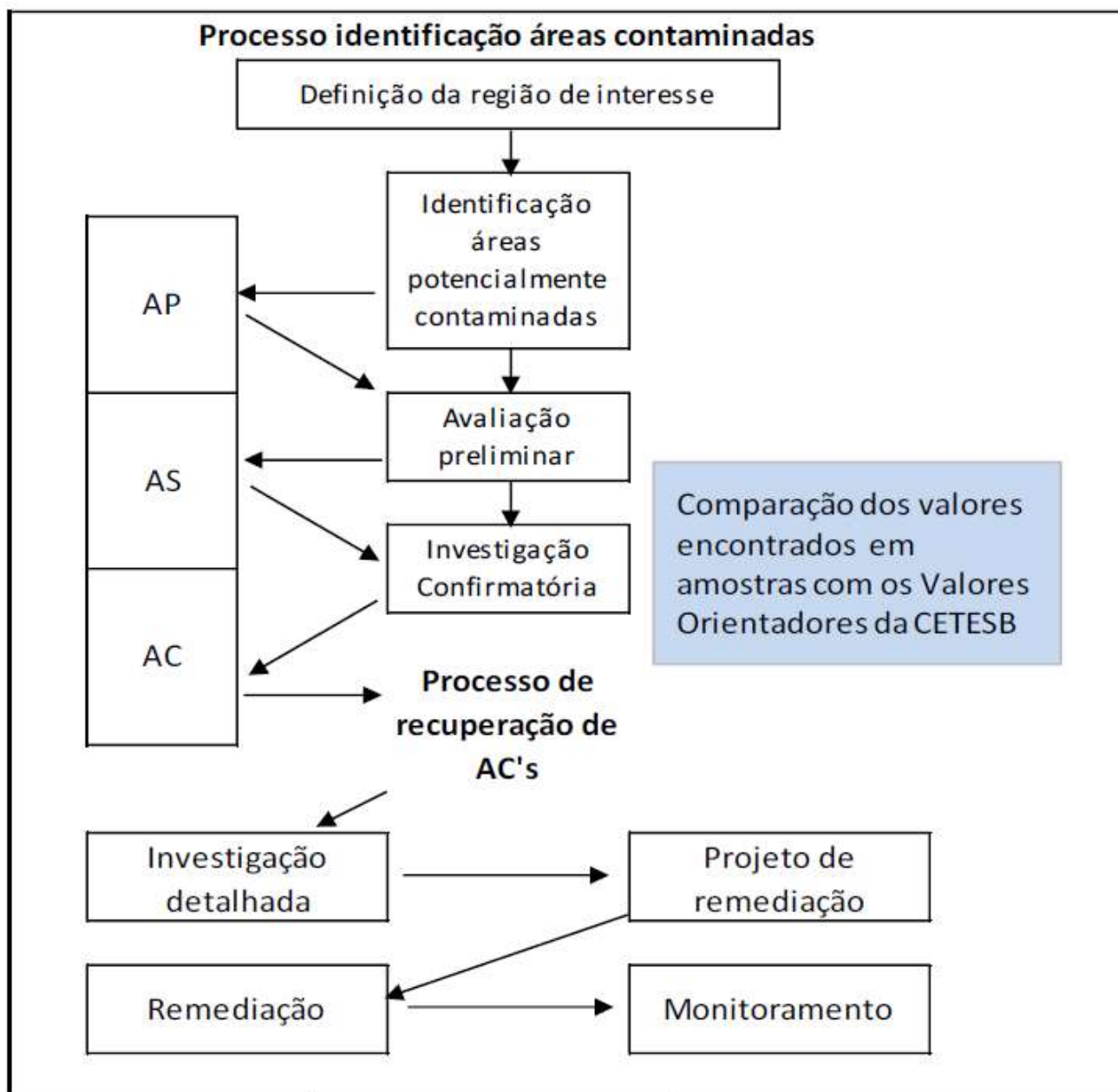
O Projeto de Remediação deve ter base técnica consistente de modo a não prejudicar ainda mais o ambiente onde será instalado. Técnicas de remediação podem ser associadas visando não só o fim da contaminação, mas em um menor período de tempo e a um baixo custo. Depois de definidas as técnicas a serem usadas e os possíveis impactos, a proposta é enviada ao órgão de controle ambiental para a aprovação.

Após aprovado, são instalados os poços de monitoramento e a estação de tratamento. A remediação deve ser feita por profissionais devidamente qualificados com registro de Classe e recolhimento da Anotação de Responsabilidade Técnica, ART, seguir cronograma específico e ter constante monitoramento da eficiência do sistema em andamento.

Por fim após atingir a descontaminação pretendida a área pode ser reclassificada como Área Recuperada (AR).

A figura 14 ilustra o processo de identificação das áreas contaminadas.

Figura 14 - Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas



Fonte: CETESB, 1999^b. Etapas de Gerencimaneto.²

Segundo o Levantamento de Áreas Contaminadas Anual, realizado pela CETESB, em 2013 a situação das áreas contaminadas encontra-se dividida, conforme a figura 15, em:

Figura 15 - Distribuição das áreas contaminadas



Fonte: CETESB, 2013. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas.³

4.5. VALORES ORIENTADORES

Os valores das concentrações de contaminantes encontrados nas análises das amostras, em ambas as investigações detalhada e confirmatória, são comparados com os chamados Valores Orientadores, VO, da CETESB. Segundo a primeira lista de valores orientadores para Solos e Águas Subterrâneas para o Estado de São Paulo da CETESB de 2001, Valores Orientadores são:

“Concentrações de substâncias químicas derivadas por meio de critérios numéricos e dados existentes na literatura científica internacional, para subsidiar ações de prevenção e controle da poluição, visando à proteção da qualidade dos solos e das águas subterrâneas e o gerenciamento de áreas contaminadas.”

Em relação ao solo, esses valores foram derivados do risco do contato do homem com o contaminante por diversas vias. Foram considerados a intensidade de exposição por meio de contato direto, ou indireto como a ingestão de alimentos plantados em solos contaminados, e a constatação de alterações significativas na saúde do homem. Já em relação aos valores para a água subterrânea, sendo essa fonte de abastecimento, foram observadas a intensidade do contato direto, como a ingestão, que causaram alterações (CETESB, 2001).

Em 2001 o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo foi publicado, contendo valores orientadores para 37 substâncias. Em 2005, esse relatório foi atualizado contemplando ao todo 84 substâncias e, definindo três classes de valores a saber, o Valor de Referência de Qualidade, VRQ; o Valor de Prevenção, VP; e o Valor de Intervenção, VI (CETESB, 2005).

Segundo a Lei Estadual 13.577, de 08 de julho de 2009 e o Decreto nº 59.263, de 05 de junho de 2013, os valores orientadores são instrumentos de proteção e gerenciamento da qualidade dos solos e das águas. As análises de amostras de solo e água subterrânea devem ter sua composição comparada com o estabelecido nesse relatório para identificar concentrações excessivas de contaminantes e classificar áreas.

O Valor de Referência de Qualidade é a concentração máxima de uma substância para que a água e o solo sejam considerados de qualidade. Para os solos esses valores são obtidos a partir da observação de áreas agrícolas e pequenas áreas florestais da região metropolitana do Estado de São Paulo. Para as águas esses valores são determinados a partir do sistema de monitoramento iniciado em 1990 composto de cerca de 180 poços instalados em reservatórios de águas subterrâneas estratégicos do estado, os quais são analisados a cada 180 dias pela CETESB (CETESB, 2001).

O Valor de Prevenção é um valor de função preventiva ambiental. É o limite acima do qual podem ocorrer alterações significativas na qualidade dos solos e das águas. Indica até qual intensidade de contaminante um solo pode estar exposto sem que aja prejuízo de suas funções primárias e da reserva de água subterrânea. Dos três valores orientadores, esse é o mais restritivo, pois é considerado como sendo um curto aumento do Valor de Referência de Qualidade (CETESB, 2001).

O Valor de Intervenção é o valor máximo acima do qual já não há mais possibilidade de uso tanto do solo como da água subterrânea, existindo risco potencial no contato direto ou indireto para a saúde humana. É o valor orientador mais alto entre os 3 existentes e, uma vez ultrapassado necessita imediata intervenção, sendo a área analisada classificada como AC (CETESB, 2001).

4.6. ANÁLISE DE RISCO

Segundo Moraes et al. (2014), metodologias que levam em consideração o tipo de contaminação e os impactos ambientais, vêm sendo desenvolvidas a fim de quantificar o risco à saúde humana em áreas contaminadas. A partir da quantificação do risco, medidas de gerenciamento adequadas promovem a manutenção do risco em níveis aceitáveis, o impedimento ou eliminação da exposição humana.

De acordo com o Sistema de Licenciamento de Postos de Abastecimento de Combustíveis da CETESB de 2006b, a Análise de Risco é uma ferramenta que visa esclarecer a real consequência e abrangência da contaminação e facilita a escolha dos procedimentos de remediação. Trata-se de uma análise qualitativa e/ou quantitativa que busca possíveis impactos negativos na saúde do homem e do meio ambiente expostos à contaminação.

A Análise de Risco é dividida em 3 níveis de impacto:

- Nível 1 - Resposta a vazamentos operacionais, restritos, de pequenos volumes, com capacidade local de resposta. A companhia ou instituição responsável deve ter condições de atender individualmente;
- Nível 2 - Vazamento de proporção intermediária, de abrangência regional, que requer o apoio de diferentes empresas e instituições, e agências governamentais;
- Nível 3 - Vazamento de grandes proporções, de abrangência nacional ou internacional. São esperadas grandes demandas de recursos humanos e materiais. Operações de resposta são geralmente coordenadas pelo Governo Federal.

Para execução da Avaliação de Risco a princípio tem-se o processo de Coleta, Avaliação e Validação dos dados. Essa etapa envolve o levantamento de dados locais e históricos, sua interpretação e aprovação, utilizando os dados gerados pela Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Detalhada.

Segundo a CETESB (2007), é fundamental que o levantamento leve em consideração o mapeamento dos pontos contaminados a fim de proporcionar a delimitação da contaminação.

A segunda etapa trata-se da Avaliação da Exposição que segundo Moraes et al. (2014), objetiva a estimativa do tipo e frequência da exposição do homem às Substâncias Químicas de Interesse (SQI). A primeira parte dessa avaliação é composta pela caracterização dos cenários de exposição que relaciona os itens:

- Fonte de contaminação;
- Substâncias Químicas de Interesse
- Receptores potenciais;
- Caminhos de exposição;
- Ponto de Exposição;
- Via de ingresso.

Como fonte de contaminação são considerados os pontos de possíveis vazamentos de SQI para o meio ambiente. Como SQI tem-se as substâncias produzidas ou comercializadas na área em análise. Como receptores potenciais são considerados os indivíduos residentes no local da AC, residentes próximos

à AC e, possíveis residentes futuros. Como caminhos de exposição segundo a ATSDR (2005), são considerados os descritos na tabela 7.

Tabela 7 - Relação meio x caminho de exposição

Meio	Caminhos de Exposição
Água	Ingestão direta
	Contato e reações dérmicas
	Contato e reações oculares
	Inalação
Solo	Ingestão direta (principalmente entre crianças até 5 anos)
	Contato e reações dérmicas
	Contato e reações oculares
	Inalação
Ar	Contato e reações dérmicas
	Contato e reações oculares
	Inalação
Biota/Cadeia alimentar	Consumo de plantas animais ou produtos contaminados, secundário ao consumo de água contaminada
	Consumo de plantas animais ou produtos contaminados, secundário ao consumo ou contato com o solo, pó ou ar
	Consumo de plantas animais ou produtos contaminados, secundário à inalação ou à evapotranspiração de ar contaminado
	Contato dérmico ou reação a plantas, animais ou produtos contaminados

Fonte: Adaptado de ATSDR, 2005.

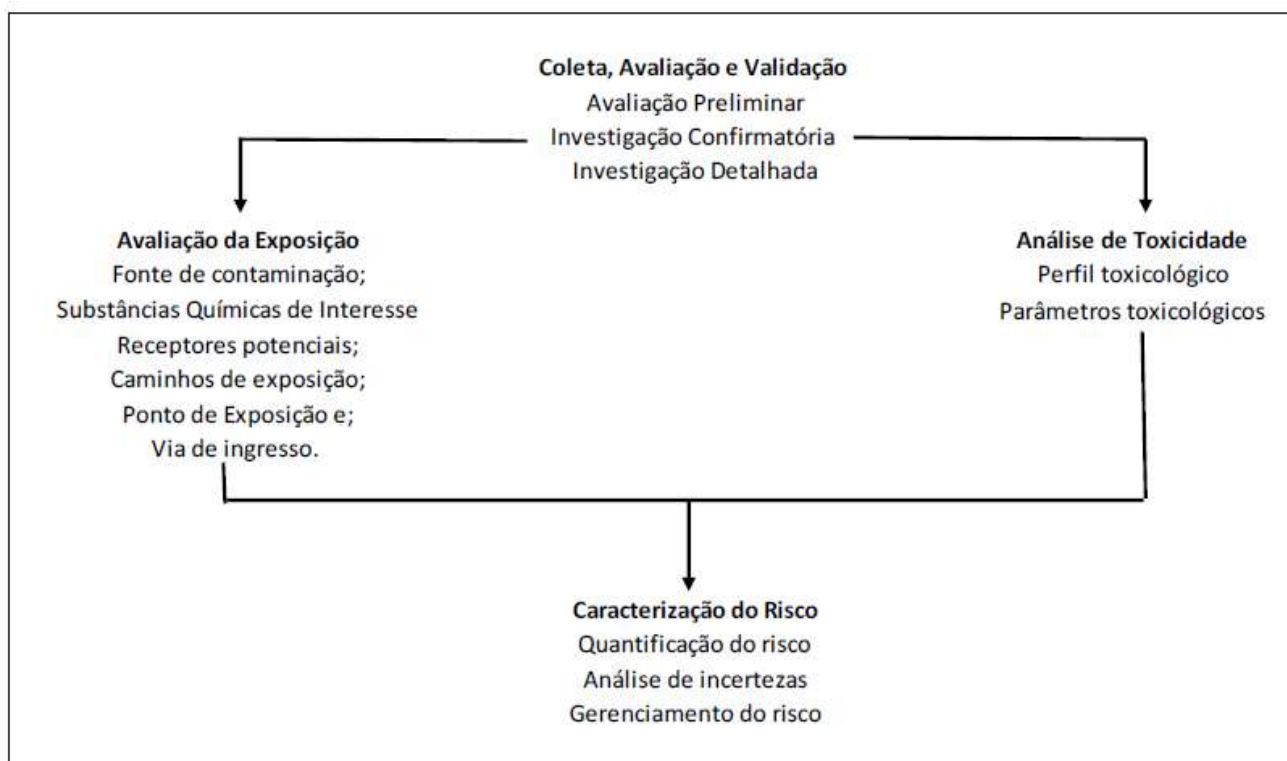
Quanto aos pontos de exposição são identificados os locais de possível contato do homem com as SQI, podendo ser considerado nesse caso o próprio local da fonte de contaminação além dos pontos abrangidos pelos caminhos de exposição. Por fim, as vias de ingresso do contaminante aos receptores que são a ingestão, contato dérmico e inalação. Simultaneamente a etapa da Avaliação de Exposição ocorre a Análise de Toxicidade. Essa análise leva em consideração o perfil toxicológico das SQI, utilizando estudos de toxicidade em animais de experimentação e em humanos contaminados (MORAES et al., 2014).

Por fim a etapa da Caracterização do Risco quantifica a probabilidade da ocorrência de formação de tumores nos receptores expostos ou possivelmente expostos as SQI. Nessa etapa são levados em consideração ainda as possíveis incertezas associadas à coleta de dados a fim de estabelecer os limites de variação dos resultados. Como último item dessa etapa tem-se o Gerenciamento e Comunicação

do Risco que, segundo ATSDR (2005), defini o modo como será exposto o nível de risco e as ações de recuperação.

A figura 16 apresenta o fluxograma das etapas da Análise de Risco.

Figura 16 - Etapas análise de risco



Fonte: Adaptado de USEPA, 1989.

4.7. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

As áreas contaminadas possuem sempre uma fonte primária e, no caso da contaminação por vazamento de combustíveis em postos de abastecimento, possuem também uma fonte secundária. Como fonte primária tem-se as atividades responsáveis pelo derrame dos contaminantes no solo como as falhas humanas operacionais e os aspectos construtivos. Já a fonte secundária diz respeito a parcela do contaminante adsorvida pelo solo que, devido à processos naturais de biodegração sofre disseminação pelo solo e água ao longo do tempo agindo como uma fonte de contaminação contínua.

Segundo a ABNT NBR 15515-1 de 2008, o processo de remediação pode ser definido como:

“Aplicação de técnica ou conjunto de técnicas em uma área comprovadamente contaminada visando a remoção, contenção ou redução das concentrações dos contaminantes presentes, de modo a assegurar a reabilitação da área com limites aceitáveis de risco à saúde humana e ao meio ambiente para o uso declarado.”

Por se tratarem de falhas construtivas ou operacionais, as fontes primárias costumam possuir simples remediação. Informações como estado de conservação dos tanques de armazenamento, das bombas de abastecimento, do piso, da caixa separadora de água e óleo e da regularidade dos demais serviços dos postos inclusive do treinamento dos funcionários são suficientes para a localização da fonte primária.

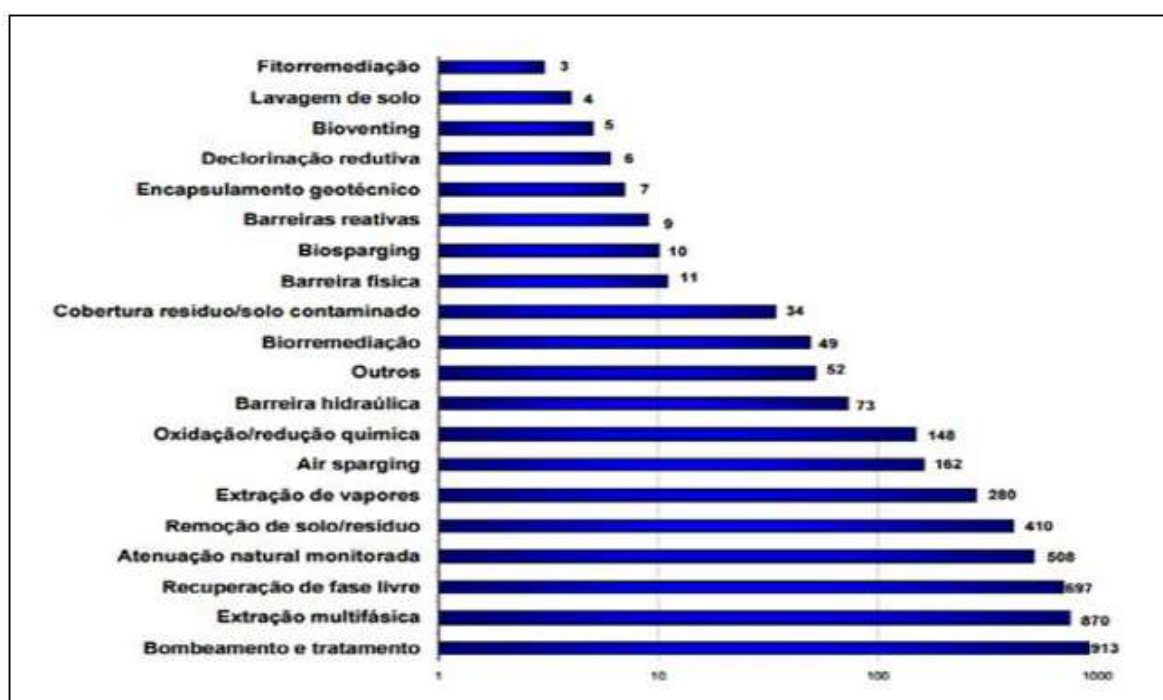
O desafio consiste na remediação da fonte secundária que, como dito anteriormente, é a parcela de contaminante distribuído no solo e na água que continua a se expandir. Para que um eficiente método de remediação seja proposto, não basta apenas a localização da pluma, mas, também, uma busca por histórico de contaminações; perfil geológico, análise da permeabilidade, nível da água e fluxo do contaminante no solo.

Segundo Meneghetti (2007), vários processos físico-químicos têm sido executados como processos remediatórios de áreas contaminadas por hidrocarbonetos, porém, a maioria desses processos exige longos períodos de tempo, em alguns casos, sendo até mesmo necessária a paralisação das atividades dos postos, envolvendo altos investimentos.

Os processos dividem-se em dois grupos *ex situ* que, envolve a escavação de todo o solo contaminado e bombeamento da água, para outro local de tratamento e *in situ* onde o solo e a água contaminados são tratados no local onde estão. Os processos *in situ* são mais viáveis uma vez que não envolvem custos de escavações, transportes e disposição final do material tratado (MENEGHETTI, 2007).

Alguns métodos de remediação têm demonstrado maior eficácia conforme indica o texto explicativo sobre relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo de 2013 (figura 17).

Figura 17 - Técnicas de remediação implantadas até dezembro de 2013



Fonte: CETESB, 2013.

Essas técnicas podem ser associadas de modo a atingir o objetivo de recuperação da área em um menor espaço de tempo a um menor custo. Então baseados nas estatísticas, considerando as características da área e atuação dos postos analisados neste trabalho e com o resultado desejado, foram utilizadas técnicas de Bombeamento e Tratamento, através de Biorremediação, e Extração de Vapores do Solo (SVE) associadas.

Segundo Freire (2011), o processo de bombeamento e tratamento é um dos mais utilizados mundialmente devido à sua eficácia, facilidade de implantação e operação.

O processo consiste na instalação de poços de maneira estratégica de forma que a água seja bombeada dos poços de monitoramento para um sistema de tratamento. Normalmente reatores anaeróbios são usados a fim de atingir o nível de descontaminação necessário. No momento da reinjeção da água tratada é necessário que o bombeamento seja feito de modo gradual para que não haja alteração no gradiente hidráulico, o que deslocaria a pluma de contaminação (EPA, 1994).

De acordo com Oliveira (1992), os objetivos do bombeamento dos poços para a manipulação da pluma são:

- Conter a pluma de contaminação;
- Remover a pluma, após detida a fonte de contaminação primária;

- Desviar a água subterrânea ainda não atingida pelo contaminante e;
- Evitar que a água contaminada atinja uma área de água potável.

Nos postos analisados neste trabalho, o tratamento utilizado em conjunto com o bombeamento foi a biorremediação.

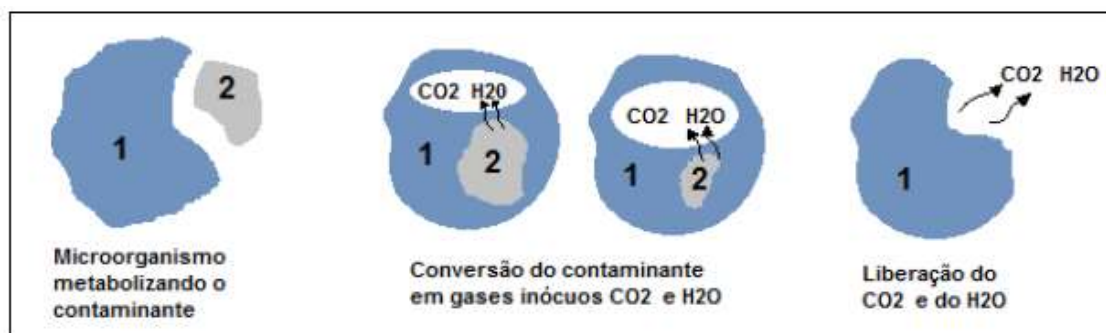
A biorremediação é um processo biológico que vem sendo usado com sucesso no tratamento de áreas contaminadas por efluentes industriais, esgotos domésticos, aterros de resíduos perigosos e aterros de resíduos urbanos que, possuem compostos orgânicos tóxicos que dificultam seu descarte (DIAS, 2000).

O primeiro relato a respeito da degradação de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo por microrganismos ocorreu em 1908 quando Stormer isolando a bactéria *Bacillus Hexabovorum* e inserindo-a em solo contaminado com os contaminantes tolueno e xileno, observou o crescimento da mesma, desde que mantida sua condição aeróbia. Cerca de 20 anos após essa descoberta Gray e Thornton identificaram em amostras de solo coletadas em áreas não contaminadas, cerca de 146 espécies de bactérias amplamente distribuídas no solo, capazes de degradar hidrocarbonetos naturalmente, isto é sem indutores. Dentre as espécies de bactérias com essa capacidade estão *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Bacterium*, *Bacillus* e *Spirillum*. (CORSEUIL e ALVAREZ, 1996).

Segundo Mariano et al. (2007), a biorremediação age de forma a decompor poluentes específicos através de agentes biológicos.

O processo consiste na degradação de contaminantes através da atividade metabólica dos microrganismos presentes na matéria orgânica do solo. Os microrganismos degradam moléculas de contaminantes que necessitam para suas atividades metabólicas, reduzindo-as a partículas menores, e gerando CO₂ e H₂O que são liberados para o meio, conforme ilustra a figura 18. É um processo de atenuação que pode ocorrer naturalmente e ser acelerado com a inserção de nutrientes como nitrogênio, fósforo e oxigênio que aumentam a reprodução e aceleram as atividades metabólicas dos microrganismos (MARTINS et al., 2003).

Figura 18 - Processo biológico da quebra de contaminantes



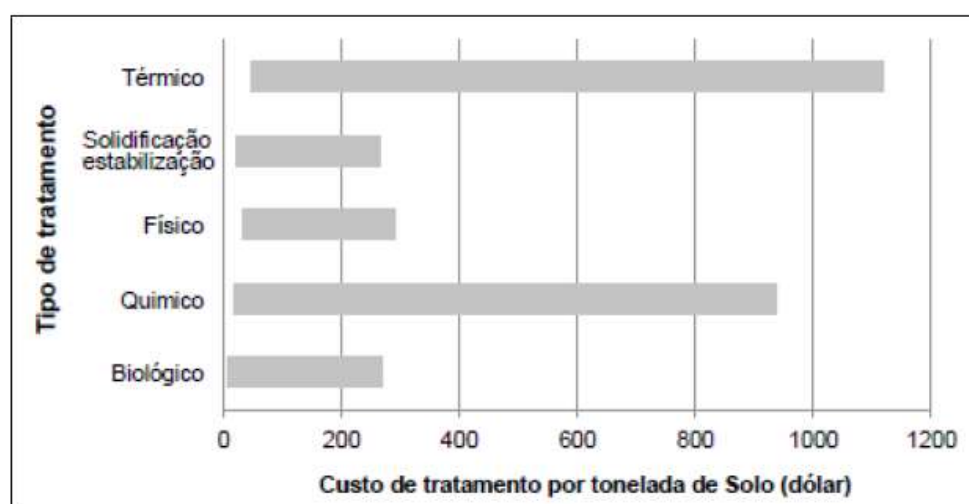
Fonte: DIAS, 2000. Adaptado.

No caso dos hidrocarbonetos, as parcelas de carbono fornecem energia para as funções vitais dos microrganismos, sendo esse fato, o responsável por classificá-los como biorremediáveis. (OLIVEIRA, 1992).

Segundo Santos et al. (2007), por ser um processo biológico é considerado mais seguro quando comparado a processos físico-químicos. Não se faz necessária a adição de substâncias solventes, o que torna o processo menos agressivo, sem consequências ao meio ambiente. Segundo Mariano et al. (2007), dentre as vantagens da técnica da biorremediação está o processo da mineralização do contaminante que gera elementos absorvidos naturalmente pelo meio ambiente.

Outra vantagem relacionada a biorremediação trata-se do baixo custo dos tratamentos biológicos em comparação aos demais tratamentos apresentados na figura 19.

Figura 19 - Comparação entre os custos do tratamento de solos empregando diferentes técnicas de tratamento



Fonte: Adaptado de JUWARKAR et al., 2010.

Como fatores limitantes da biorremediação tem-se as condições do solo, a intensidade e o tipo de microrganismos decompositores que, no caso dos decompositores de hidrocarbonetos não estão presentes em grandes quantidades no solo. A falta de nutrientes, responsável pela queda das atividades metabólicas, também é uma condição tendo em vista que essa encontra-se diretamente ligada ao aumento da biodisponibilidade dos hidrocarbonetos (MORAES et al., 2014).

O sistema de extração de vapores do solo foi desenvolvido na década de 70 com o intuito de impedir que contaminantes em fase gasosa adentrassem as residências e estabelecimentos causando intoxicações e explosões. Depois de alguns anos essa técnica começou a ser utilizada para tratamento de solos contaminados com contaminantes voláteis e consistia na colocação de tubos e bombas a vácuo que coletavam os vapores das zonas não saturadas. Percebeu-se uma significativa diminuição na quantidade de contaminantes e então em 1995 a técnica de extração de vapores do solo já era responsável por 20% dos métodos de remediação (NRC, 1997).

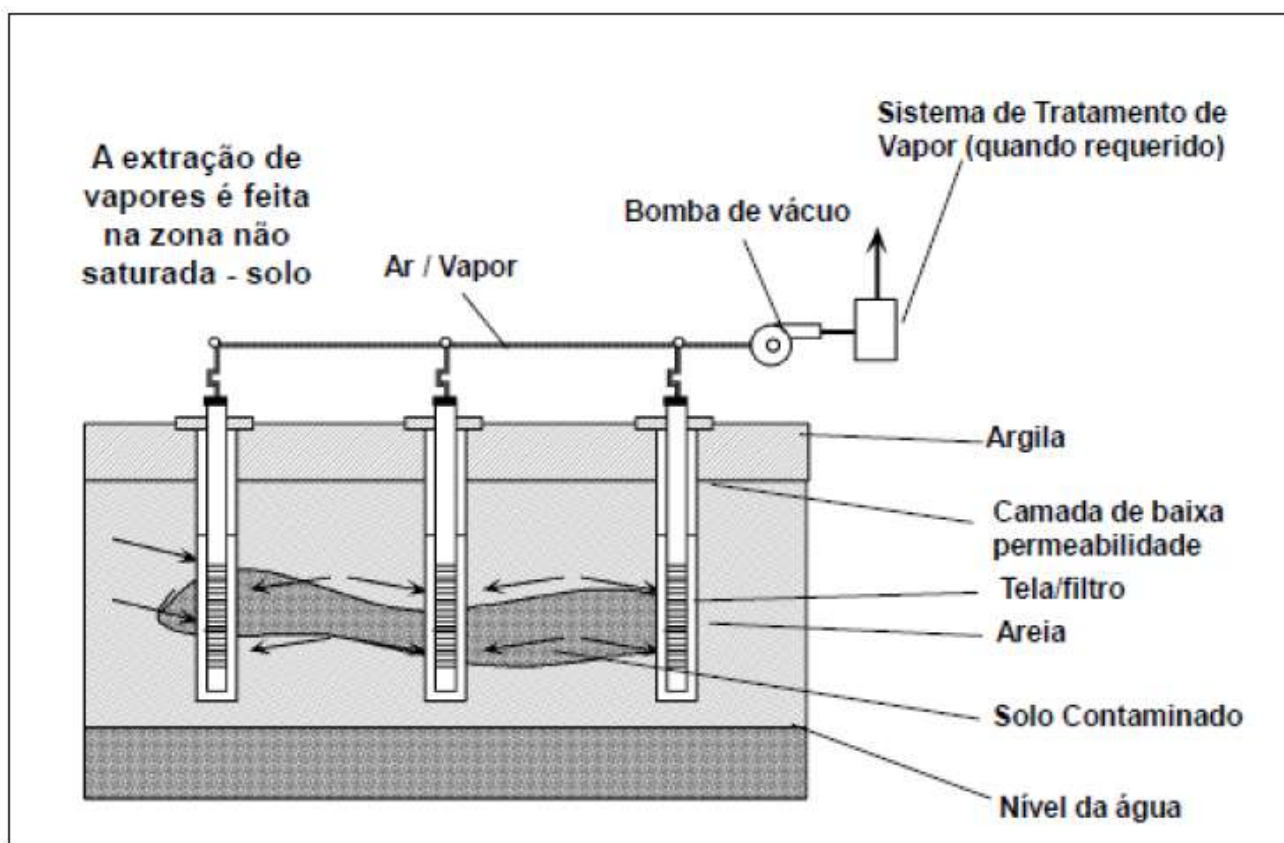
Segundo Nobre et al. (1998), o sistema SVE é composto de: poços perfurados na zona contaminada, com filtros que facilitam a saída dos compostos voláteis, VOC's; poços de injeção de ar; bombas de vácuo; compressores de ar e separadores de água/ar. O SVE remove os VOC's situados na zona não saturada do solo eliminando assim uma fonte de contaminação, pois, esses vapores podem movimentar-se e tornarem-se líquidos novamente contaminando novas áreas.

Alguns importantes fatores a serem analisados para o sucesso do processo de SVE são a umidade do solo pois, a água ocupa os poros vazios dificultando a passagem do ar, a permeabilidade e a capacidade volátil dos contaminantes (NRC, 1997).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, EPA, de 1994, dentre as vantagens do sistema SVE estão a eficácia, fácil instalação e manutenção, baixa perturbação no local de instalação e a possibilidade de associação com demais técnicas. Entre as desvantagens estão a baixa eficiência para solos pouco permeáveis e os 10% finais de VOC's disponíveis na zona não saturada dificilmente extraídos através de sistemas convencionais.

A figura 20 apresenta o esquema de montagem e funcionamento do sistema SVE.

Figura 20 - Esquema de sistema SVE



Fonte: TRANNIN, 2014.

4.8. REVISÃO DE ARTIGOS

Esta parte da Revisão Bibliográfica dedica-se a revisão dos artigos pertinentes produzidos a fim de prover embasamento e traçar um breve panorama do material que tem sido produzido a respeito da contaminação por hidrocarbonetos no solo e na água subterrânea.

Estendendo-se o problema de contaminação por HTP ao redor do mundo, Ayininuola et al. (2015), estudaram as consequências da contaminação do solo por óleo diesel em áreas de recarga de aquíferos no município de Ibadan, Nigéria. Considerando-se a extrema escassez de água potável local, o estudo torna-se relevante a fim de promover a preservação das águas subterrâneas. Devido à precariedade das estradas e veículos, o derrame de refinados de petróleo acontece com maior frequência no continente africano. Grande parte das causas desse tipo de acidente no continente é condicionada às falhas humanas e aos meios de transporte. Dez amostras de solo foram coletadas próximas às áreas ribeirinhas e de recarga de aquíferos. Foram contaminadas com porções de óleo diesel que totalizavam cerca de 10% do valor do seu peso. Dessas amostras, cinco foram lacradas de

forma a evitar a interação com o ar e a luz solar e as demais foram expostas às condições climáticas normais sem nenhuma restrição. Durante 140 dias foram estudados os coeficientes de permeabilidade dessas amostras. Apesar das amostras estarem inicialmente significativamente compactadas, essas apresentaram porosidade alta suficiente para absorver o óleo derramado em um curto espaço de tempo. Houve perda significativa de permeabilidade na superfície das amostras devido ao alto nível de preenchimento dos vazios por óleo diesel. Em relação ao armazenamento, as amostras expostas às condições climáticas locais apresentaram uma remediação natural que promoveu a melhora dos valores do coeficiente de permeabilidade. A consequência imediata e duradoura do derramamento de óleo diesel demonstra a perda de porosidade do solo, fato esse que, até que o coeficiente de permeabilidade retorne a valores acessíveis para penetração das águas, compromete o reabastecimento dos aquíferos.

Calza et al. (2015), avaliou a contaminação da água subterrânea pelo componente Benzeno do grupo dos BTEX, em um posto de combustível em zona urbana da cidade de Barueri, a fim de propor uma técnica de remediação adequada. Através da fase de identificação da situação atual, treze poços de monitoramento foram instalados dos quais em três, foi identificada a presença do Benzeno. A identificação da contaminação ocorreu de acordo com a Decisão de Diretoria 103 da CETESB de 2007 e 263 da CETESB de 2009, que exige a confirmação através da emissão de laudos laboratoriais. Amostras de solo permitiram a classificação do mesmo como argilo-arenoso. No estabelecimento não havia presença de poço artesiano o que eliminou o risco imediato de contaminação por ingestão de água. Levando em consideração todos os fatos levantados na identificação e sendo a contaminação encontrada apenas na fase dissolvida, foi proposta a técnica de Multi Phase Extraction, MPE para remediação. O processo de remediação com duração em torno de dezoito meses e medições da intensidade do Benzeno realizadas a cada seis meses, indicou uma eficiente dispersão espacial da pluma de contaminação. Foram detectadas reduções para 7,10g/L, 232,20g/L, 840,10g/L, 26,80g/L e 1,40g/L para os pontos PM11, PM12, PM13, PMN03 e PMN04 respectivamente. Os valores obtidos resultaram em concentrações abaixo do estabelecido pelo CMA de 892,00g/L, não apresentando assim mais risco a saúde do homem.

Segundo Antonioli et al. (2007), ainda que a biotecnologia da biorremediação esteja limitada à população de microrganismos e sua biodisponibilidade, a variedade de métodos a saber, bioaugmentação, bioestimulação, fitorremediação, landfarming, compostagem e biorreatores, relacionados à biorremediação, possibilita o aumento da eficiência dessa técnica. Ainda que grande

parte dos microrganismos presentes no solo possui a capacidade de degradar hidrocarbonetos, os microrganismos que degradam os HPA como fonte de carbono para suas atividades metabólicas possuem complexas enzimas que transformam as moléculas de HPA em enzimas necessárias para seu processo de metabolismo. Tendo em vista esse fato, os consórcios microbianos mostraram-se mais eficazes na degradação dos HPA do que apenas os microrganismos presentes no local contaminado. Dentre as formas de metabolização dos HPA, a principal trata-se do metabolismo aeróbico realizado pelas bactérias e fungos.

De acordo com Freitas et al. (2012), a medida em que o meio ambiente é agredido pelas atividades contaminantes do homem, os microrganismos degradam os contaminantes usando-os como nutrientes para sua autopreservação. Esse processo biológico de remediação trata-se de uma própria defesa do meio ambiente sendo por isso, classificado como ecologicamente correto possível de ser potencializado. A ação e relação dos microrganismos com os contaminantes são os principais fatores responsáveis pela renovação dos ecossistemas. Sendo assim, o aprofundamento do estudo da relação contaminantes *versus* meio contaminado, torna-se oportuno. Foram observados resultados positivos na utilização das bactérias *Pseudomonas putida* e *Pseudomonas aeruginosa* para degradação do grupo BTEX presente na gasolina comercial. As bactérias *Acidovorans*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Beijemickia*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Comomonas*, *Corynebacterium*, *Cycloclasticus*, *Flavobacterium*, *Gordonia*, *Microbacterium*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Neptunomonas*, *Nocardia*, *Paracoccus*, *Pasteurella*, *Polaromonas*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Rhodococcus*, *Sphingomonas*, *Stenotrophomonas*, *Streptomyces* e *Vibrio*, também se mostraram eficientes em outros estudos. Além das bactérias, leveduras e fungos filamentosos também se mostram eficientes na decomposição desses contaminantes.

Em relação às características físico-químicas do solo arenoso favoráveis a degradação de hidrocarbonetos aromáticos, Bento et al. (2010), avaliou a condição dos fatores pH, umidade e disponibilidade de nutrientes, a saber nitrogênio, fósforo, ferro e enxofre, em amostras de solo coletadas na Unidade de Mapeamento de Itapoã, a profundidade de 20cm, classificadas como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico. Para a avaliação essas amostras foram contaminadas propositalmente com 500mgkg⁻¹ do HPA Antraceno e inoculadas com o consórcio de seis bactérias, a saber, *Mycobacterium fortuitum*, *Bacillus cereus*, *Microbacterium sp.*, *Gordonia polyisoprenivorans*, *Microbacteriaceae bacterium* e *Naphthalene-utilizing bacterium*, e um fungo, o *Fusarium oxysporum*. A mineralização do contaminante foi quantificada através do método da respirometria. Nas amostras

sujeitas à maiores umidades verificou-se o aumento da mineralização do Antraceno e diminuição do tempo de remediação. Em relação ao pH, ainda que as amostras tenham sido inoculadas com consócio específico de bactérias e nutrientes que aumentam a biodisponibilidade desses, quando o pH não foi alterado, mantendo-se a intensidade natural do solo de 4,5, as atividades de degradação foram inibidas. Em relação aos nutrientes, o aumento de 100kg ha⁻¹ na disponibilidade de nitrogênio diminuiu a mineralização do contaminante. Em contrapartida, o aumento da disponibilidade de ferro, enxofre e fósforo, não apresentaram resultados significativos. A inoculação do consócio de bactérias e fungo demonstrou um significativo aumento de CO₂, confirmando o verificado anteriormente por KÄSTNER et al. (1998), onde a introdução dessas bactérias e fungo apresentou uma taxa de degradação dez vezes superior e um tempo de remediação sete vezes inferior ao solo composto apenas pelas bactérias autóctones.

A eficiência da bioaugmentação, técnica da biorremediação que faz o uso da inserção de microrganismos em locais contaminados, foi avaliada por Deon et al. (2012), em relação ao Latossolo Vermelho Distrófico Típico coletado no Centro Tecnológico, CETEC, da Universidade de Passo Fundo, UPF. Amostras de 500g foram contaminadas com 50 ml de óleo diesel, óleo lubrificante e óleo de soja e após o início da bioaugmentação, avaliadas durante 21 dias. A amostra contaminada com óleo de soja demonstrou uma significativa remediação, fato esse que pode ser explicado pela escolha de microrganismos provenientes de efluente rico em lipídios e estrutura de hidrocarbonetos simples em comparação com o óleo lubrificante e óleo diesel. Nas três medições realizadas semanalmente, através do método da quantificação de material contaminante extraído, as amostras apresentaram os percentuais de remoção de contaminante de: 87,81%, 73,91% e 49,45% para óleo de soja; 41,65%, 14,16% e 6,91% para óleo lubrificante e; 18,54%, 7,30% e 11,38%, para óleo diesel. Concluiu-se que, em comparação com técnicas de atenuação natural monitorada, a técnica de bioaugmentação, utilizada na remediação do óleo diesel, apresenta pouca eficiência devido a melhor resposta de degradação dos microrganismos autóctones do solo.

Segundo Pereira et al. (2012), assim como as bactérias, as actinobactérias possuem a capacidade de degradar derivados de petróleo e podem ser encontradas no solo, que é seu habitat principal ou na água. As actinobactérias são consideradas degradadoras de hidrocarbonetos devido à capacidade de absorver o CO₂ presente nesses como fonte de energia transformando-os em substâncias inertes ao meio ambiente. Esse fato faz com que as actinobactérias sejam consideradas agentes degradadores em potencial.

Aguiar et al. (2012), avaliou a eficiência da fitorremediação em solos contaminados pelo grupo dos HPA. Foram escolhidas as espécies *Glycine max cv CD 214 RR* e *Brachiaria brizantha* devido ao potencial fitorremediador para áreas contaminadas por HTP. Dentre as vantagens da utilização da fitorremediação em áreas contaminadas por HTP estão o baixo custo e a amplitude de área de aplicação. As desvantagens, ficam por conta do longo período de tempo necessário, da limitação da intensidade da contaminação tolerável e do risco de a vegetação ser usada como parte da cadeia alimentar. No Campo Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro, as plantas escolhidas foram cultivadas pelo período aproximado de 65 dias recebendo doses de contaminantes com concentrações entre 0 a 3%. A fim de analisar os possíveis efeitos da absorção do contaminante pelas espécies, aos 30 e 60 dias, através dos softwares Minitab release 12.23 e Analyse-it for Microsoft Excel Version 1.71, foram analisadas as variáveis: área foliar, AF; comprimento da raiz, CR; comprimento da parte aérea, CA; biomassa radicular, BR, e; biomassa aérea, BA. Na primeira análise, ao 30º dia, a *Brachiaria brizantha* teve todas as variáveis alteradas exceto pelo CR. Em relação a *Glycine max* foram apresentadas alterações na AF e BA. Conclui-se que apesar de ambas serem sensíveis aos efeitos dos HPA, a *Glycine max* apresentou maior capacidade de resistência em caso de fitorremediação de área contaminadas por HTP.

No V Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, Vianna et al. (2010), discutiram sobre o tratamento dado a publicação e conscientização dos casos de contaminação do solo e da água subterrânea por combustíveis. Como estudo de caso foi abordado o caso de contaminação por derivados de petróleo na Vila Carioca, localizada na região sudeste da cidade de São Paulo, na década de 50. Nessa vila, onde a empresa denominada Shell do Brasil S. A., exercia atividades de envase e armazenamento de produtos derivados do petróleo foram identificadas, por volta de 1998, no solo e na água subterrânea a presença de todos os elementos do grupo BTEX em valores acima dos permitidos, colocando em risco a vida da população local. O problema levantado trouxe à tona a importância da publicação de casos de contaminação para a população tendo em vista que, no referido caso, cerca de 27 das 32 matérias publicadas ficaram sujeitas à ruídos de comunicação responsáveis pela falta de entendimento e alarde da população sobre o fato. Considerando-se o desconhecimento, não só da população, mas também dos proprietários de estabelecimentos relacionados ao petróleo, a discussão proposta por Vianna et al. em 2010 confirma a fragilidade da mídia sobre o assunto no momento de transmitir informações relacionadas a contaminação por derivados do petróleo se fazendo necessária uma campanha de nível

nacional sobre o conhecimento e precauções sobre o problema de áreas contaminadas por derivados de petróleo.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta as etapas desenvolvidas no processo de remediação enfocando-se a análise dos processos e etapas pelos quais devem ser submetidas áreas suspeitas de contaminação por combustíveis, assim como, o estudo dos métodos de remediação executados.

Os dados usados como referência para o desenvolvimento do trabalho foram retirados dos relatórios emitidos pelas empresas, denominadas Empresa A e, Empresa B, contratadas para realização das análises investigatórias posteriormente protocolados na CETESB- Agência Avaré. As amostras de solo e água subterrânea foram encaminhadas pelas Empresas A e B para o Laboratório do Departamento de Solos da ESALQ- USP de Piracicaba para análises físicas e químicas.

Para atingir os objetivos gerais e específicos propostos, e fundamentar a relevância do tema, a dissertação foi dividida em três etapas.

A primeira etapa composta pela caracterização da região de atuação dos Postos A e B, abrangendo os aspectos que influenciam a extensão da contaminação e são afetados pela mesma. O levantamento do histórico de contaminação e das instalações e atividades comerciais realizadas, foram realizados a fim de identificar a causa e o início da contaminação das áreas.

A segunda etapa consiste na avaliação dos resultados das análises investigatórias do solo e das águas subterrâneas que confirmam a existência de contaminação da área e, dos resultados que quantificam a extensão e intensidade da contaminação.

Por fim, identificados quais os contaminantes encontrados em concentrações elevadas, a terceira etapa é composta pela verificação da eficiência obtida na associação dos métodos de remediação executados.

5.1. MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

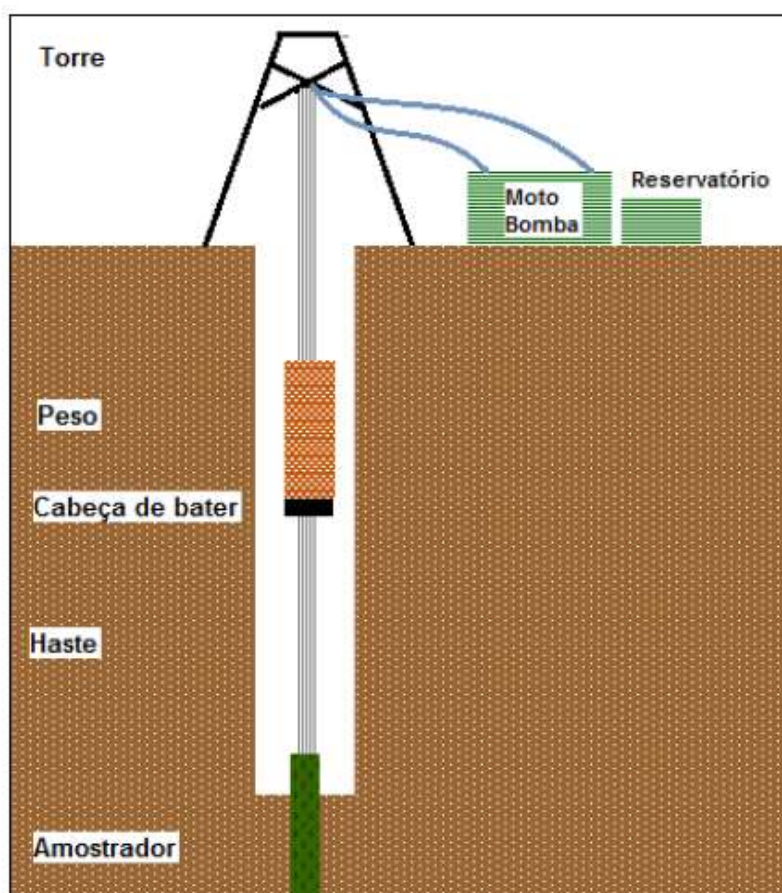
Para realização das Investigações dos postos A e B estudados neste trabalho foram utilizados Métodos de Análise Direta que, em relação ao solo, consiste na execução de sondagens e coleta de amostras e, em relação à água subterrânea, na construção de poços para monitoramento e coleta de amostras.

A princípio, foi realizado o levantamento das características dos solos de ambos os postos. Atualmente, o método mais usado para identificação das camadas do solo é a sondagem a percussão devido aos custos de operação e aos resultados obtidos. O processo de sondagem realizado permitiu a classificação das camadas dos solos de ambos os postos, suas características e definição do nível da água subterrânea. A sondagem a percussão foi executada através da cravação do amostrador usando o sistema de martelete hidráulico. A sequência de procedimentos padrão para a execução dessa sondagem consta na norma NBR 6484 – FEV 2001 “Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio”.

O resumo dos procedimentos consiste em, após escolhido o ponto onde será feita a sondagem, o equipamento é nivelado e estabilizado na superfície através do peso próprio. A execução do pré furo é necessária para evitar possíveis impedimentos devido aos componentes graúdos do solo superficial e para evitar atritos que possam danificar os equipamentos em uso.

O ensaio inicia-se então com a cravação do amostrador que deve estar localizado no fundo do pré furo. A cravação ocorre através do contato da queda do martelo com a cabeça de bater que, é uma pequena base laminar encaixada no topo da haste que faz a transferência integral do choque da queda do martelo, evitando assim que o equipamento seja danificado devido ao contato do martelo diretamente com a haste. A figura 21 ilustra o esquema de sondagem.

Figura 21 - Esquema de sondagem a percussão por martelo hidráulico para coleta de amostras de solo



Após coletada a amostra da camada desejada, a haste com o amostrador na ponta é trazida à superfície para recolhimento da amostra através do sistema hidráulico. A amostra é então armazenada em recipiente hermético, etiquetado, contendo informações como nome, local, número da sondagem, número da amostra e profundidade.

No caso do estudo dos postos analisados neste trabalho, foram definidos a partir dessas amostras o perfil do solo e o nível de água subterrânea. Foram também analisadas a presença e a intensidade dos parâmetros de BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) e HPA (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) em laboratórios específicos contratados pelos postos, licenciados pela CETESB.

Em seguida, nos pontos onde foram executadas as sondagens, foram instalados poços de monitoramento que permitem a coleta de amostras de água subterrânea a qualquer momento (desde que a coluna de água possua altura suficiente).

A sequência de procedimentos padrão para a instalação dos poços de monitoramento constam nas normas:

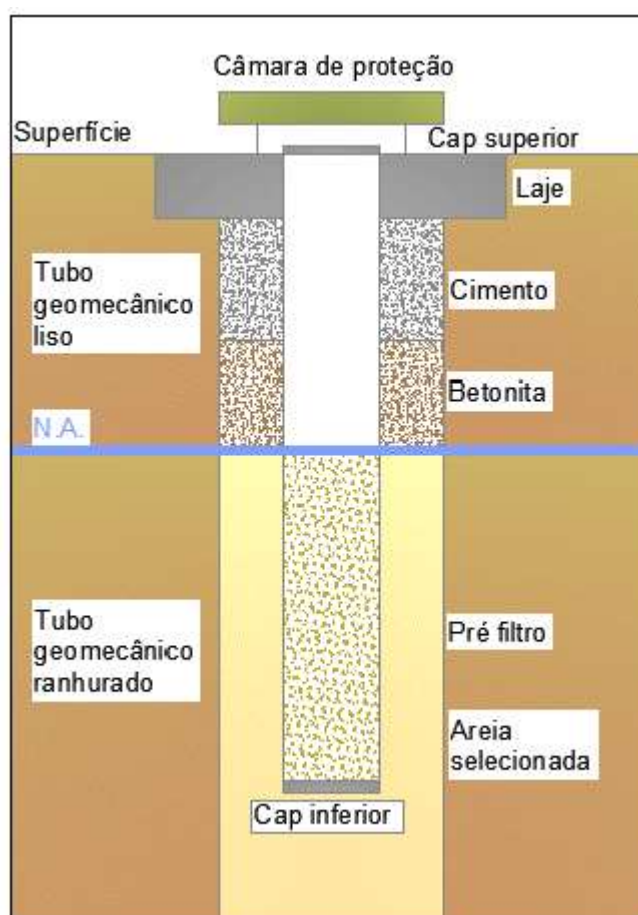
- NBR 13895:1997. “Construção de poços de monitoramento e amostragem” e;
- NBR 15495: 2007. “Poços de Monitoramento em Aquíferos Granulares. Parte 1: Projeto e execução e Parte 2: Desenvolvimento”.

Para revestir o furo são colocados tubos feitos de materiais inertes aos compostos químicos naturais do solo e também aos provenientes dos contaminantes, normalmente PVC ou aço Inox. O primeiro tubo faz a conexão entre a superfície e o nível de água, e possui textura lisa. O segundo tubo, feito do mesmo material que o anterior, deve ser ranhurado e preenchido com material drenante, sendo mais usada a areia selecionada com diâmetro de 3,00mm. Essa areia exerce a função de filtro impedindo que materiais sólidos naturalmente dispersos na água subterrânea cheguem ao interior do poço.

Acima do nível da água, para evitar a contaminação por meio de escoamento superficial, o poço recebe acabamento com betonita e cimento. Uma pequena laje na superfície, o *cap* superior e a câmara de calçada concluem a proteção do poço.

A figura 22 ilustra o esquema de instalação do poço de monitoramento.

Figura 22 - Poço de monitoramento para coleta de amostras de água subterrânea



Antes da realização da coleta das amostras de água subterrânea para a análise química, os poços de monitoramento foram esgotados para garantir a remoção completa de sólidos que adentraram nos poços no momento de penetração no solo. As amostras de água subterrâneas foram enviadas ao mesmo laboratório encarregado das análises químicas do solo para verificação dos parâmetros BTEX e HPA.

Os resultados obtidos a partir das amostras foram comparados aos Valores de Intervenção para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, da CETESB de 2005.

Em ambos os postos, os pontos de coleta de amostras foram escolhidos estrategicamente de acordo com os locais propícios para vazamento e que apresentaram sinal superficial de contaminação.

5.2. POSTO A

5.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO POSTO A

De acordo com o Manual de Gerenciamento de áreas Contaminadas da CETESB de 2001, as investigações devem ser feitas de acordo com as características da área a ser estudada de modo a propor o método mais eficiente de remediação. Por esse motivo se fez necessária a caracterização do município onde encontra-se inserido o posto A.

O município de atuação do posto A, Itaí, está localizado no sudoeste do Estado de São Paulo, conforme a figura 23 e, possui 24.008 habitantes. Está a 70 quilômetros da fronteira com o estado do Paraná e a 300 quilômetros da capital do Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas do município de Itaí são latitude 23°25'04 "e longitude 49°05'26" (IBGE, 2010).

Figura 23 - Localização de Itai no Estado de São Paulo



Fonte: IBGE, 2010⁴. Adaptado.

O município faz parte da Microrregião de Avaré, tendo como municípios limítrofes: Piraju, Cerqueira César, Arandu, Avaré, Itapeva, Itaberá, Paranapanema, Tejupá, Taquarituba, Coronel Macedo.

Inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo nº14, Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, (UGRHI-14) conforme a figura 24, a cidade é banhada pela represa de Jurumirim que, em diversos pontos tem sido usada como praia e reserva de água doce do município e pelo rio Paranapanema, importante divisor natural entre os estados de São Paulo e Paraná (CEPAM, 2009).

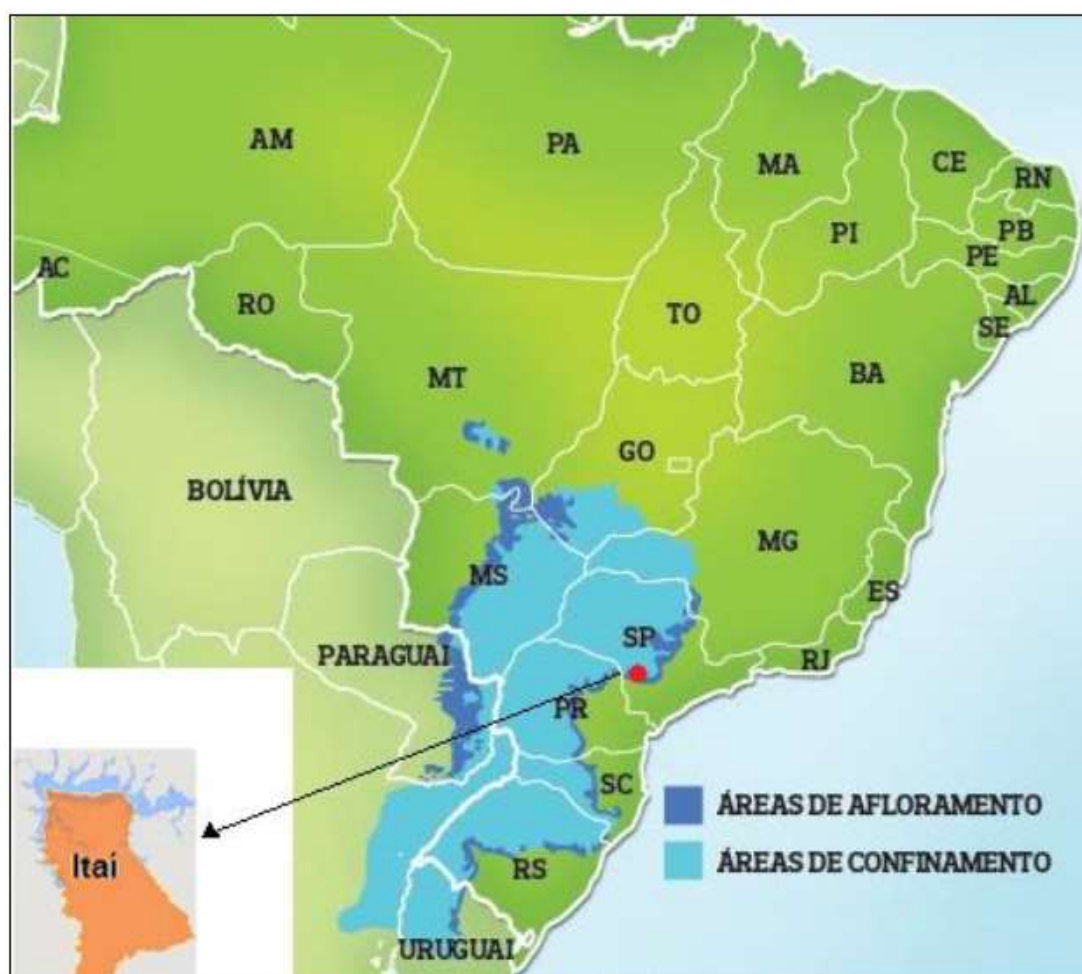
Figura 24 - Unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo



Fonte: Secretaria de saneamento e recursos hídricos⁵, 1994. Adaptado.

A área do município é classificada ainda como área de recarga do Aquífero Guarani do Estado de São Paulo, conforme a figura 25, sendo assim importante o estudo de capacidade e exposição do seu solo tendo em vista o alto risco de contaminação do lençol freático (FERREIRA et al., 2006, p.69)

Figura 25 - Localização Município de Itai na área de recarga do Aquífero Guarani



Fonte: Globo Rural, 2001⁶. Adaptado.

Itai está a uma altitude de 654 metros, e a variação nos municípios do entorno variam entre 600 a 750 metros (ROSS e MOROZ, 1997). O clima é tropical de altitude, clima esse predominante nos planaltos e serras do Sudeste brasileiro, com pequena amplitude térmica oscilando entre 17°C e 22°C, chuvas torrenciais no verão e escassez de chuva no inverno.

O município possui uma formação de relevo montanhoso, resultado das variações climáticas e litológicas diversas, de extensão de 1.082,78 Km². Toda a extensão do município está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, pertencendo a classificação geológica de rochas sedimentares do Grupo Bauru e da Formação Serra Geral.

Dentro da microrregião de Avaré, Itai encontra-se sobre a Depressão Periférica Paulista ou como é chamada no Paraná, Segundo Planalto, formada nos sedimentos Páleo-mesozoicos da bacia do Paraná, conforme a figura 26.

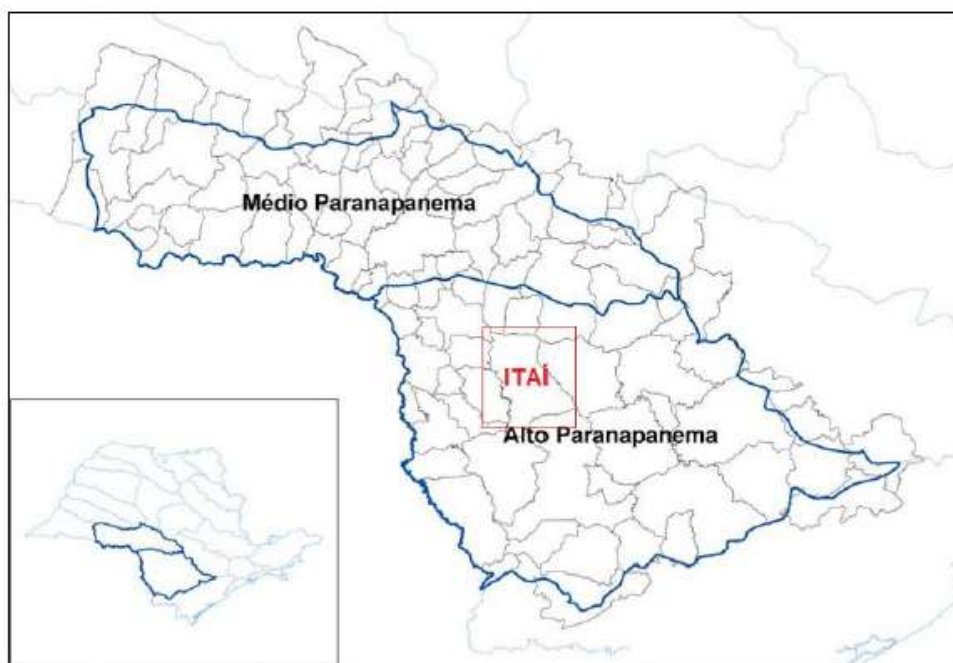
Figura 26 - Relevo do Estado de São Paulo



Fonte: Instituto agrônomo⁷, 1999.

A Depressão Periférica Paulista possui três classificações morfológicas, sendo a Depressão do Alto Paranapanema onde se encontra o município de Itai indicado conforme a figura 27.

Figura 27 - Depressão do Paranapanema

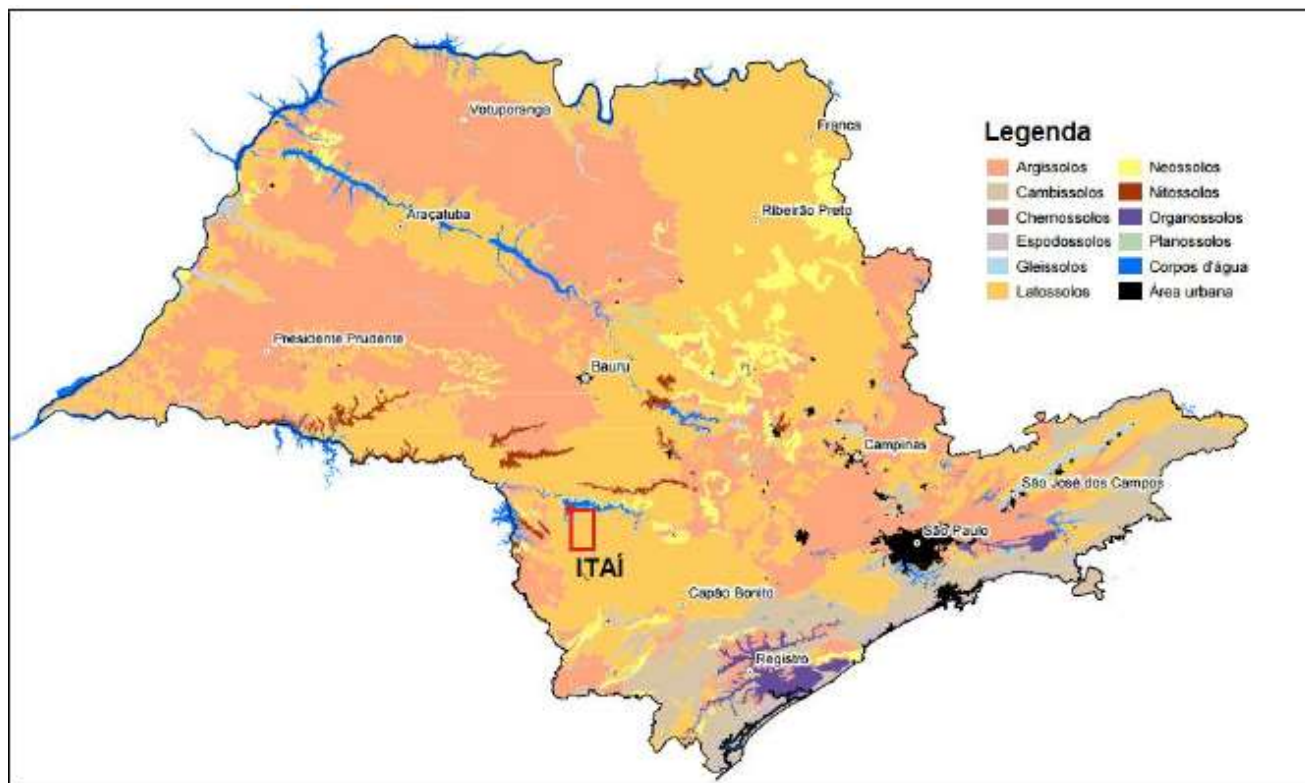


Fonte: OLIVEIRA, 200⁵a. Adaptado.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, 2013, os solos brasileiros estão divididos em treze classes, sendo o predominante na região do Posto A estudado o Latossolo,

que é a principal e mais extensa classe de solo encontrado no Brasil e no Estado de São Paulo, como indica a figura 28 (OLIVEIRA, 2005a)

Figura 28 - Mapa pedológico Estado de São Paulo.



Fonte: Instituto agrônomo⁸, 1999. Adaptado.

Sua formação litológica é primeiramente de rochas sedimentares clásticas, formadas a partir da desintegração de rochas magmáticas e material orgânico, através da ação da atmosfera, da temperatura, dos ventos e das reações químicas que aglutinam os sedimentos. As rochas basálticas também fazem parte da formação litológica, e são constituídas basicamente de lavas vulcânicas que devido à ação do tempo e da temperatura sofre o enrijecimento.

No município de Itaipava o Latossolo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo e dentre suas principais características está a predominância de material mineral, o óxido de ferro que reveste as partículas de caulina, responsáveis pelas cores avermelhadas (RESENDE, 2007).

A transformação dos horizontes é gradual, nos primeiros 2 a 3 metros as características Latossólicas devem estar evidentes. O horizonte A com espessura em torno de 0,50 a 1,50 metros, sofre escurecimento pelo acúmulo de matéria orgânica decomposta. No horizonte B os grãos são pequenos de 0,5 a 3,0mm e arredondados, o que proporciona dimensões maiores de poros.

O Latossolo recebe mais de 50% da atividade agrícola do país, sendo observado nas proximidades do município de Itai o extenso plantio de cana-de-açúcar, milho e soja, fato esse que torna ainda mais importante a investigação ambiental a fim de evitar que a produção agrícola seja comprometida pela má qualidade do solo.

5.2.2. INSTALAÇÕES DO POSTO A

Segundo a Resolução CONAMA n° 273 de 2000, o Posto A, por se tratar de um empreendimento que exerce atividades de manipulação de combustíveis que possui sistema de armazenamento com registrador de volume para móveis, é classificado como PA.

A estrutura do Posto A conta com um pequeno prédio comercial de um pavimento localizado a Oeste do estabelecimento, uma loja de conveniência, dois banheiros, uma copa, cinco depósitos, uma sala de gerência e um escritório. Em lugares devidamente separados no estabelecimento, tem-se a prestação dos serviços de:

- Borracharia: manutenção e reparos de roda e pneus;
- Troca de óleo: local separado por mureta, com elevador hidráulico e canaleta para escoamento; sendo os resíduos da operação de troca de óleo armazenados em tambores, posteriormente retirados pela empresa responsável;
- Lavagem de veículos: em local separado por mureta ao lado do local de troca de óleo, com elevador hidráulico e canaleta e;
- Loja de conveniência: venda de produtos automobilísticos.

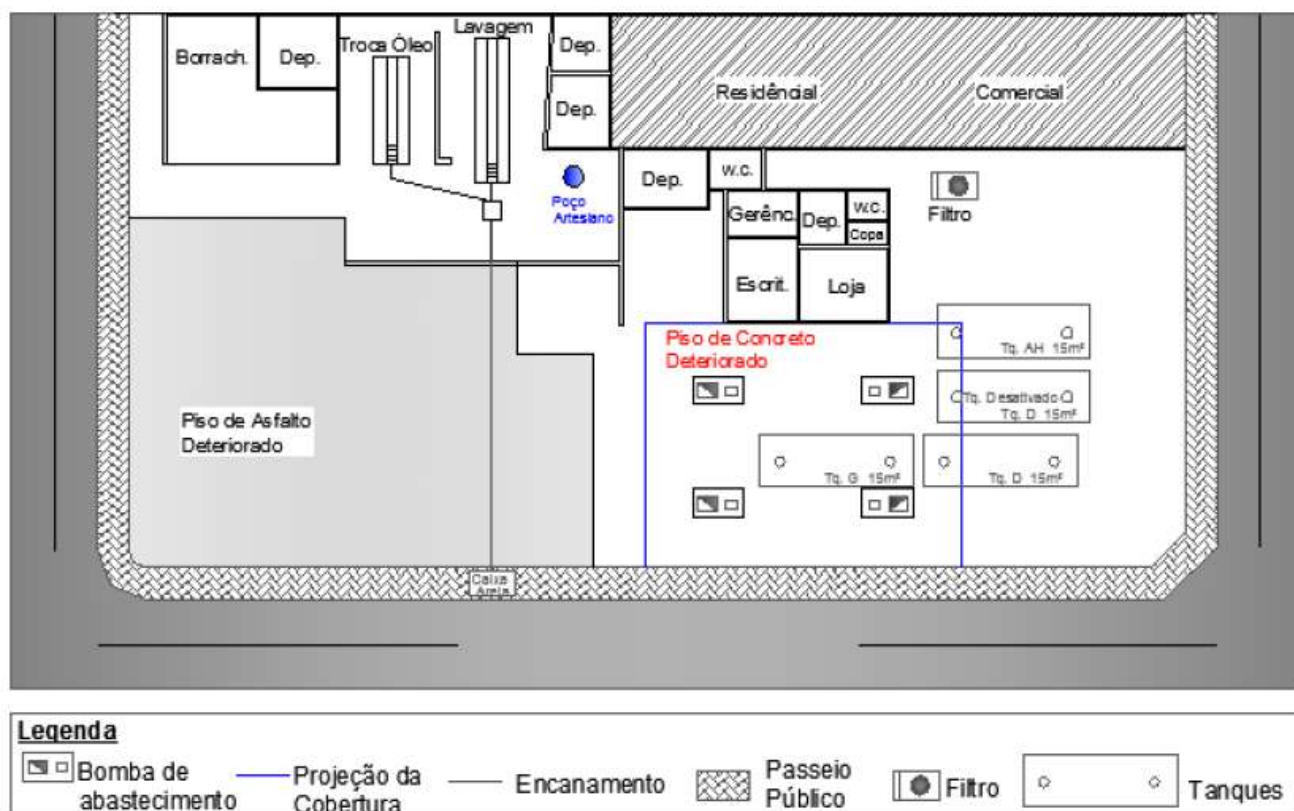
Todos esses localizados ao Sul do estabelecimento, um ao lado do outro, sobre piso de concreto. O posto possui ainda um poço artesiano, próximo ao espaço destinado para a lavagem de veículos, destinado ao consumo dos funcionários e clientes.

A pavimentação do posto é de asfalto nos acessos e concreto desempenado nas ilhas de abastecimento, lavagem e troca de óleo. Quanto ao estado de conservação, ambos os pisos de asfalto e concreto apresentaram fissuras inclusive próximas as bombas de abastecimento.

Quanto ao abastecimento são comercializados Diesel Comum, Diesel S10, Gasolina comum e Etanol. O posto possui 4 tanques de combustíveis instalados, com capacidade para 15m³ cada. A comercialização acontece em 4 ilhas de abastecimento, através de 4 bombas.

A figura 29 apresenta o croqui das instalações do posto.

Figura 29 - Instalações do Posto A



Fonte: CBC Ambiental, 2008.

A Lei Complementar nº 125 de 2003 exige que postos de abastecimento tenham área mínima de 1.440m² para lotes localizados no meio da quadra e, 1.000m² para lotes localizados em esquinas. Exigência essa cumprida pelo posto A analisado por estar localizado no meio da quadra e possuir área aproximada de 1870,00m².

5.2.3. ANÁLISE DO SOLO LOCAL

Para sondagem do solo local foram escolhidos sete pontos distintos nomeados PM1, PM2, PM3, PM4, PM5, PM6 e PM7. A profundidade e a localização dos pontos seguem indicados na tabela 8.

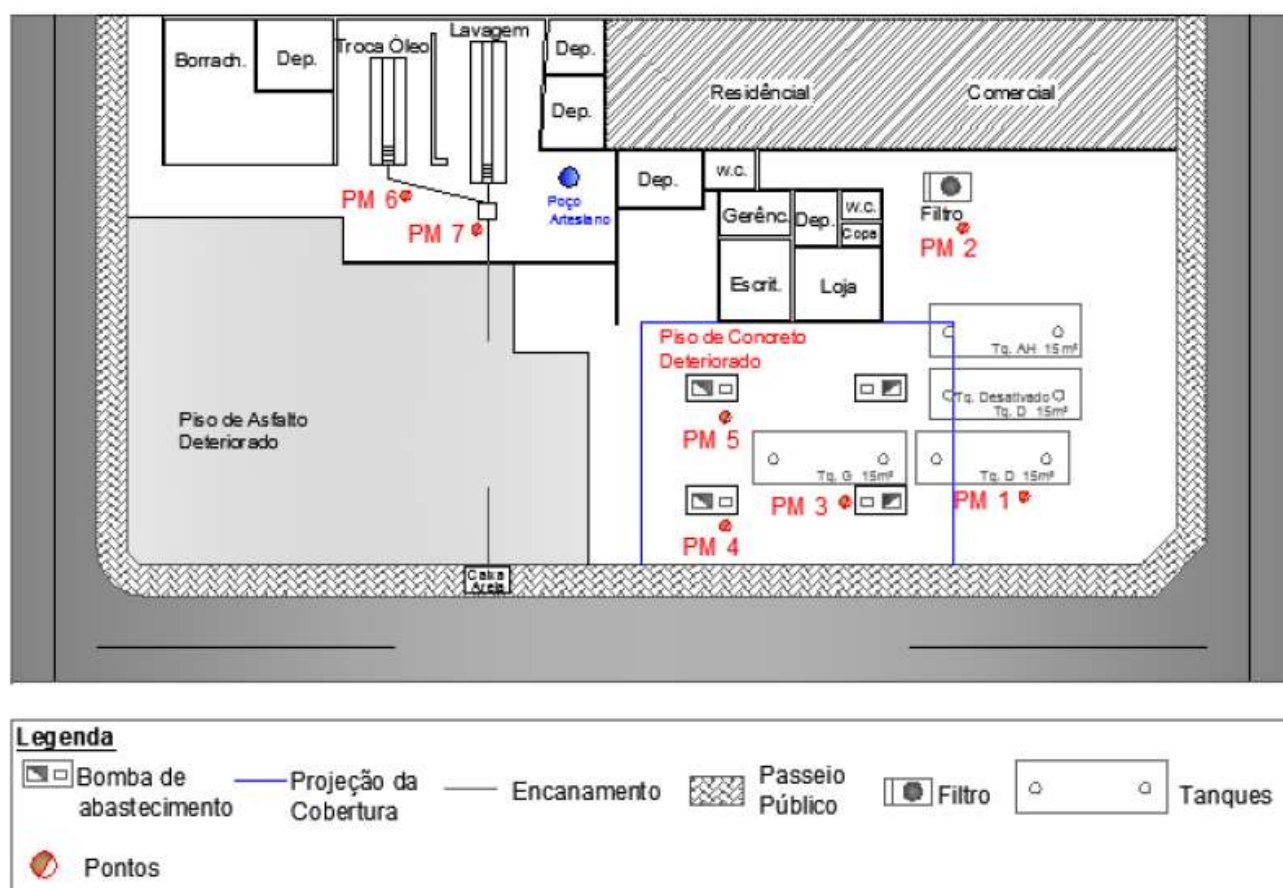
Tabela 8 - Informações técnicas e localização das sondagens

Sondagens realizadas		
Pontos	Prof. (m)	Localização
PM01	7,50	Jusante tanque Diesel
PM02	5,09	Jusante filtro Diesel
PM03	7,02	Jusante tanque Gasolina
PM04	6,63	Jusante bomba Diesel
PM05	6,96	Jusante boba gasolina comum
PM06	2,00	Troca de óleo
PM07	2,00	Lavagem

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

A locação dos pontos pode também ser observada na figura 30.

Figura 30 - Locação dos pontos PM1 a PM7 para sondagem



Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Através das sondagens realizadas foram determinados 3 níveis para o solo local, como ilustra a figura a 31 confirmando assim as características Latossolicas de solos característicos dessa região.

Figura 31 - Perfil do solo Posto A

Perfil do solo					
Prof.(m)	Perfil	Cota (m)	Textura %		
			Areia	Silte	Argila
1,00		600,88	54	6	40
2,00		599,88			
3,00		598,88			
4,00		597,88			
5,00		596,88			
6,00		595,88			
6,25	N.A.		27	36	37
7,00		594,88			

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

O nível 1, considerado entre 0 e 6 metros, é classificado como solo laterítico, eutrófico, possui coloração vermelho escura típica devido ao enriquecimento do solo através de óxidos de ferro, alumínio e caulinita, e é composto de 54% de areia, 6% de silte e 40% de argila. O nível 2, entre 6 e 7 metros, é classificado como solo saprolítico, possui coloração marrom e resulta da decomposição da rocha matriz devido à ação das intempéries. O solo do nível 2 é composto de 27% de areia, 36% de silte e 37% de argila. O nível 3, abaixo dos 7 metros, é composto por rocha impenetrável (basalto) de coloração cinza.

As amostras de solos retiradas do ponto PM1 a 2,00 metros e, do ponto PM2 a 5,00 metros foram usadas em ensaio granulométrico e classificadas conforme tabela 9.

Tabela 9 - Características físicas do solo amostrado

Amostra	Fração Areia (%)	Fração Silte (%)	Fração Argila (%)	Classe de textura
PM1- 2,0m	54	6	40	Argilosa
PM2- 8,0 m	27	36	37	Argilosa
Classe de textura baseado na fração de argila				
0-14%	15-24%	25-34%	35-59%	60-100%
Arenosa	Média Arenosa	Média Argilosa	Argilosa	Muito Argilosa

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Em ambos os níveis 1 e 2 foram confirmadas as características texturais argilosas típicas em solos que sofreram alteração basáltica com permeabilidade baixa a baixíssima. O solo local apresentou uma porosidade média de $0,3145 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (31,45%) umidade média de $0,1997 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (19,97%) e massa específica de $1,845 \text{ g/cm}^3$.

5.2.4. ANÁLISE DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA LOCAL

A fim de conhecer o sentido da disseminação da pluma de contaminação foi realizada a análise do fluxo de água subterrânea.

Através de vários pontos com potencial hidráulico conhecido é possível determinar o mapa de isopotencial local, dessa forma, dentre os pontos usados para a coleta de amostras de solo foram escolhidos os pontos PM01, PM03, PM04 e PM05, e medidas as alturas piezométricas que, correspondem as cargas e potenciais hidráulicos indicadas na tabela 10.

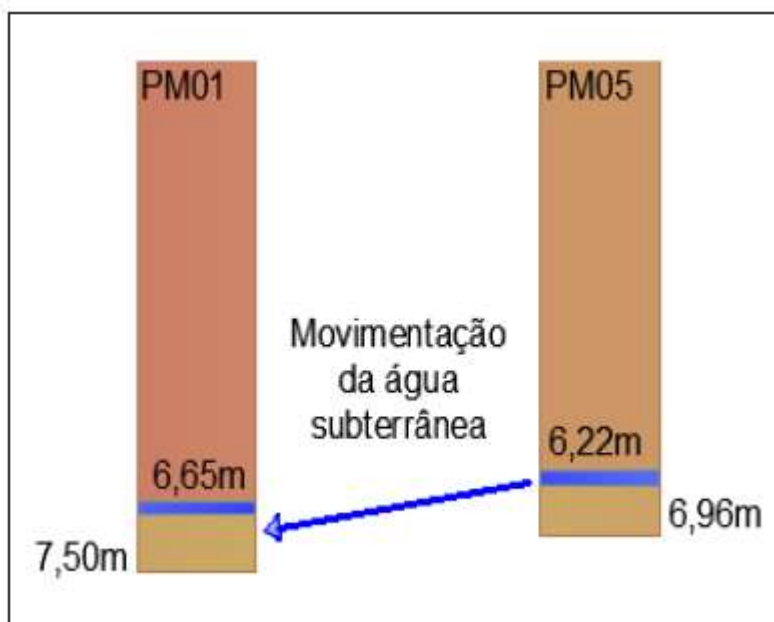
Tabela 10 - Cargas e potenciais hidráulicos

Dados para determinação do fluxo subterrâneo			
Pontos	Prof. (m)	N.A. (m)	C.A. (m)
PM01	7,50	6,65	0,855
PM03	7,02	6,24	0,780
PM04	6,63	5,92	0,710
PM05	6,96	6,22	0,740

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Por estarem em pontos críticos, próximos aos tanques subterrâneos foram analisados os potenciais hidráulicos dos pontos PM01 e PM05. O sentido do fluxo da água subterrânea indicou declividade do ponto PM05 para o ponto PM01 conforme a figura 32.

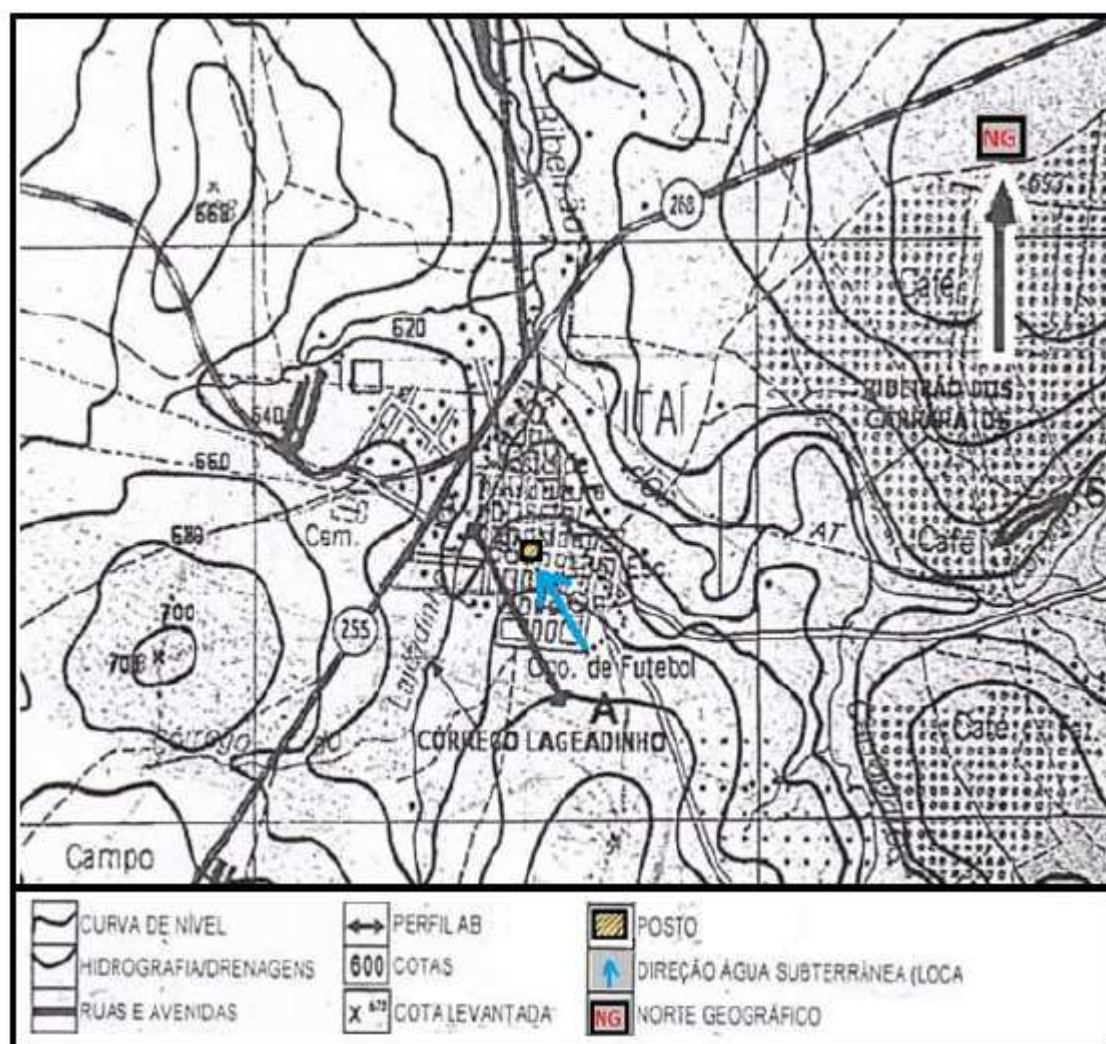
Figura 32 - Sentido da movimentação da água subterrânea



Fonte: CBC Ambiental, 2008. Adaptado.

Juntamente com esses dados, a Folha Cartográfica do Município de Itai confirma o sentido do fluxo da água subterrânea de Sudeste (SE) para Noroeste (NO), como ilustra a figura 33.

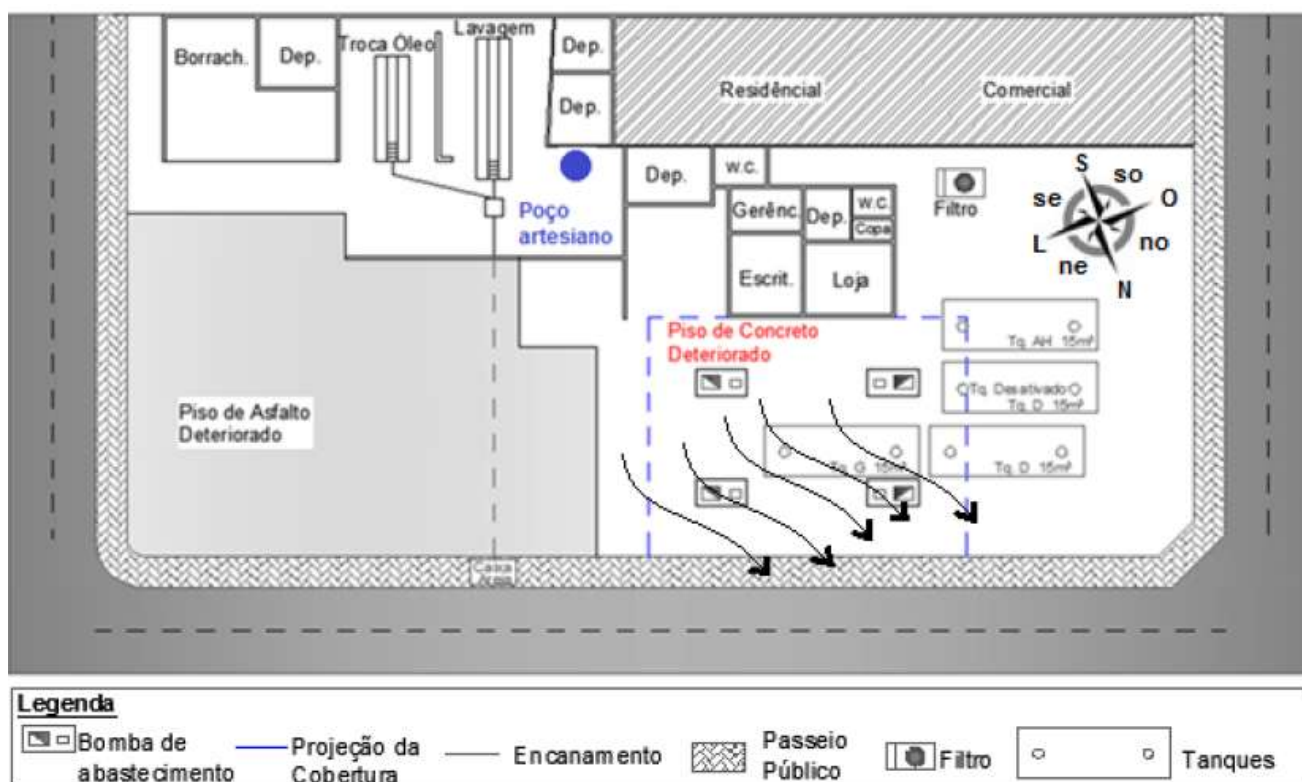
Figura 33 - Folha Cartográfica do Município de Itai



Fonte: CBC Ambiental, 2008. Adaptado.

A figura 34 apresenta o sentido do fluxo da água subterrânea sob o posto A.

Figura 34 - Fluxo da água subterrânea



Fonte: CBC Ambiental, 2008. Adaptado.

5.3. POSTO B

5.3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO POSTO B

laras, município onde está localizado o Posto B, possui 6.376 habitantes e encontra-se na região centro-oeste do Estado de São Paulo. A 285 quilômetros da capital do estado, suas coordenadas geográficas são latitude 22°52'15" e longitude 49°09'46" (IBGE 2010). A figura 35 ilustra a localização do município no mapa do Estado de São Paulo.

Figura 35 - Localização de Iaras no Estado de São Paulo



Fonte: IBGE, 2010⁹. Adaptado.

O município faz parte da microrregião de Avaré, tendo como municípios limítrofes Avaré, Águas de Santa Bárbara, Cerqueira César, Agudos e Borebi.

Iaras está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo nº 17, Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, (UGRHI-17) conforme a figura 36. A cidade é banhada pelos Rios Pardo, Novo, Pará e Capivara (CEPAM, 2009)

Figura 36 - Unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo



Fonte: Secretária de saneamento e recursos hídricos¹⁰, 1994. Adaptado.

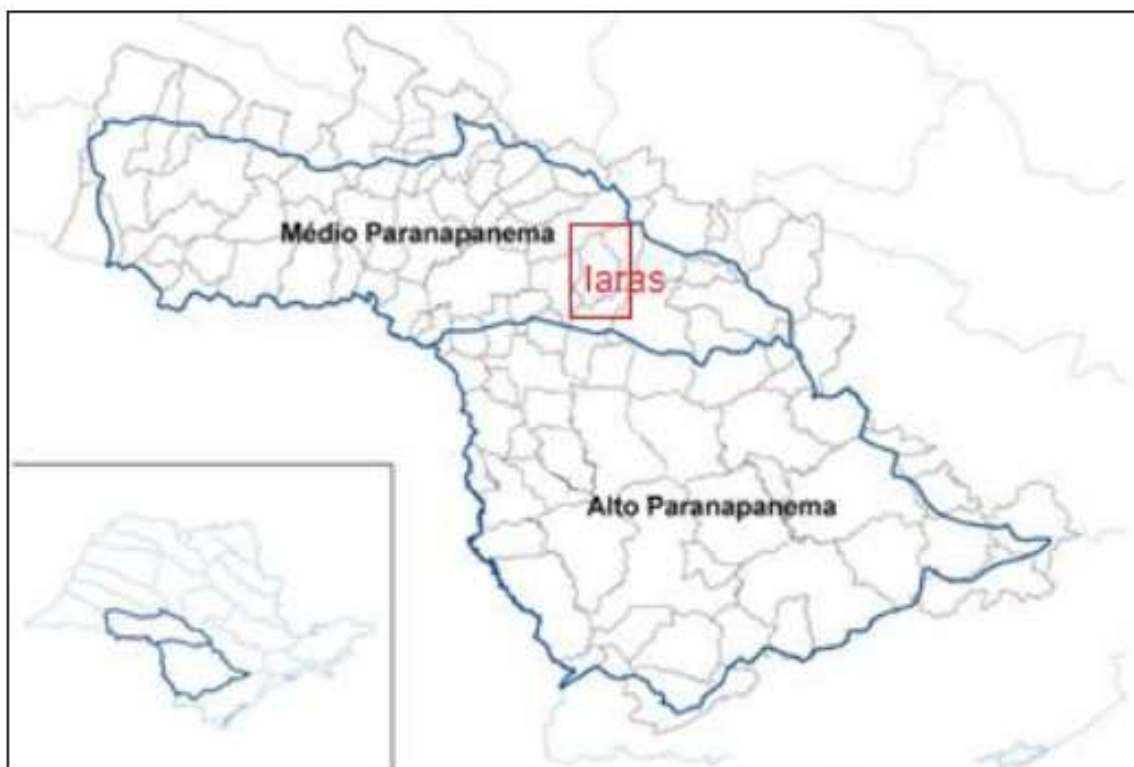
Assim como o município de atuação do Posto A, Itaí, Iaras também é considerada área de recarga do Aquífero Guarani do Estado de São Paulo como indica a figura 37 (FERREIRA et al., 2006).

Figura 37 - Localização Município de Itaí na área de recarga do Aquífero Guarani



Fonte: Globo Rural 2001¹¹. Adaptado.

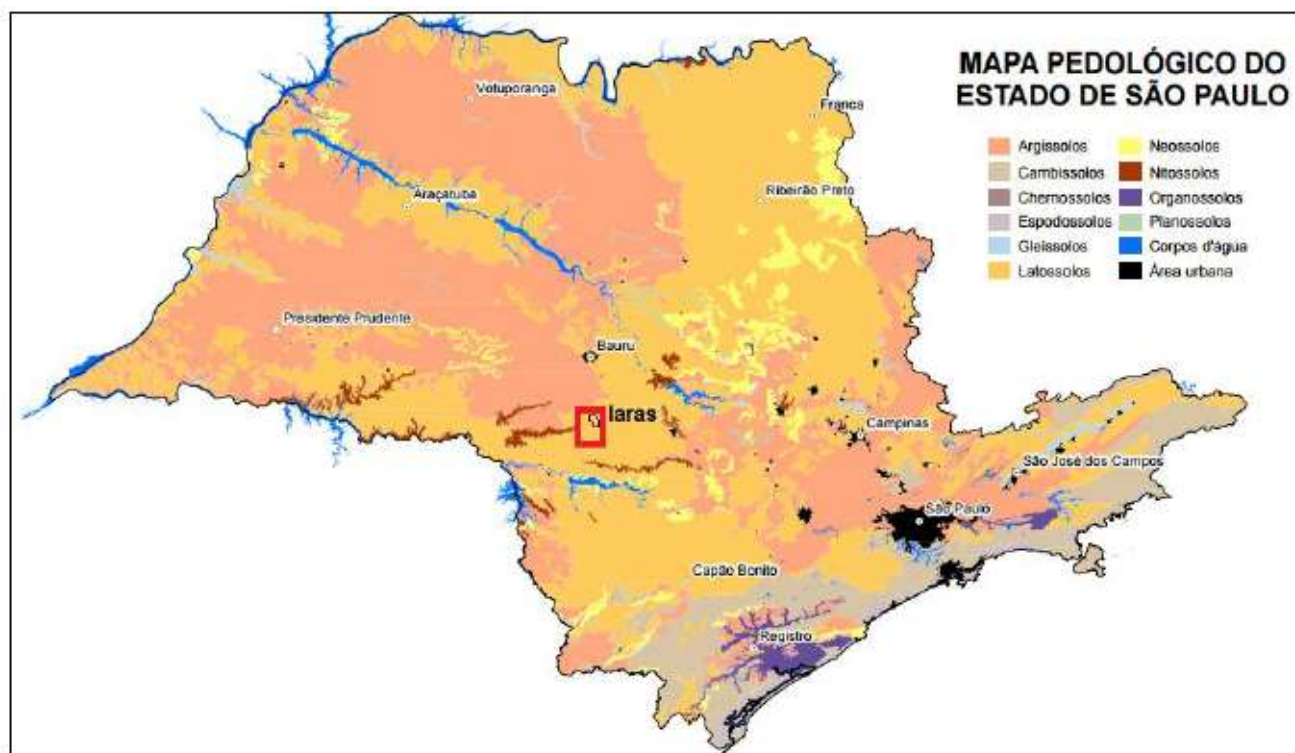
A uma altitude de 648 metros, o clima é classificado como tropical de altitude, assim como no local do Posto A caracterizado por pouca amplitude térmica, altas precipitações no verão e baixas no inverno. Em contraste ao município de Itaí, o relevo do município Iaras, é suavemente ondulado, predominantemente plano, não montanhoso, possuindo área de 401,371 km². O relevo pouco acidentado entre 3% a 6% de declividade, propicia ótimas condições para atividades agropecuárias. O município também se encontra inserido na Bacia Sedimentar do Paraná, pertencendo a classificação geológica de rochas sedimentares do Grupo Bauru e da Formação Serra Geral, localizado sobre a depressão do Médio Paranapanema como mostra a figura 38.

Figura 38 - Depressão do Paranapanema

Fonte: OLIVEIRA, 2005a. Adaptado.

Assim como no Posto A, o solo do Posto B é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, como indica a figura 39, no entanto nessa região mostra-se mais sensível a erosões no subúrbio do município, onde a pouca vegetação, que juntamente com ineficientes sistemas de drenagem formam sulcos erosivos.

Figura 39 - Mapa pedológico Estado de São Paulo



Fonte: Instituto agrônomo¹², 1999. Adaptado.

Nas proximidades do município de Itaipava foram observados o plantio de cana-de-açúcar, milho e feijão, e também um extenso desmatamento.

5.3.2. INSTALAÇÕES DO POSTO B

Assim como o Posto A, o Posto B possui a estrutura e serviços prestados que permitem classificá-lo como PA, segundo a Resolução CONAMA n° 273 de 2000.

A estrutura do Posto B, conta com uma pequena edificação usada como escritório de um pavimento, localizado na parte Leste do estabelecimento. Possui ainda uma loja de conveniência e restaurante. Em lugares específicos no estabelecimento, tem-se a prestação dos serviços de:

- Borracharia: manutenção e reparos de roda e pneus;
- Troca de óleo: com instalações que direcionam o óleo usado para um tanque enterrado com capacidade de 3m³;
- Lavagem de veículos: local com canaletas que direcionam a água usada para a rede coletora de esgoto;
- Loja de conveniência: venda de produtos de manutenção automobilística e;
- Restaurante.

Além do Posto A, o Posto B também possui um poço artesiano, destinado ao consumo dos funcionários e clientes, devido à ausência de abastecimento de água da rede pública.

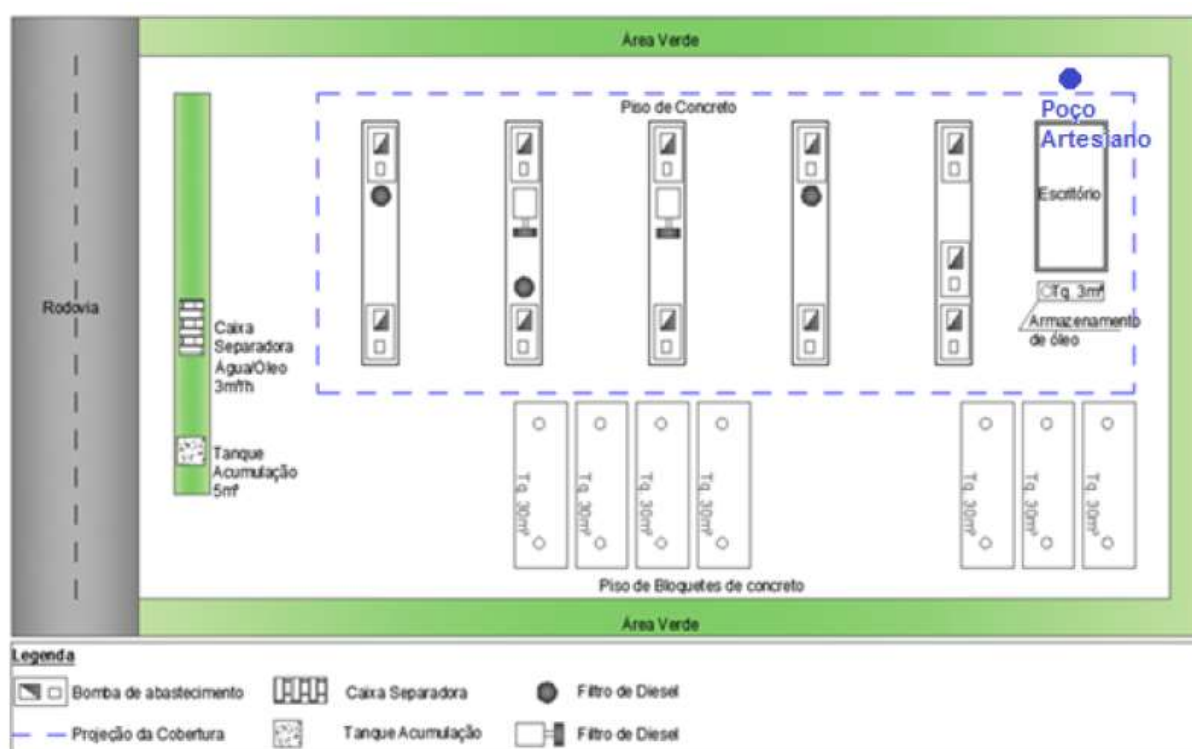
A pavimentação do Posto B é de concreto desempenado nas ilhas de abastecimento e local de troca de óleo e lavagem de veículos. As demais áreas incluindo o pátio e o estacionamento foram feitas com bloquetes de concreto. No momento desta investigação os pisos estavam em estado de conservação adequados, não apresentando fissuras nem vícios construtivos.

No Posto B são comercializados Diesel Comum, Diesel S10, Gasolina comum e Etanol. Quanto aos tanques de combustíveis estavam ativos cinco tanques de 30m³, dois tanques bipartidos de 30m³ e um tanque de 3m³ para armazenamento de óleo, totalizando 8 tanques instalados. A comercialização se divide entre 5 ilhas de abastecimento com, ao todo, 11 bombas.

A caixa separadora de água e óleo instalada no posto é de fibra de vidro, e possui capacidade de 3m³/hora. O posto possui também um tanque de acumulação feito em alvenaria, com capacidade para 5m³.

A figura 40, apresenta o croqui das instalações do Posto B.

Figura 40 - Instalações Posto B



Fonte: G&D, 2014.

A Lei Complementar nº 125 de 2003, também é cumprida pelo Posto B que possui 1788,00m² de área aproximadamente.

5.3.3. ANÁLISE DO SOLO LOCAL

Para realização da sondagem do solo local foram escolhidos dois pontos distintos nomeados PM1 e PM2, em função do local de instalação da caixa SAO e do tanque de acumulação. A profundidade e a localização dos pontos seguem indicados na tabela 11.

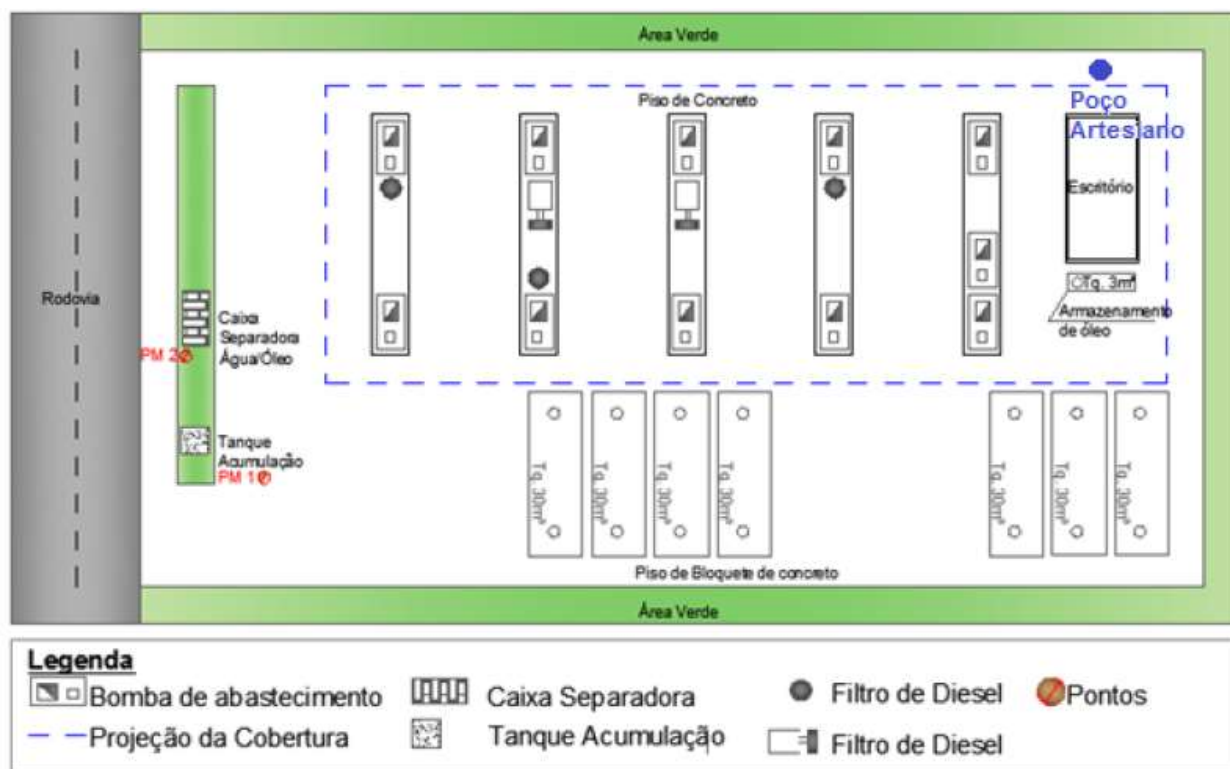
Tabela 11 - Informações técnicas e localização das sondagens

Pontos de Sondagem do Solo e Coleta de amostras			
Pontos	N.A.	Prof. (m)	Localização
PM1	10,10	12,00	A montante da Caixa SAO
PM2	10,40	12,00	A jusante da Caixa SÃO

Fonte: G&D, 2014.

A locação dos pontos pode ser observada na figura 41.

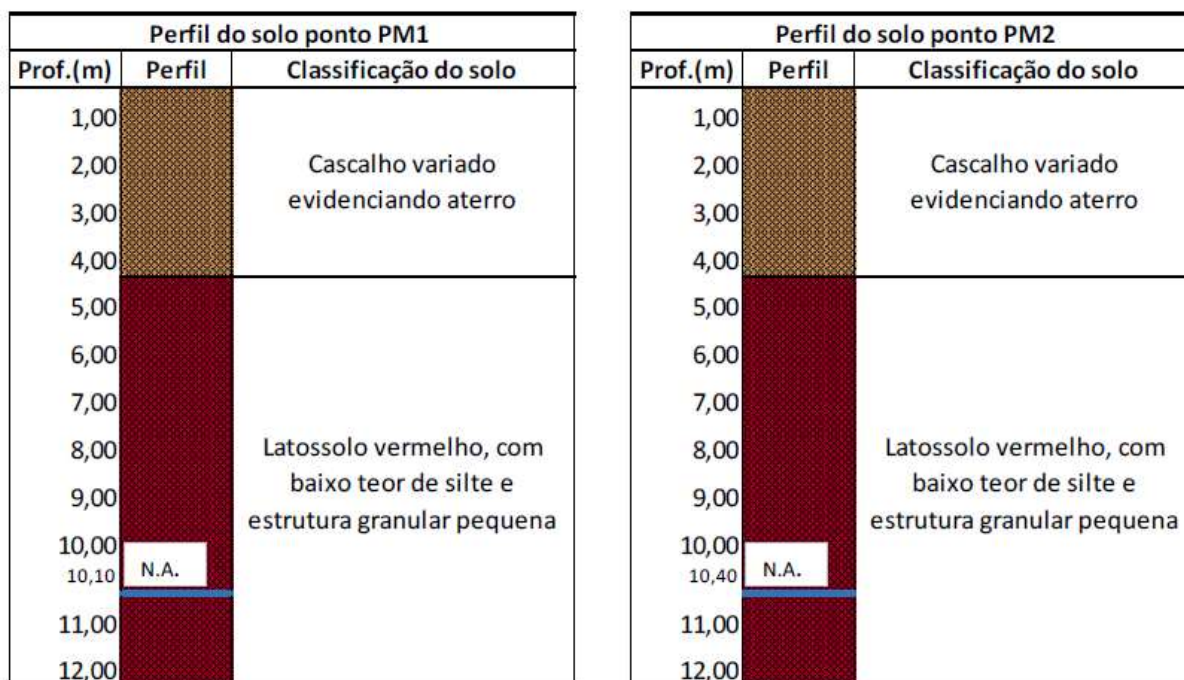
Figura 41 - Locação dos pontos PM1 e PM2 para sondagem



Fonte: G&D, 2014.

Através das sondagens executadas nos pontos PM1 e PM2, foi definido o perfil do solo nos pontos PM1 e PM2 conforme ilustra a figura 42.

Figura 42 - Perfil do solo Posto B



Fonte: G&D, 2014.

O nível 1, considerado entre 0 e 4 metros, é composto de solo heterogêneo, com grandes proporções de cascalho que evidenciam a características de solo usado para aterro. O nível 2, considerado entre 4 a 12 metros, é composto pelo Latossolo vermelho típico da região, com baixo teor de silte e estrutura granular pequena.

5.3.4. ANÁLISE DO FLUXO DE AGUA SUBTERRÂNEA

No Posto B assim como no Posto A, a análise do fluxo da água subterrânea foi realizada a partir do potencial hidráulico nos pontos PM01 e PM02 (Tabela12):

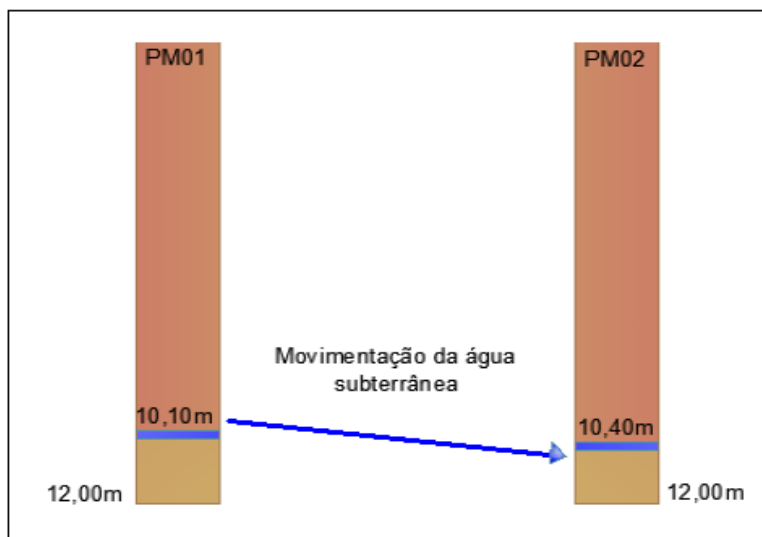
Tabela 12 - Cargas e potenciais hidráulicos

Dados para determinação do fluxo subterrâneo			
Pontos	Prof. (m)	N.A. (m)	C.A. (m)
PM01	12,00	10,10	1,90
PM02	12,00	10,40	1,60

Fonte: G&D, 2014.

O traçado do perfil dos poços de monitoramento instalados nos pontos PM01 e PM02 ilustra o sentido do fluxo da água subterrânea na figura 43.

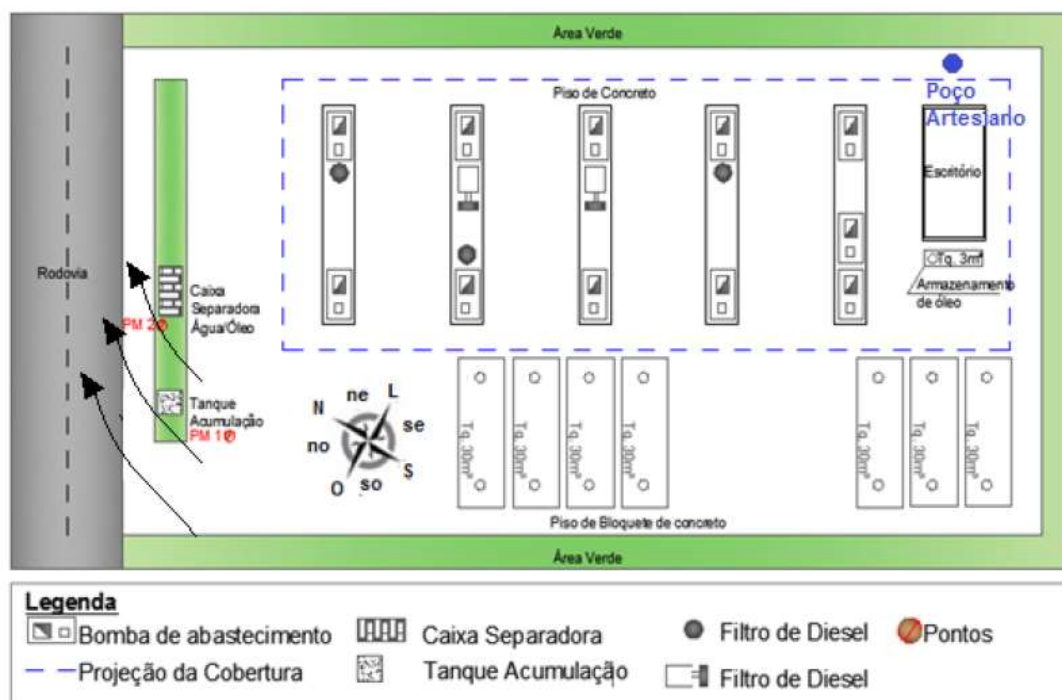
Figura 43 - Sentido da movimentação da água subterrânea



Fonte: G&D, 2014.

De acordo com a locação dos pontos no Posto B, a movimentação da água subterrânea é de Norte (N) para Sul (S) como ilustra a figura 44.

Figura 44 - Fluxo da água subterrânea



Fonte: G&D, 2014.

6. RESULTADOS OBTIDOS E PROVIDÊNCIAS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das avaliações das análises investigatórias e detalhadas, a Análise de Risco segundo a metodologia ACBR e, os Métodos de Remediação praticados no Posto A estudado e propostos para o Posto B.

A princípio a área de atuação dos Postos A e B, foram consideradas áreas de interesse pela existência de manipulação de substâncias cujos componentes químicos podem causar danos à saúde e ao meio ambiente.

Foram então realizadas as Avaliações Preliminares que resultaram em evidência de possível contaminação especialmente devido ao estado de conservação dos pisos próximos as bombas de abastecimento, tanques e caixas separadoras. Os receptores de qualquer possível contaminação do solo e da água subterrânea do posto, funcionários e população ao redor, não relataram o aparecimento de sintomas característicos de contaminação por hidrocarbonetos.

Classificadas ambos os postos então como AS, foram iniciados os procedimentos seguintes indicados no Manual de Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas, da CETESB de 2007.

6.1. POSTO A

6.1.1. INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

Em novembro de 2007, deu-se início a Investigação Confirmatória. As amostras de solo foram coletadas nos pontos onde foram realizadas as sondagens para definição do perfil do solo, a saber, PM1, PM2 PM3, PM4, PM5, PM6 e PM7.

Quanto à coleta das amostras de água subterrâneas, foram instalados poços de monitoramento nos pontos PM1, PM3, PM4 e PM5, como indica tabela 13.

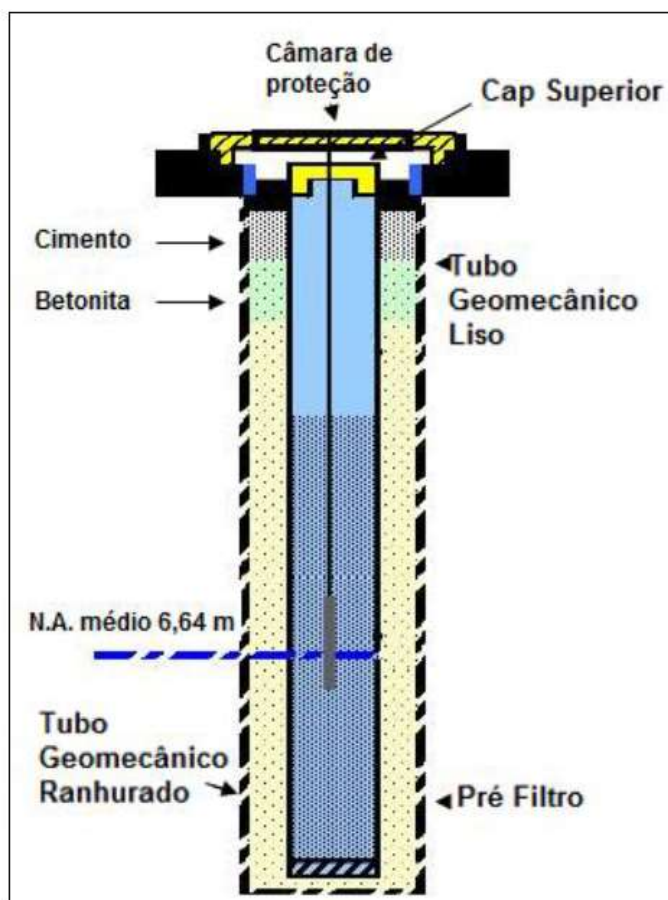
Tabela 13 - Informações técnicas dos poços de monitoramento

Poços de monitoramento		
Pontos	Prof. (m)	N.A.
PM01	7,50	6,65
PM03	7,02	6,24
PM04	6,63	5,92
PM05	6,96	6,22

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

A altura da coluna de água encontrada nos poços variou entre 0,855 e 0,710 altura de água essa considerada pequena devido a camada de material impenetrável à profundidade média de 7 metros. Os poços de monitoramento instalados foram executados conforme croqui ilustrado na figura 45.

Figura 45 - Perfil dos poços de monitoramento



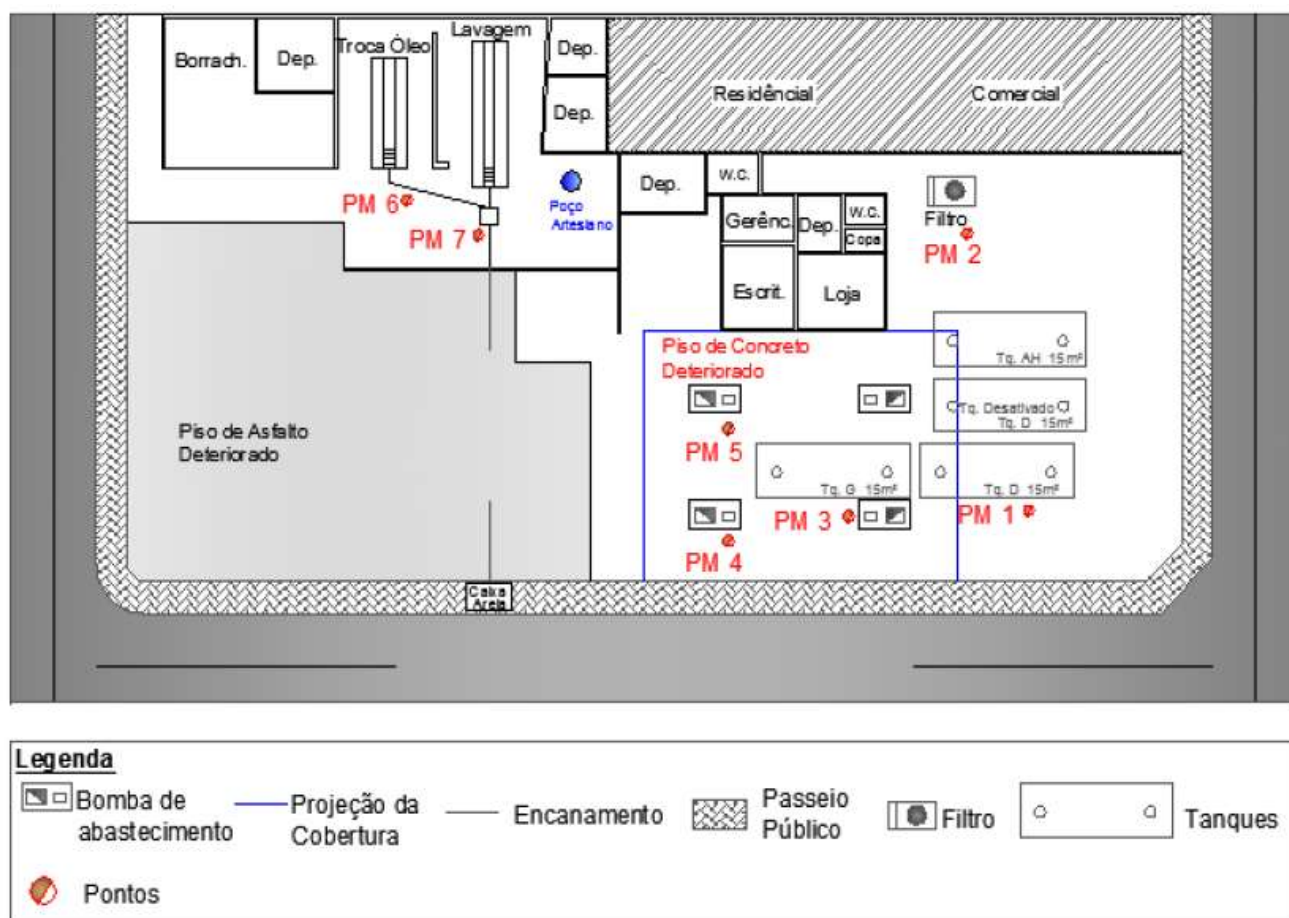
Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Os poços foram executados de acordo com as normas:

- NBR 13895: 1997. "Construção de poços de monitoramento e amostragem" e
- NBR 15495:2007. "Poços de Monitoramento em Aquíferos Granulares. Parte 1: Projeto e execução e Parte 2: Desenvolvimento".

A figura 46 apresenta a locação dos pontos onde foram coletadas amostras de solos e de água subterrânea para a Investigação Confirmatória.

Figura 46 - Locação dos pontos PM1 a PM7 - Investigação Confirmatória



Fonte: CBC Ambiental, 2008

A avaliação dos resultados das análises das amostras coletadas, comparadas com os V.I. para solos e águas subterrâneas, estabelecidos pela CETESB na Tabela de Valores Orientadores para Solos e Água Subterrânea no Estado de São Paulo de 2005, permitiu a identificação da presença ou ausência de contaminantes nas 3 fases características do LNAPL.

De acordo com Mariano (2006), a fase residual ou adsorvida, possui a presença de partículas de contaminantes retidas em pequenos grãos de solos. Nas amostras de solo coletadas nos pontos PM1,

PM2 PM3, PM4, PM5, PM6 e PM7 não foram detectados contaminantes e, portanto, encontram-se livres de contaminação em fase adsorvida.

Em relação a presença de fase livre, que segundo Miller (2001) é localizada logo acima no nível freático, as amostras de solo coletadas no nível freático também apresentaram a ausência de contaminantes estando, portanto, os 7 pontos analisados isentos também de fase livre.

As amostras de água coletadas, apresentaram a presença de contaminantes, em valores acima dos toleráveis, permitindo concluir então a existência de contaminação em fase dissolvida. Os pontos onde os valores toleráveis de concentração de contaminantes em água subterrânea foram extrapolados foram:

- Ponto PM3 - onde a amostra de água indicou alta concentração de Benzeno e Xilenos Totais;
- Ponto PM4 – onde a amostra de água indicou alta concentração de Benzeno e;
- Ponto PM5 - onde a amostra de água indicou alteração em todos os parâmetros de BTEX.

Os resultados das análises das amostras de água subterrânea, que apresentaram presença de fase dissolvida de LNAPL, reclassificam a área do Posto A como AC. Através da avaliação da Investigação Confirmatória foi observada a similaridade entre a classe dos contaminantes, sendo todos pertencentes ao grupo dos BTEX, que são os hidrocarbonetos mono-aromáticos provenientes na gasolina.

6.1.2. INVESTIGAÇÃO DETALHADA

Seguindo os procedimentos do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB de 2007, a seguinte etapa a ser seguida foi a realização da Investigação Detalhada com o objeto de quantificar e delimitar a contaminação. Essa investigação ocorreu em outubro de 2008 e realizou a coleta de amostras de solo e de água em 7 pontos distintos aos da Investigação Confirmatória, nomeados PM8, PM9, PM10, PM11, PM12, PM13 e PM14 indicados na tabela 14.

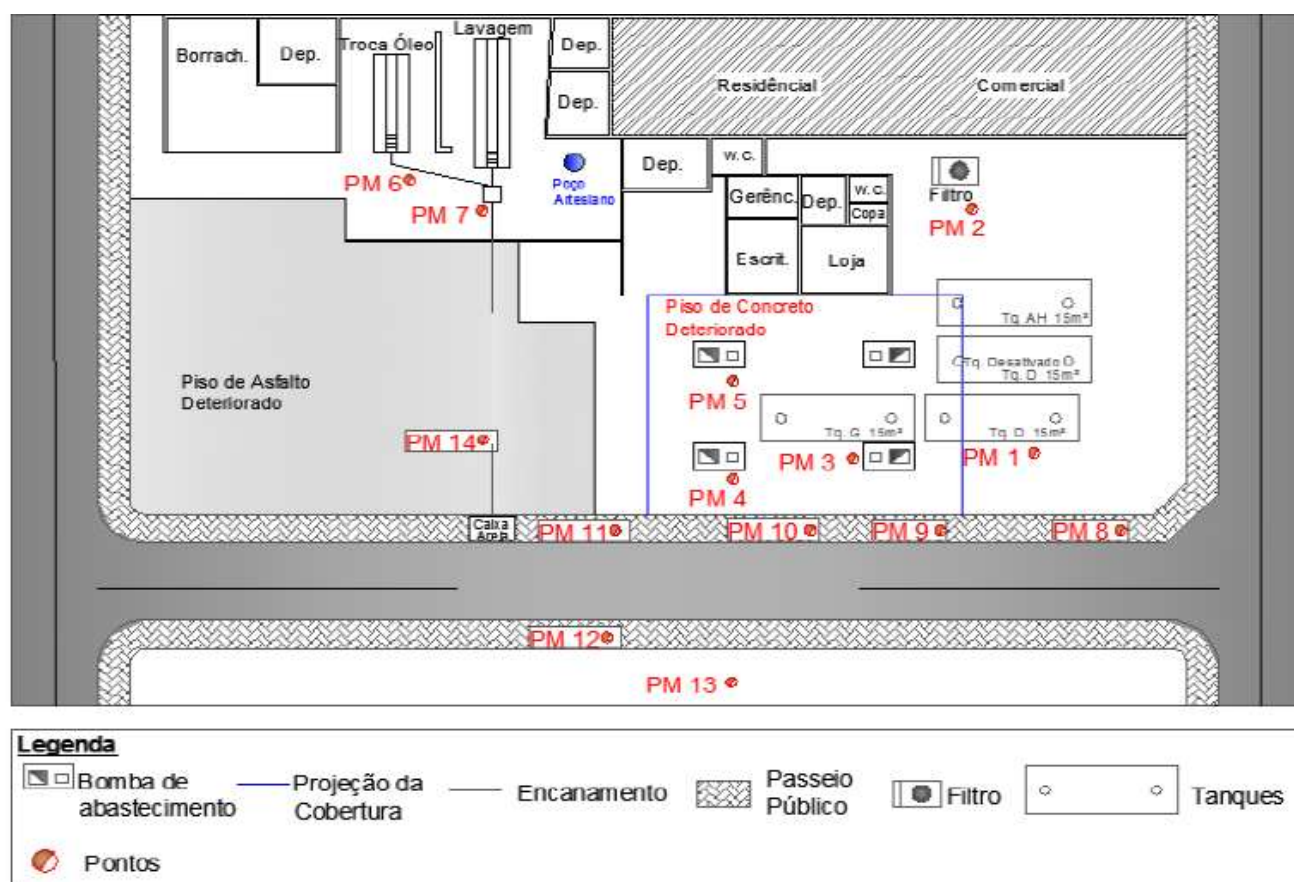
Tabela 14 - Informações técnicas e localização das sondagens

Sondagens realizadas		
Pontos	Prof. (m)	Localização
PM08	5,94	Passeio
PM09	5,95	Passeio
PM10	5,95	Passeio
PM11	5,95	Passeio
PM12	5,94	Passeio
PM13	5,94	Quadra adjacente
PM14	5,94	Piso de asfalto deteriorado

Fonte: CBC Ambiental, 2008

Após a coleta das amostras de solo, foram instalados 7 poços de monitoramento nos pontos executados para a sondagem, conforme a figura 47.

Figura 47 - Locação dos pontos PM8 a PM14 - Investigação Detalhada



Fonte: CBC Ambiental, 2008

Em cada ponto foram coletadas 2 amostras, pois segundo o roteiro de procedimentos da Investigação Detalhada da CETESB de 2007:

“Em cada sondagem devem ser obtidas pelo menos duas amostras de solo, sendo uma na profundidade de maior leitura de VOC e a outra na franja capilar, devendo ambas serem encaminhadas para determinação dos compostos de interesse.”

Os resultados obtidos na análise das amostras de solo para os parâmetros BTEX seguem descritos nas tabelas 15 e 16:

Tabela 15 - Resultados analíticos amostras solos-BTEX

BTEX	LQ em mgKg-1	Amostras						V.I.
		PM8		PM9		PM10		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Benzeno	3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	32,540	80
Tolueno	2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	149,536	30000
m, p - xileno	4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	653,970	X
o - xileno	2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	220,678	X
Xileno total	X	X	X	X	X	X	874,648	30000
Etilbenzeno	1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	222,288	40000
BTEX Total	X	X	X	X	X	X	1279,011	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

 Presença de contaminantes

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

No ponto PM10 a 7 metros, foi identificada a presença do grupo BTEX. A concentração apareceu em valores altos suficientes para que pudessem ser quantificadas, L.Q., porém, muito abaixo dos V.I. não sendo necessária então atitudes de remediação, apenas monitoramento.

Tabela 16 - Resultados analíticos amostras solos-BTEX

BTEX	LQ em mgKg ⁻¹	Amostras								V.I.
		PM11		PM12		PM13		PM14		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Benzeno	3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	80
Tolueno	2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	30000
m, p- xileno	4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	X
o - xileno	2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	X
Xileno total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	30000
Etilbenzeno	1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	40000
BTEX Total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Os pontos PM8, PM9, PM11, PM12, PM13 e PM14 não apresentaram valores de concentração suficiente para que pudesse ser confirmada a presença de contaminantes no solo, portanto, abaixo do L.Q.

As tabelas 17 e 18 apresentam a análise da concentração dos HPA no solo:

Tabela 17 - Resultados analíticos amostras solos-HPA

PAH	LQ em mgKg ⁻¹	Amostras						V.I.
		PM8		PM9		PM10		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Naftaleno	23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	60000
Acenaftileno	27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	X
Acenafteno	13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	X
Fluoreno	27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	X
Fenantreno	34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	40000
Antraceno	37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	X
Fluoranteno	10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	X
Pireno	26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	X
Benzo (a) Antraceno	22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	20000
Criseno	10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	X
Benzo (b) Fluoranteno	17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	X
Benzo (k) Fluoranteno	28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	X
Benzo (a) Pireno	14,58	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	1500
Indeno (1, 2, 3) Pireno	18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	25000
Dibenzeno (a, h) Antraceno	13,29	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	600
Benzo (g, h, i) Perileno	30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	X
PAH Total	X	X	X	X	X	X	X	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Tabela 18 - Resultados analíticos amostras solos-HPA

PAH	LQem mgKg-1	Amostras								V.I.
		PM11		PM12		PM13		PM14		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Naftaleno	23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	60000
Acenaftileno	27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	X
Acenafteno	13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	X
Fluoreno	27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	X
Fenantreno	34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	40000
Antraceno	37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	X
Fluoranteno	10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	X
Pireno	26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	X
Benzo (a) Antraceno	22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	20000
Criseno	10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	X
Benzo (b) Fluoranteno	17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	X
Benzo (k) Fluoranteno	28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	X
Benzo (a) Pireno	14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	1500
Indeno (1, 2, 3) Pireno	18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	25000
Dibenzeno (a, h) Antraceno	13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	600
Benzo (g, h, i) Perileno	30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	X
PAH Total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Como pode ser observado nas tabelas 17 e 18, não foram identificadas a presença de contaminantes. Em todos os pontos os resultados mantiveram-se abaixo dos L.Q.

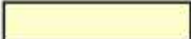
Os resultados das análises das amostras de água subterrânea para os parâmetros BTEX, segue descrito na tabela 19:

Tabela 19 - Resultados analíticos amostras água-BTEX

BTEX	LQ em mgKg ⁻¹	Amostras						V.I.
		PM8	PM9	PM10	PM11	PM13	PM14	
Benzeno	0,800	<0,800	68,859	15,025	<0,800	<0,800	<0,800	5
Tolueno	0,402	<0,402	<0,402	24,143	<0,402	<0,402	<0,402	700
m, p - xileno	0,896	<0,896	2,046	304,318	<0,896	<0,896	<0,896	X
o - xileno	0,519	<0,519	2,543	149,319	<0,519	<0,519	<0,519	X
Xileno total	X	X	4,589	453,637	X	X	X	500
Etilbenzeno	0,361	<0,361	<0,361	30,007	<0,361	<0,361	<0,361	300
BTEX Total	X	X	73,448	522,812	X	X	X	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

 Presença dos contaminantes

 Valores extrapolados

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Os pontos PM9 e PM10 apresentaram concentração de Benzeno acima dos V.I. e, apesar dos demais integrantes do grupo BTEX estarem abaixo dos V.I. foram constatados em intensidade suficiente para serem quantificados.

Por fim, a tabela 20 apresenta os resultados obtidos na análise dos HPA em amostras de água subterrânea:

Tabela 20 - Resultados analíticos amostras água-HPA

PAH	LQ em mgKg ⁻¹	Amostras					V.I.
		PM8	PM9	PM10	PM11	PM13	
Naftaleno	0,155	3,235	3,809	22,609	0,155	0,155	140
Acenaftileno	0,108	1,268	0,575	0,473	0,108	0,108	X
Acenafteno	0,239	0,239	0,239	0,479	0,239	0,239	X
Fluoreno	0,146	0,146	0,146	0,360	0,146	0,146	X
Fenantreno	0,238	8,340	10,348	0,238	0,238	0,238	140
Antraceno	0,253	0,253	0,560	0,253	0,253	0,253	X
Fluoranteno	0,270	18,064	10,414	0,270	0,270	0,270	X
Pireno	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229	X
Benzo (a) Antraceno	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	1,75
Criseo	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	X
Benzo (b) Fluoranteno	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	X
Benzo (k) Fluoranteno	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	X
Benzo (a) Pireno	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,7
Indeno (1, 2, 3) Pireno	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,17
Dibenzeno (a, h) Antraceno	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,18
Benzo (g, h, i) Perileno	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	X
PAH Total	X	30,906	25,706	23,921	X	X	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

 Presença dos contaminantes

Fonte: CBC Ambiental, 2008.

A avaliação dos resultados das análises dos parâmetros de HPA para águas subterrâneas apresentaram concentração nos pontos PM8 para Naftaleno, Acenaftileno, Fenantreno e Fluoranteno; PM9 para Naftaleno, Acenaftileno, Fenantreno e Antraceno; e PM10 para Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno e Fluoreno. Apesar da presença dos HPA, todos encontraram-se em valores abaixo dos V.I.

Não foi possível a análise da água subterrânea no ponto PM12 devido à falta de água armazenada no poço no momento da coleta. No ponto PM14 devido ao baixíssimo volume de água foi possível a avaliação somente dos parâmetros BTEX.

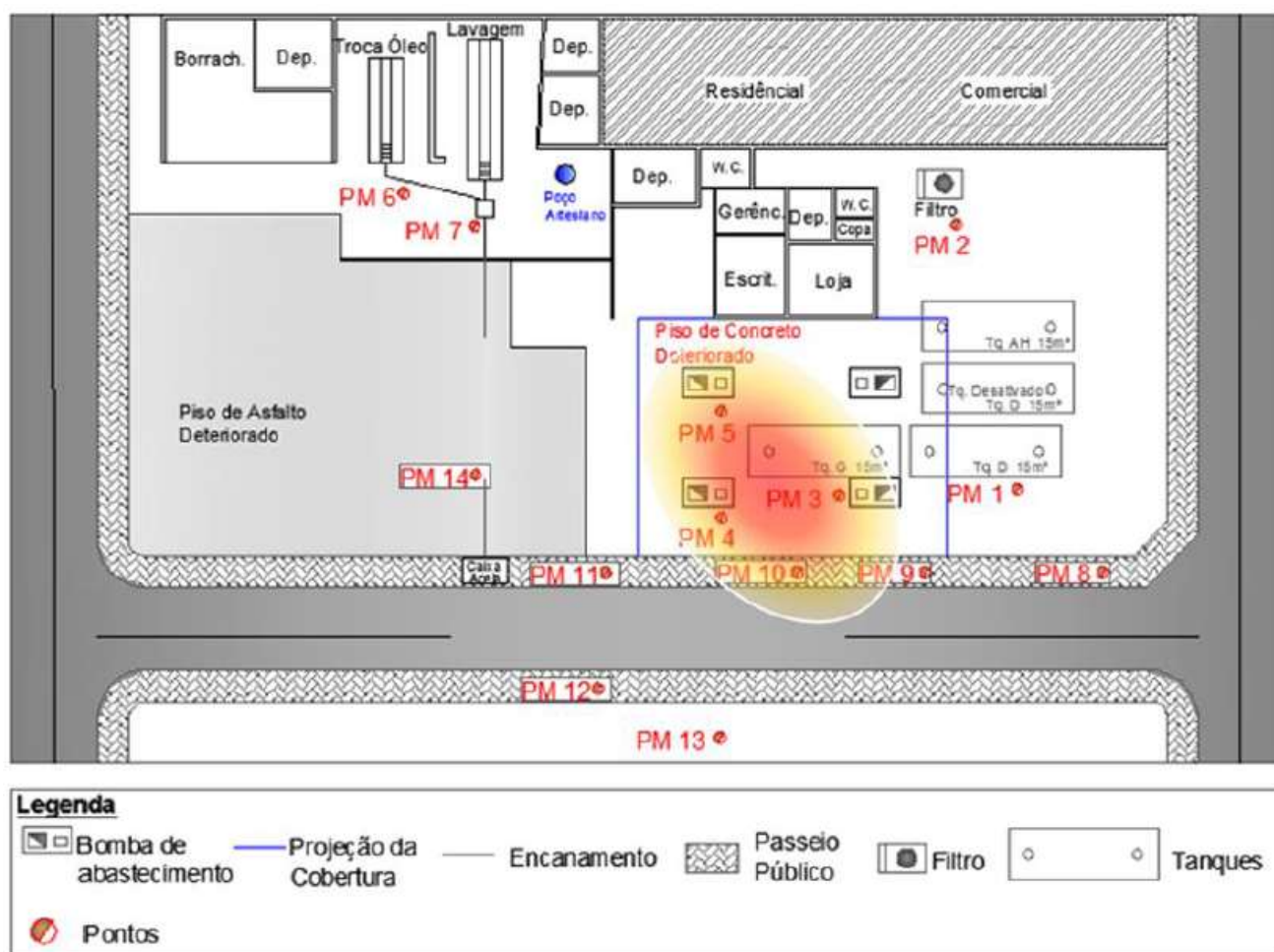
Segundo Corseuil e Marins (1998), os hidrocarbonetos mono-aromáticos, BTEX, possuem características diferentes dos HPA como por exemplo grande capacidade de mobilidade, infiltração, dissolução e maior número de ocorrências de contaminação em fase livre e dissolvida. A avaliação da Investigação Detalhada confirmou essas características observando a presença dos BTEX nas amostras de solo coletadas logo acima do nível de água no ponto PM10, portanto presença de fase livre e, nas amostras de água nos pontos PM9 e PM10, presença de fase dissolvida. Os HPA apesar das baixíssimas concentrações detectadas também foram identificados nas amostras de água nos pontos PM8, PM9 e PM10.

Agregando aos resultados da Investigação Confirmatória, a Investigação Detalhada e, o relato de significativa perda de combustível detectado nas bombas de abastecimento de óleo diesel, pode se concluir que a parte mais significativa da contaminação é proveniente do vazamento de gasolina, devido à identificação de hidrocarbonetos mono-aromáticos, BTEX e, secundariamente de óleo diesel devido à identificação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, HPA. Esse tipo de contaminação, tem potencial para atingir extensas áreas devido à alta capacidade de mobilidade dos BTEX.

6.1.3. DELIMITAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO

O estudo do fluxo da água subterrânea local realizado permitiu concluir que a movimentação ocorre de Sudeste (SE) para Noroeste (NO) ou seja, da área de atuação do Posto A para as vias públicas. Agregando-se a essa informação o resultado da Investigação Confirmatória que, indicou a presença de contaminantes nos pontos PM3, PM4 e PM5, e da Investigação Detalhada que indicou a presença de contaminantes em PM9 e PM10 foi possível a delimitar a pluma de contaminação como ilustra a figura 48.

Figura 48 - Delimitação da pluma de contaminação



Fonte: CBC Ambiental, 2008.

A fim de determinar em qual período de tempo os contaminantes podem atingir os limites do Posto A, foi determinado o gradiente hidráulico, i , que é a razão entre a diferença do potencial hidráulico entre dois pontos e a distância entre esses (1).

$$i = \frac{(PH_1 - PH_2)}{D_{1-2}}$$

PH-Potencial Hidráulico (m)
i-Gradiente Hidráulico (m/m)
D-Distância (m)

(1)

Foram escolhidos os pontos PM03 e PM05, cuja diferença do potencial hidráulico foi igual a 1,075 metros e a distância de 23 metros, resultando em um gradiente igual a 0,047m/m.

Em seguida para a determinação do coeficiente de permeabilidade, k , foi realizado o Teste de Rebaixamento que, consiti na rápida mudança do nível de água provocada pelo rebaixamento do

mesmo, e medição do tempo de recuperação para que a água atinja o nível original. Esse cálculo foi realizado pelo método de Hvorslev, que trata os dados obtidos no teste a partir da equação (2):

$$K = \frac{r^2 \times \ln (l/R)}{2 L T_0}$$

K - Permeabilidade (m/s)
 r - Raio do tubo (m)
 l - Comprimento do filtro (m)
 R - Raio da perfuração (m)
 T₀ - Tempo (s)

(2)

O coeficiente de permeabilidade está relacionado à maior ou menor facilidade com que a água percola um meio poroso e, nos três pontos onde foi calculado PM03, PM05 e PM09 atingiu os valores de: $9,32 \times 10^{-6}$ m/s, $8,56 \times 10^{-6}$ m/s e $9,89 \times 10^{-6}$ m/s respectivamente.

Por fim foi realizado o cálculo da velocidade do fluxo, V (3).

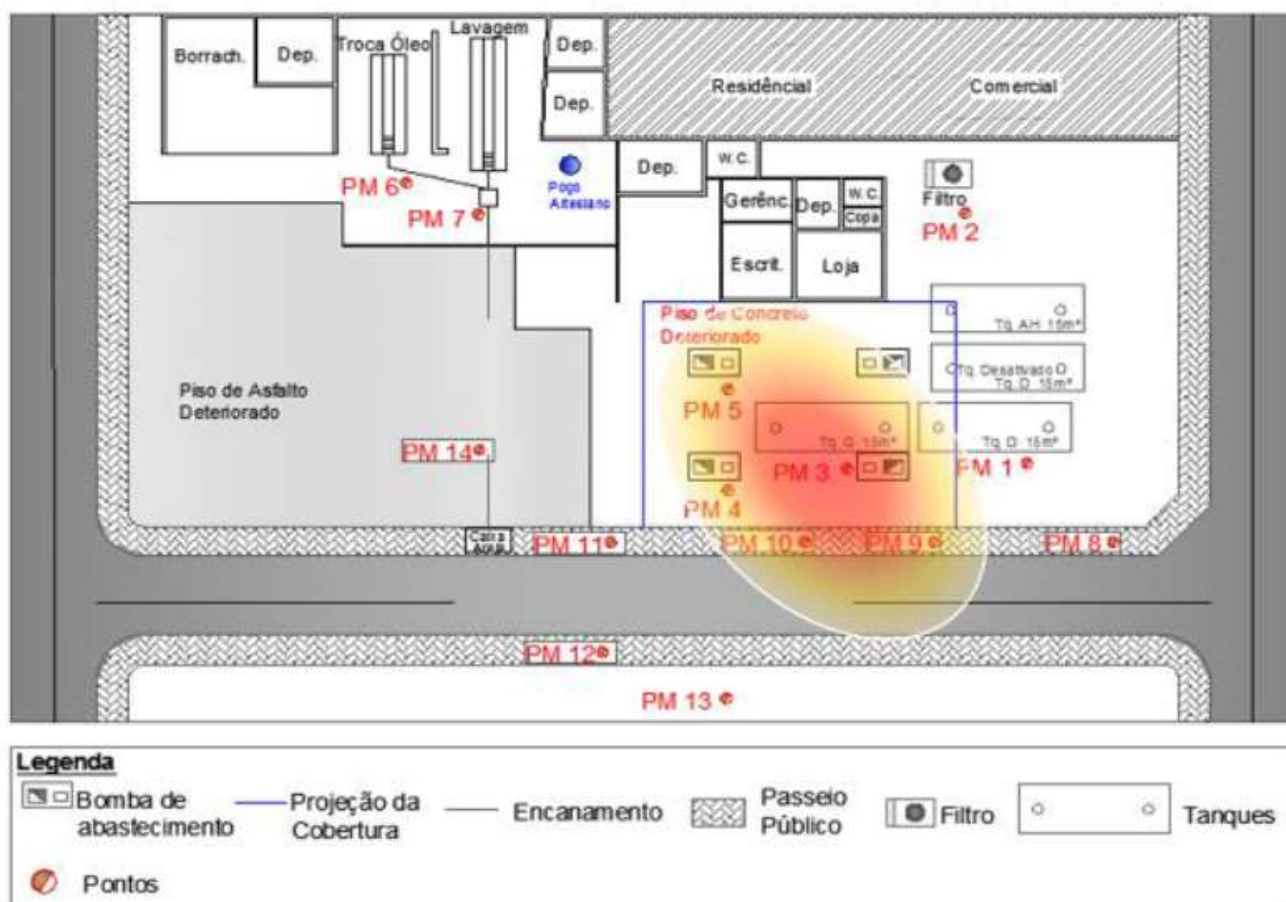
$$V = \frac{Ki}{Ne}$$

V - Velocidade do fluxo (m/s)
 K - Permeabilidade (m/s)
 i - Gradiente Hidráulico
 Ne - Porosidade efetiva (%)

(3)

As velocidades resultantes foram 0,491m/ano, 0,451m/ano e 0,521m/ano para os pontos PM03, PM05 e PM09 respectivamente, concluindo-se assim que, dentro de 5 anos a pluma de contaminação começaria a atingir as áreas limítrofes ao Posto A, como ilustra a figura 49.

Figura 49 - Estimativa da extensão da pluma de contaminação

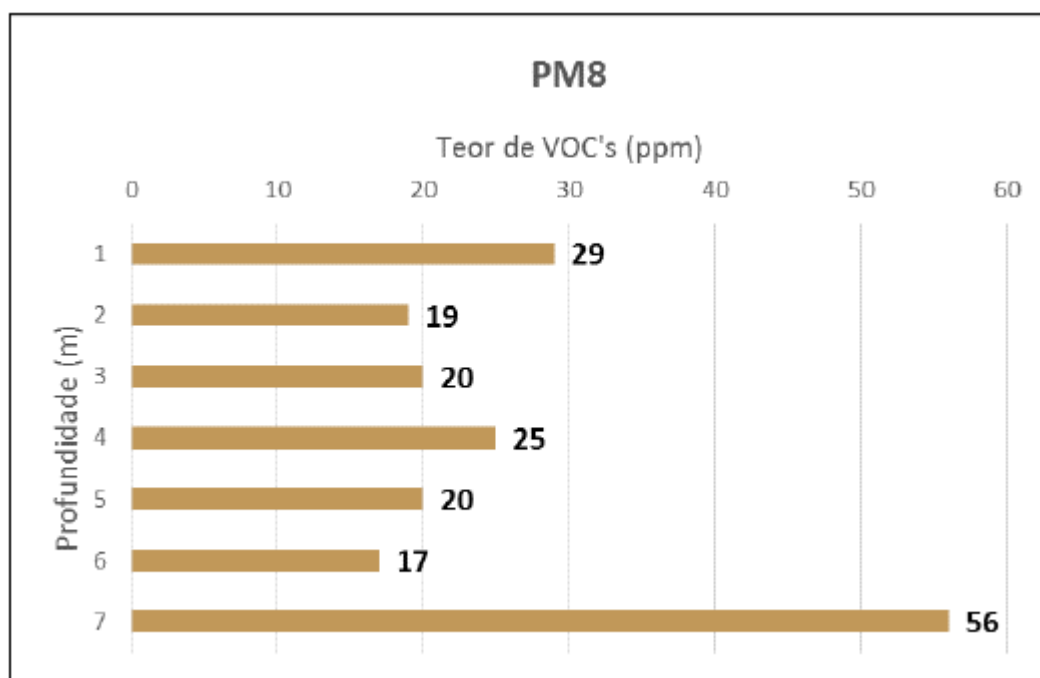


6.1.4. ANÁLISE DE VOC'S

Por possuir uma área total maior que 1.000m² se fez necessária também a medição de contaminantes em fase de vapor no solo, a cada metro, conforme o manual de Procedimentos para avaliação de gases no solo, do sistema de licenciamento de postos, da CETESB, 2006^a.

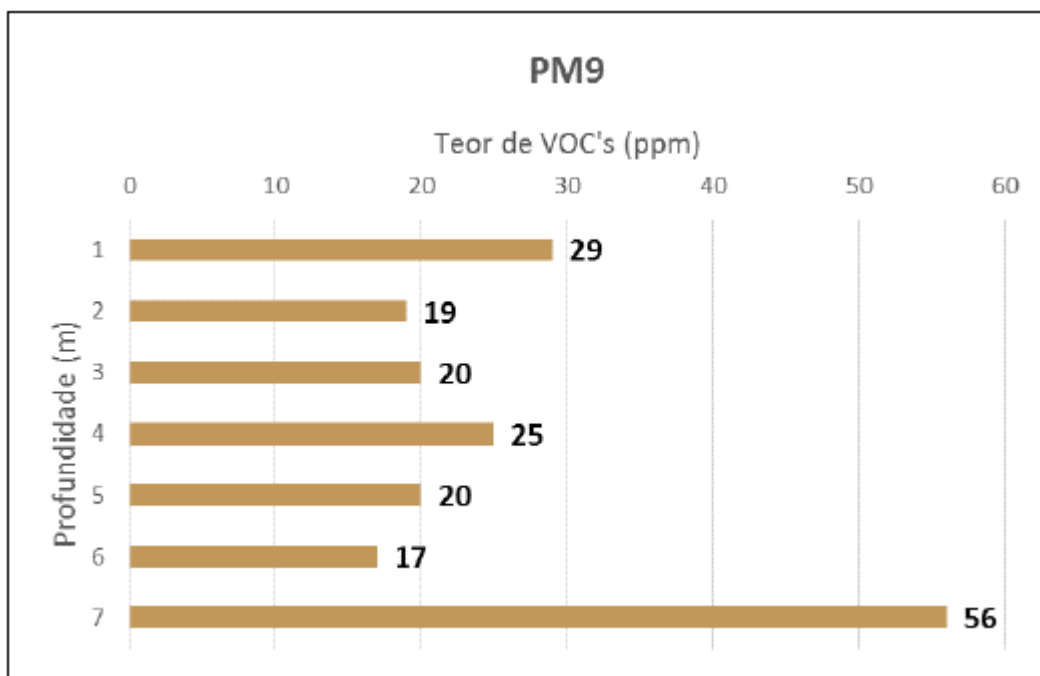
As concentrações de contaminantes em fase de vapor também estão representadas nas figuras 50 a 56.

Figura 50 - Medição de VOC's em PM8



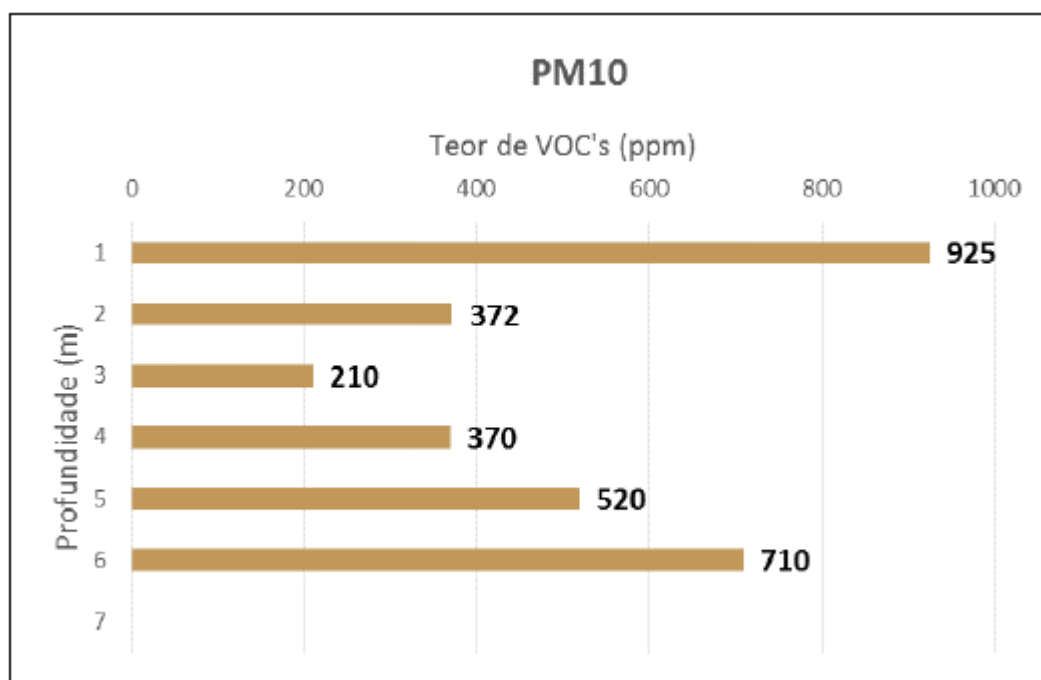
Fonte: CBC Ambiental, 2008

Figura 51 - Medição de VOC's em PM9



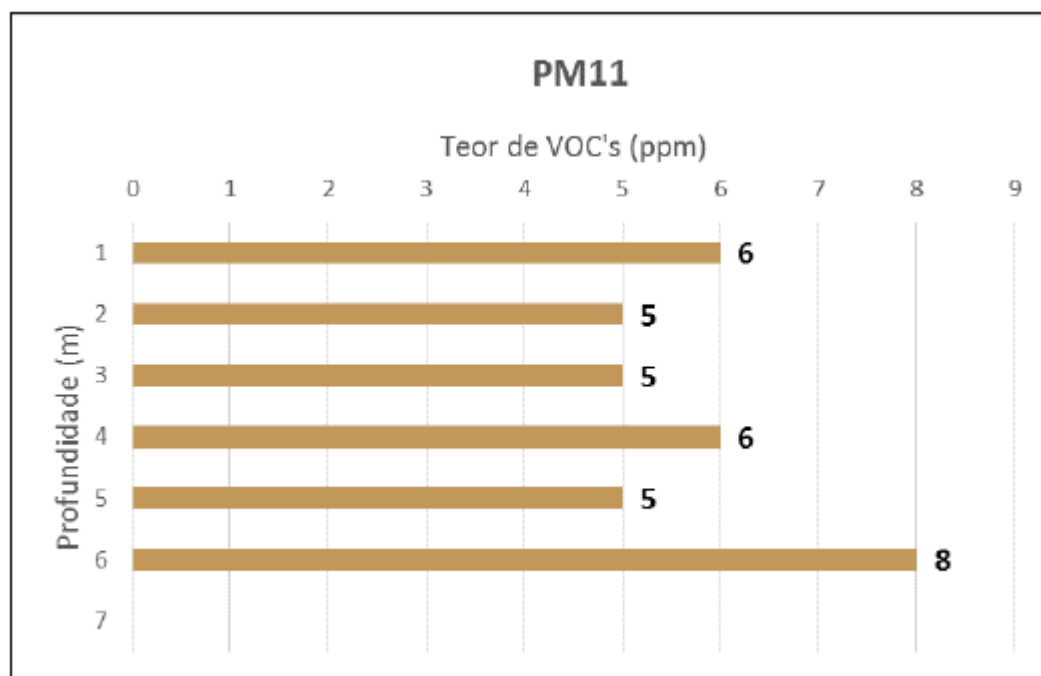
Fonte: CBC Ambiental, 2008

Figura 52 - Medição de VOC's em PM10



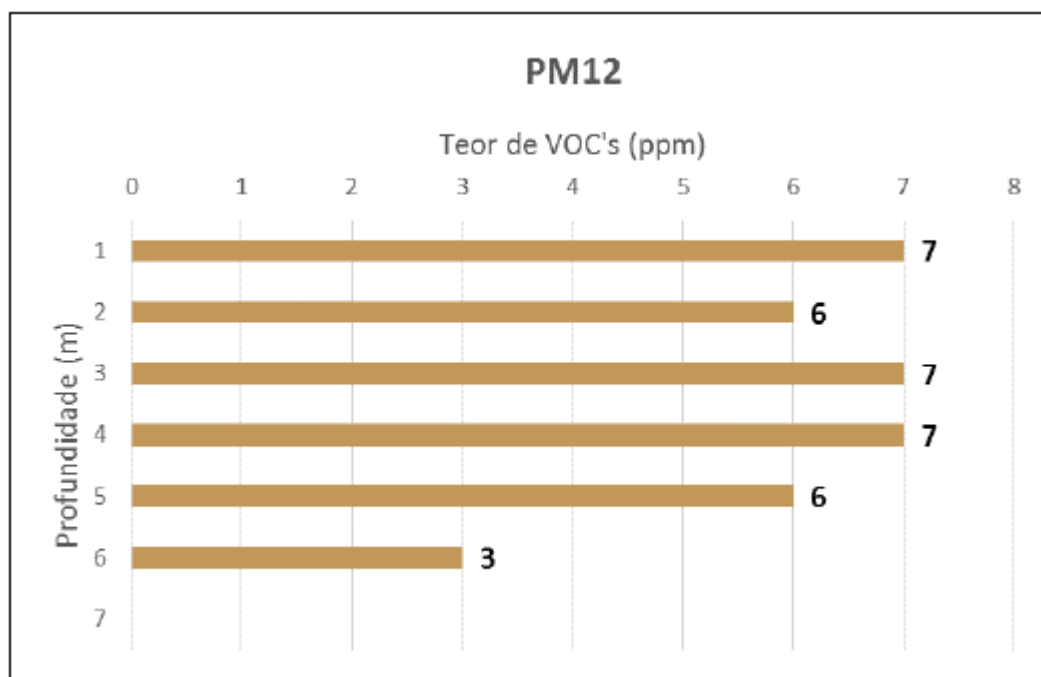
Fonte: CBC Ambiental, 2008

Figura 53 - Medição de VOC's em PM11



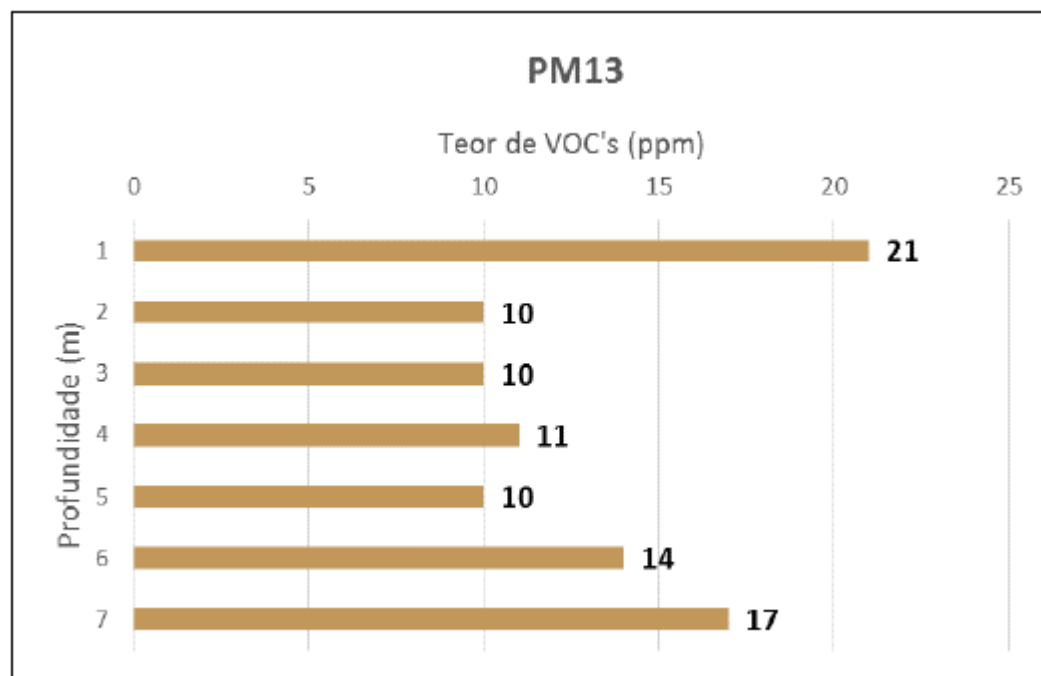
Fonte: CBC Ambiental, 2008

Figura 54 - Medição de VOC's em PM12



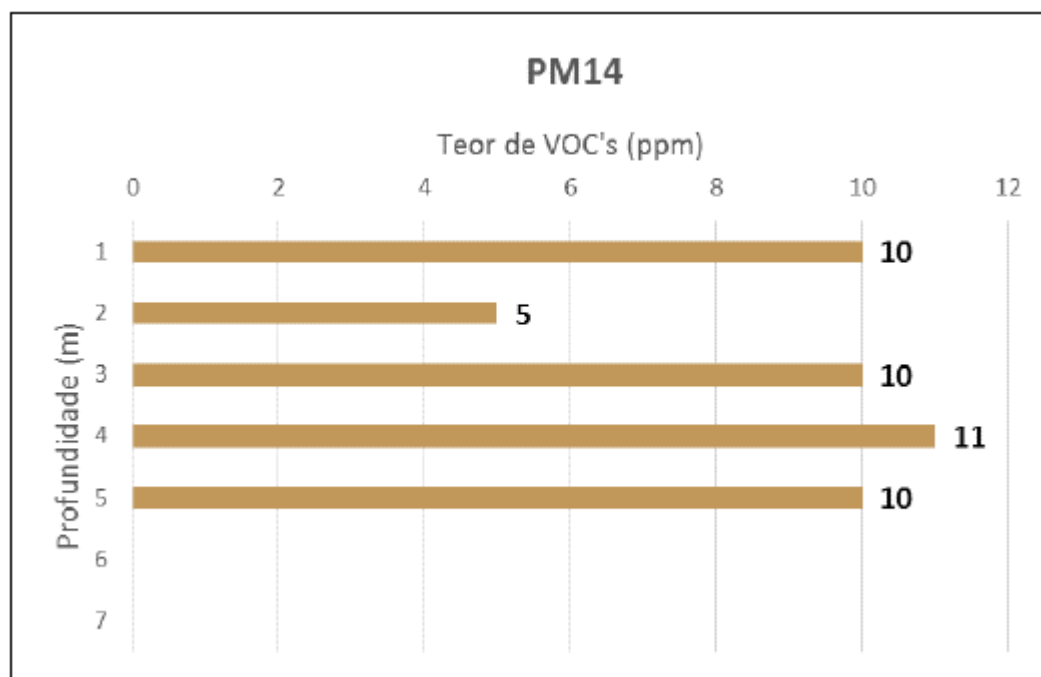
Fonte: CBC Ambiental, 2008

Figura 55 - Medição de VOC's em PM13



Fonte: CBC Ambiental, 2008

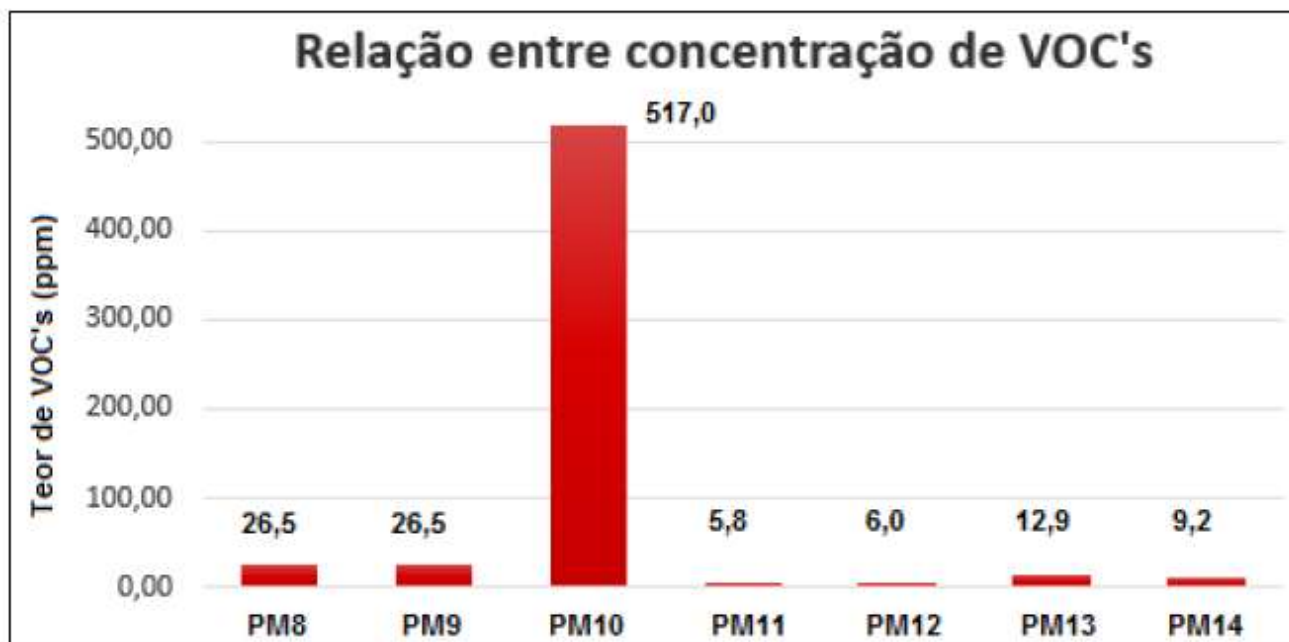
Figura 56 - Medição de VOC's em PM14



Fonte: CBC Ambiental, 2008

A figura 57 representa a maior concentração de VOC's em PM10.

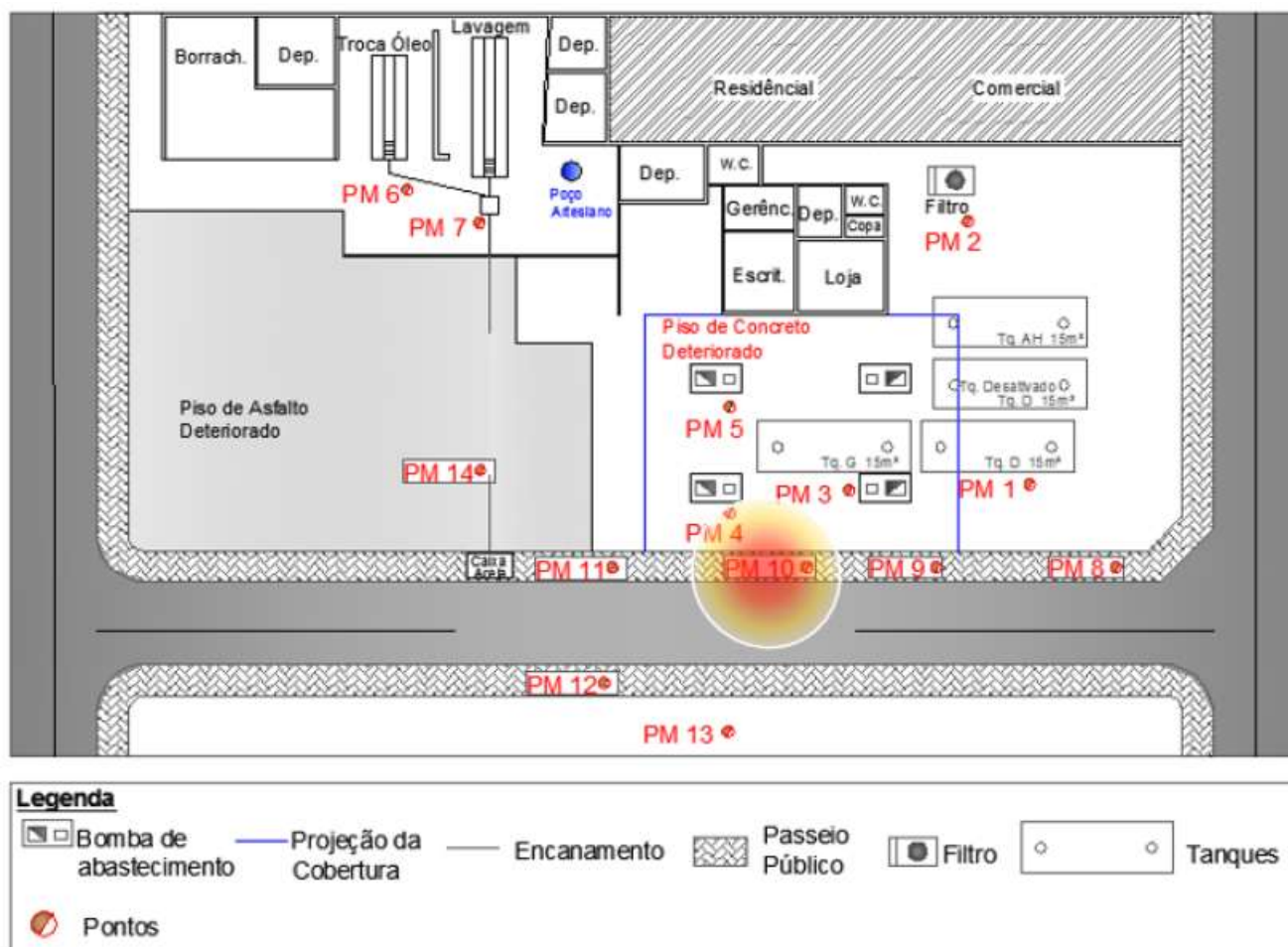
Figura 57 - Relação da concentração de VOC's nos pontos PM8 a PM14



Fonte: CBC Ambiental, 2008.

A figura 58 ilustra a pluma de contaminação de VOC's com maior intensidade em PM10.

Figura 58 - Delimitação pluma de VOC's



Fonte: CBC Ambiental, 2008. Adaptado.

6.1.5. ANÁLISE DE RISCO

Para execução dessa avaliação, a metodologia usada é a de Ações Corretivas Baseadas no Risco, ACBR. Segundo essa metodologia para que ocorra um efeito adverso à saúde humana são necessários três elementos: a fonte de contaminação, o receptor e a duração da exposição (CETESB, 2006b).

Como fonte de contaminação em postos de abastecimento de combustíveis tem-se os diversos fatores responsáveis pelos derrames e vazamentos de combustíveis no solo. Como SQI tem-se o grupo dos HTP que se encontram presentes nos combustíveis comercializados a saber o grupo BTEX e HPA. Como receptores potenciais são considerados os indivíduos residentes no local da AC, residentes próximos à AC e possíveis residentes futuros.

A análise de risco realizada para o Posto A, foi baseada na metodologia de Ações Corretivas Baseadas no Risco, ACBR, de acordo com o Sistema de Licenciamento de Postos de Abastecimento da CETESB

de 2006b. O nível de classificação foi considerado o nível 2, “Vazamento de proporção intermediária, de abrangência regional, que requer o apoio de diferentes empresas e instituições, e agências governamentais”.

O levantamento dos aspectos físicos da região, aspectos físicos do posto, histórico de vazamentos e histórico operacional permitiu a definição dos três elementos causadores de efeitos adversos a saúde humana a saber, a fonte de contaminação, o receptor e a duração da exposição.

Como receptores foram considerados os funcionários do próprio posto, funcionários dos estabelecimentos comerciais da área do entorno e a população residente próxima ao posto.

Quanto as vias de exposição foram identificadas para os solos: a ingestão do solo ou de alimentos plantados sobre esse e contato dérmico. E para as águas: ingestão da água subterrânea (inclusive a vinda do poço artesiano) e contato dérmico.

Os possíveis cenários e interpretações foram estabelecidos conforme tabela 21:

Tabela 21 - Possíveis cenários de contaminação

Cenário	Probabilidade de ocorrência	Interpretação
Contato dérmico, ingestão e inalação de partículas do solo superficial por funcionários do posto	Não	Concentrações de hidrocarbonetos abaixo do limite
Contato dérmico, ingestão e inalação de partículas do solo superficial, por trabalhadores do entorno	Não	Concentrações de hidrocarbonetos abaixo do limite
Ingestão de água subterrânea por trabalhadores e população do entorno	Não	A região do entorno do posto é abastecida pela rede pública
Ingestão de água subterrânea por funcionários do posto	Não	O posto é abastecido pela rede pública
Contato dérmico com a água subterrânea por funcionários do posto	Sim	Poço artesiano usado para serviços de limpeza. Confirmada a presença de hidrocarbonetos na água
Contato dérmico com a água subterrânea por trabalhadores e população do entorno	Sim	Poço artesiano usado para serviços de limpeza. Confirmada a presença de hidrocarbonetos na água

Apesar do município de Itai possuir rede de abastecimento público de água pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP, o levantamento do Ministério da Saúde, realizado em 2013, detectou cerca de 9 famílias abastecidas por poços artesanais no município. A porcentagem da população municipal abastecida por esses poços é da ordem de 0,4% segundo o Ministério da Saúde. Apesar de significativamente inferior à média nacional de 18,3%, a avaliação de dados de anos anteriores pode facilmente identificar uma estagnação no processo de abrangência das famílias restantes, uma vez que este número de 9 famílias permanece o mesmo desde o ano de 2010.

Dessa forma, ainda que o Posto A e os estabelecimentos e residências do entorno recebam água por meio do abastecimento público, foi avaliada a distância entre os possíveis receptores e os pontos críticos para cada parâmetro em relação ao poço artesanal conforme tabela 22.

Tabela 22 - Distâncias críticas

Parâmetros	Pontos Críticos	Distância (m)		
		Recep. Residencial	Recep. Comercial	Poço Artesanal
Benzeno	PM09	23,50	14,80	35,10
	PM10	22,90	13,70	32,35

Vale salientar que devido à intensa atividade agrícola da região, a análise de risco para os cenários de ingestão de partículas de solo contaminado e contato dérmico deve ser feita regularmente a fim de prevenir exposição a contaminantes.

6.1.6. MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO EXECUTADOS

Sete meses após a Investigação Detalhada antes, de dar início ao processo de remediação, uma nova análise de amostras de solo e água subterrânea foi realizada a fim de confirmar a presença dos contaminantes. Diferentemente da Investigação Confirmatória esse ciclo de análise também apresentou presença do grupo BTEX em fase dissolvida nas amostras de água dos pontos PM11 e PM13. O resumo dos pontos comprometidos segue descrito nas tabelas 23 e 24:

Tabela 23 - Estado de contaminação do solo local

Amostras de solo			
Ponto	Parâmetro		Situação
	BTEX	HPA	
PM3	ND	ND	Ausente
PM4	ND	ND	Ausente
PM5	ND	ND	Ausente
PM9	ND	ND	Ausente
PM10	X	ND	Confirmada a presença
PM11	ND	ND	Ausente
PM13	ND	ND	Ausente

ND: Não detectado

Tabela 24 - Estado de contaminação da água subterrânea local

Amostras de água subterrânea			
Ponto	Parâmetro		Situação
	BTEX	HPA	
PM3	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM4	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM5	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM9	X	X	Btex acima dos V.I., presença de HPA
PM10	X	X	Btex acima dos V.I., presença de HPA
PM11	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM13	X	ND	BTEX acima dos V.I.

ND: Não detectado

Em junho de 2009 foi iniciado então o processo de remediação, pela empresa A, com o objetivo de tornar a área de atuação do posto uma Área Reabilitada para Uso Declarado, AR.

A princípio foi realizado o tamponamento do poço artesiano de modo a evitar que os possíveis cenários de risco traçados na Análise de Risco se concretizassem afetando a saúde de funcionários e a população do entorno.

Segundo o relatório de Procedimentos para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, da CETESB de 2007, fonte primária de contaminação é a instalação e/ou material a partir dos quais os contaminantes

se originam, foram ou estão sendo liberados para os meios impactados e a fonte secundária de contaminação é o meio impactado por contaminantes provenientes da fonte primária, a partir do qual outros meios são impactados.

O relato da perda de óleo diesel detectado nas bombas de abastecimento juntamente com a presença de HPA dissolvidos na água subterrânea justificam a remoção do tanque de armazenamento de óleo diesel como suspeita de fonte primária de contaminação.

Em seguida, as áreas do piso de concreto próximo às bombas de abastecimento que apresentavam microfissuras, foram regularizadas de forma a evitar que o volume de combustível derramado no ato do abastecimento penetrasse o pavimento atingindo o solo.

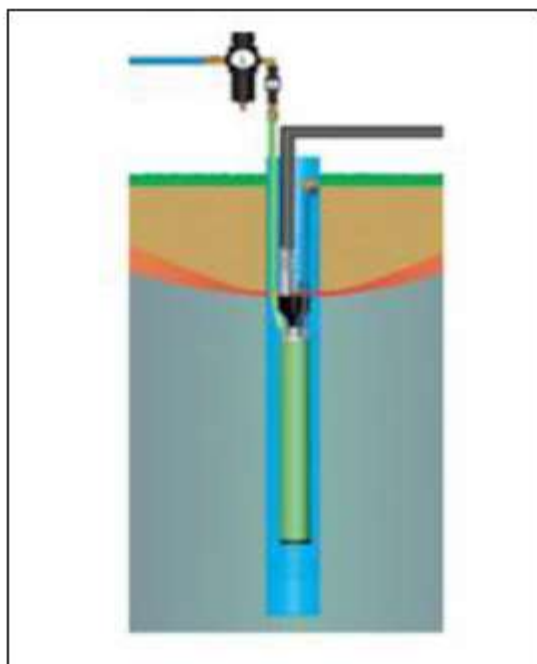
Remediadas as fontes de contaminação primárias, começaram as atividades de remediação da fase secundária. O plano de intervenção foi elaborado com base no Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis de 2007 da CETESB pelo engenheiro ambiental da empresa A contratada pelo Posto A. Foram associadas técnicas de bombeamento e tratamento, biorremediação e extração de vapores do solo (SVE), visando maior eficiência em menor período de tempo, sem prejuízos das atividades rotineiras do posto.

Um Contêiner foi instalado com o objetivo de isolar os equipamentos do sistema de remediação, de modo a preservar o bom andamento e segurança dos funcionários. Esse possuía sistema de ventilação de modo a evitar intoxicação e explosões por VOC's, sistema de aterramento de modo a evitar choques e descargas elétricas, e chave geral para o desligamento de todo o sistema no caso de possível situação de emergência. Todo o sistema foi ligado a um gerador de energia inserido dentro da área do posto.

O sistema de bombeamento foi constituído por caixas controladoras de fluxo, que, através de injeção de ar, regulam a quantidade de efluente bombeado pelo sistema de remediação, manuseadas pelo técnico responsável da empresa A e mantidas trancadas.

Foram instaladas uma bomba de captação superior de 4,2 centímetros de diâmetro e 74,5 centímetros de altura e uma bomba de captação inferior com 4 centímetros de diâmetro e 69 centímetros de altura, ilustrada na figura 59, ambas feitas de metal e aço inoxidável.

Figura 59 - Modelo padrão de bomba pneumática utilizada para bombeamento



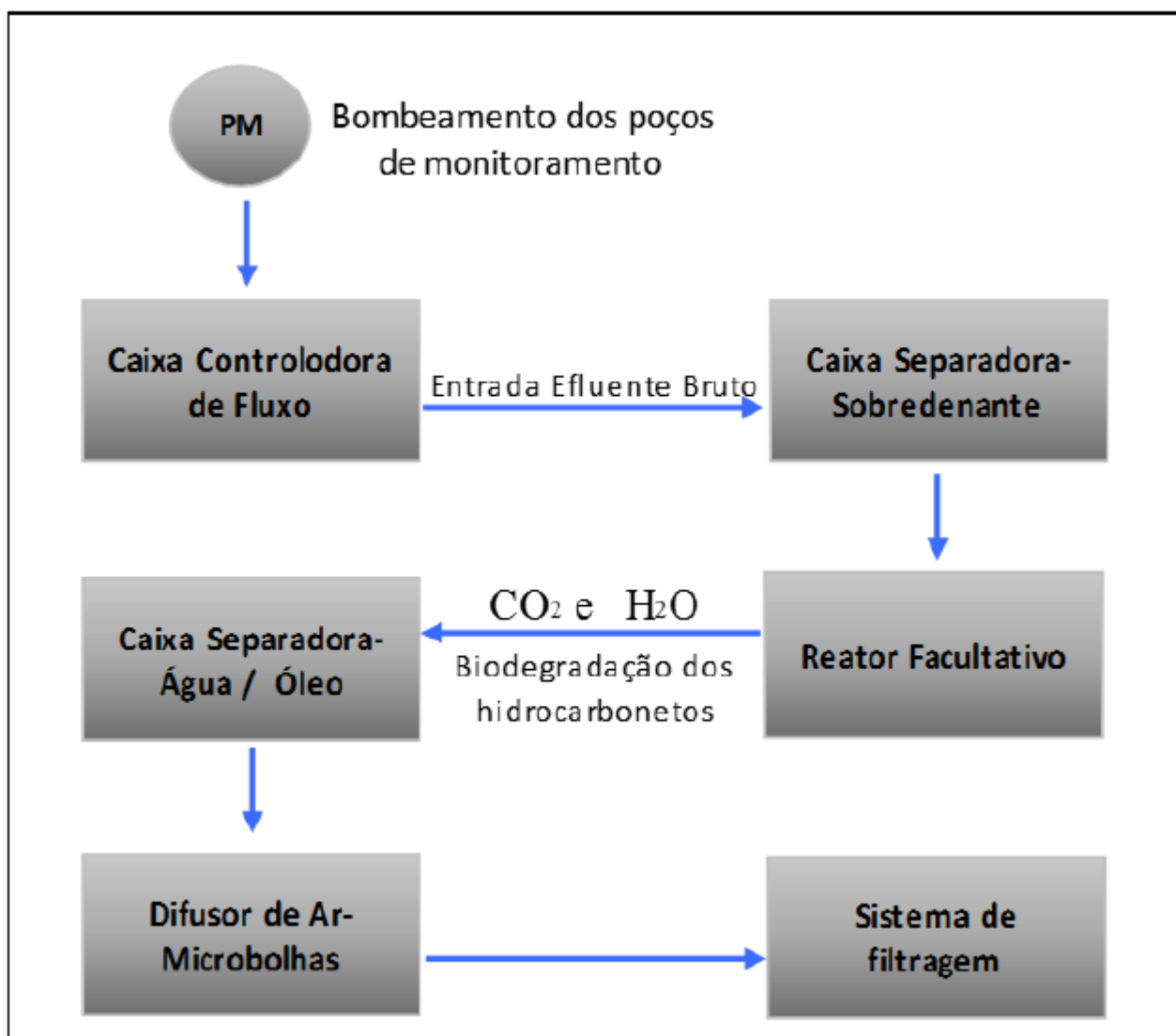
Fonte: CLEAN ENVIRONMENT BRASIL, 2004.

Antes do início da operação do bombeamento, os poços de monitoramento foram esgotados a fim de proporcionar a purificação que pode ter sido comprometida por resíduos do ato da perfuração. Essa preparação evita que resíduos sejam absorvidos pelas bombas de captação comprometendo o equipamento, e evita que os resultados das amostras posteriores sofram alterações químicas.

Os poços de monitoramento PM3, PM4, PM5, PM9 e PM10 foram bombeados, fazendo com que a fase dissolvida dos contaminantes fosse deslocada para o sistema remediador, instalado dentro de container protegido. Durante o bombeamento é necessária a fiscalização dos poços pois devido ao deslocamento da fase, partículas de contaminantes podem subir a superfície dos poços.

No momento em que o efluente bruto adentra no sistema de remediação, ele passa por uma caixa separadora de sobrenadante, como ilustra figura 60. Em seguida é direcionado para o reator facultativo para o processo de biorremediação, onde ocorre a biodegradação dos hidrocarbonetos, através da inserção de microrganismos que metabolizam, digerem e convertem os contaminantes em gases inócuos (CO_2) e em água (H_2O), que são liberados no próprio local onde foram inseridos.

Figura 60 - Sistema de tratamento de água subterrânea

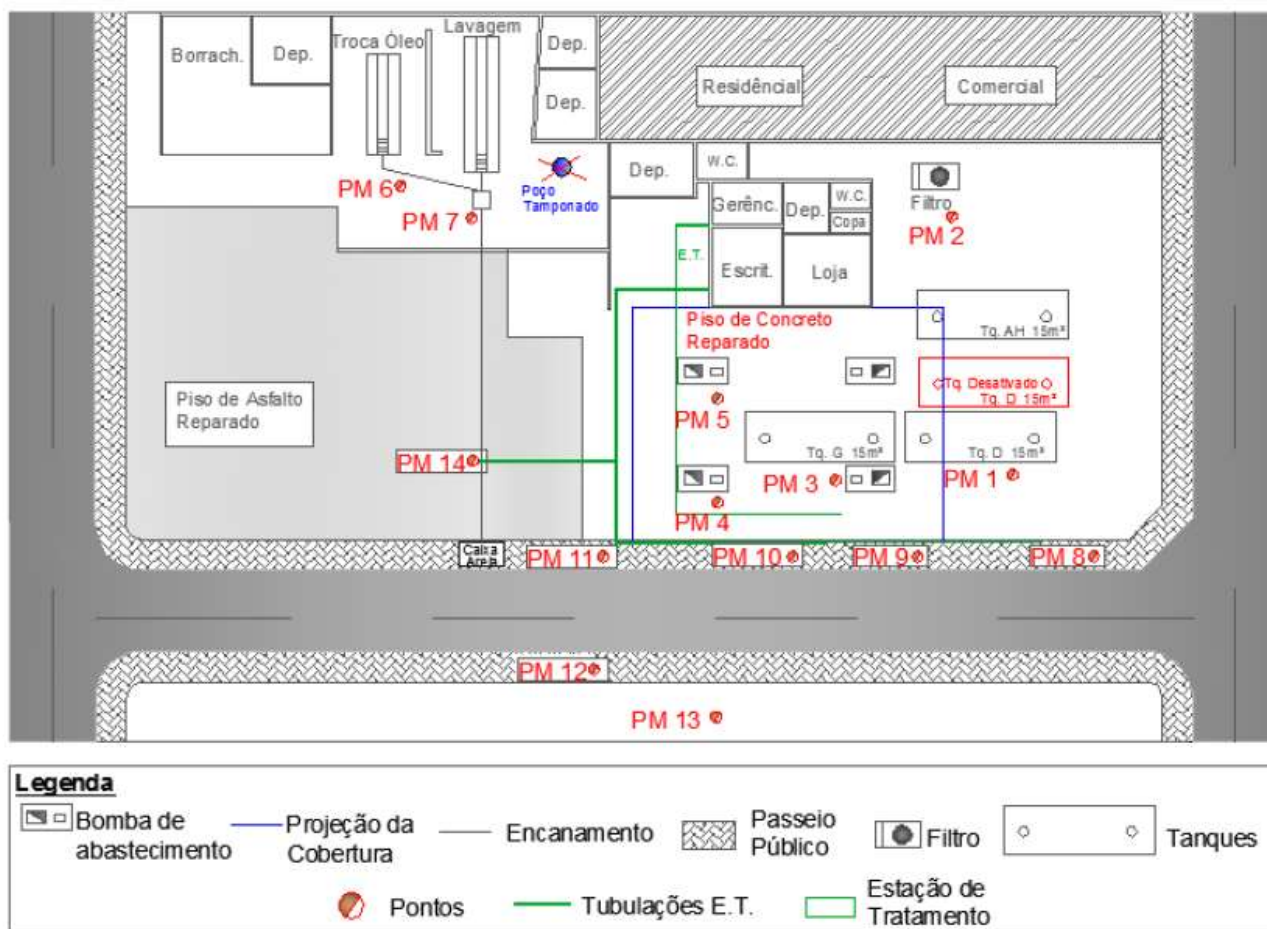


Fonte: CBC Ambiental, 2008. Adaptado.

Os efluentes são então direcionados a uma caixa separadora de água/óleo onde o óleo acumulado acima do nível da água é armazenado e posteriormente encaminhado para despejo em lugar específico. Para que fosse quantificada a quantidade de contaminantes retirados do solo e da água, os LNAPL eram medidos antes de irem para o despejo.

A figura 61, ilustra a instalação da estação de tratamento e o bombeamento dos poços.

Figura 61 - Instalação do sistema de remediação do posto A



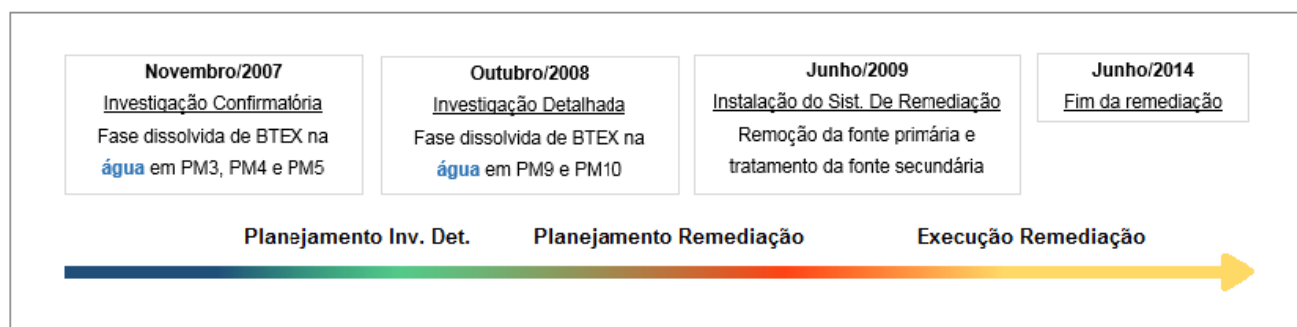
Fonte: CBC Ambiental, 2008.

Paralelamente a esse sistema foi instalado o SVE, com um compressor que injeta ar atmosférico e uma bomba de sucção de VOC's, e após o tratamento das fases dissolvida e de vapor, a água subterrânea bombeada para a estação de tratamento é reinjetada no solo.

A remediação da AC deve ser feita de modo a enquadrar os valores de concentração de todos os parâmetros BTEX e HPA nos valores orientadores da CETESB.

A linha do tempo das atividades executadas e futuras ficou definida conforme a figura 62.

Figura 62 - Cronograma das atividades investigatórias realizadas



Fonte: CBC Ambiental, 2008. Adaptado pela autora.

Para atingir o objetivo de remediação foi estabelecido um cronograma de atividades conforme tabela 25, de modo a facilitar o seguimento das etapas a serem seguidas e atingir maior eficácia.

Tabela 25 - Cronograma do processo de remediação

Atividades	2009											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Projeto e instalação do sistema de remediação												
Visitas técnicas												
Relatórios												
Remoção da fase dissolvida												
Aplicação de POA												
Coleta de água para análise												
Atividades	2010											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Visitas técnicas												
Relatórios												
Remoção da fase dissolvida												
Aplicação de POA												
Coleta de água para análise												
Atividades	2011											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Visitas técnicas												
Relatórios												
Remoção da fase dissolvida												
Aplicação de POA												
Coleta de água para análise												
Atividades	2013											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Visitas técnicas												
Relatórios												
Remoção da fase dissolvida												
Coleta de água para análise												
Atividades	2014											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Visitas técnicas												
Relatórios												
Remoção da fase dissolvida												
Coleta de água para análise												

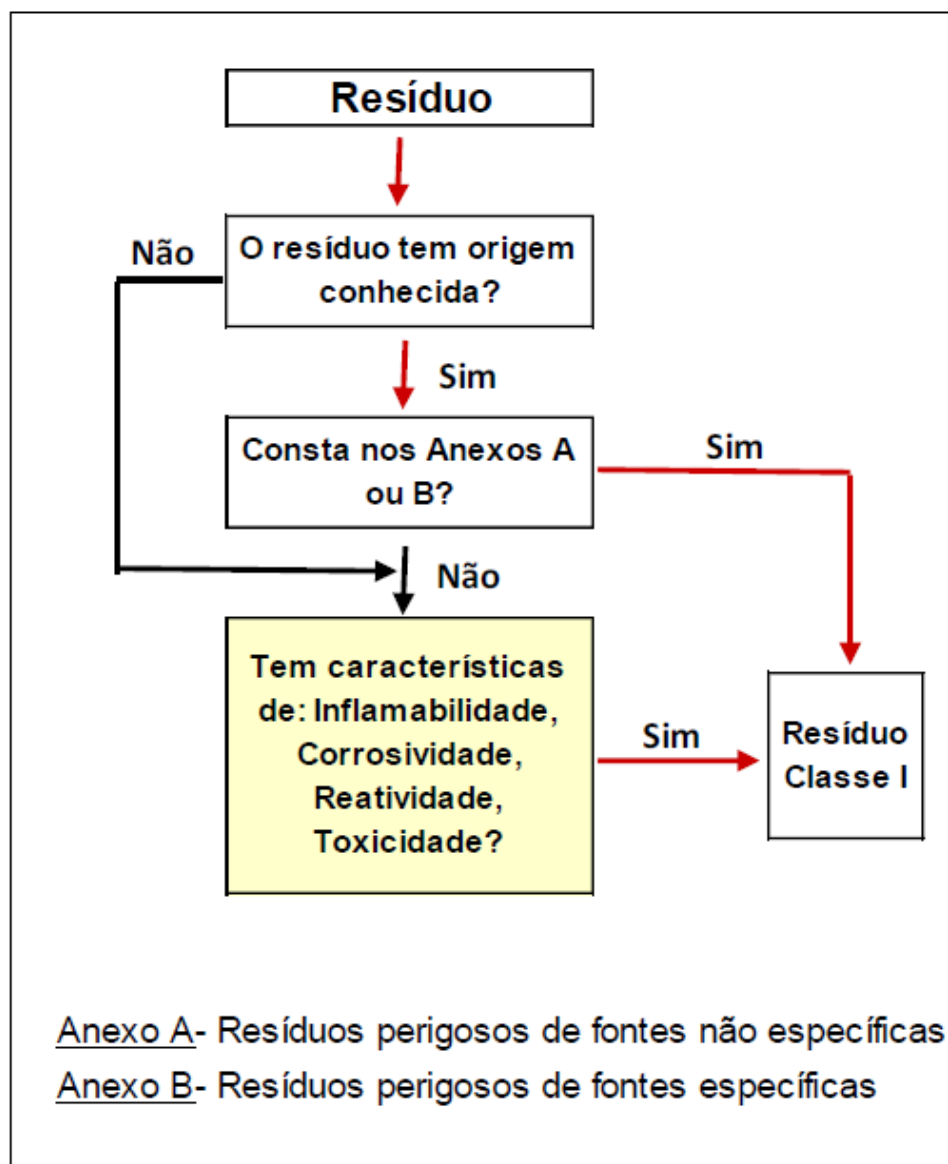
Fonte: CBC Ambiental, 2008.

DESCARTE

As amostras de solo colhidas nas sondagens e poços de monitoramento, são classificadas conforme esquema ilustrado na figura 63, que representa a diferenciação dos resíduos possivelmente contaminantes, classificadas como resíduos perigosos “Classe I” segundo a NBR 10004:2004 Resíduos sólidos-Classificação.

Os resíduos “Classe I” de acordo com o item 3.2 da NBR 10004:2004 são considerados os que podem apresentar “risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;” e “riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.”.

Figura 63 - Caracterização e classificação de resíduos



Fonte: NBR 10004: 2004.

Os resíduos gerados foram armazenados em *big bags* e, após a confirmação da presença de contaminantes foram destinados a serem dispostos em Aterro específico para resíduos Classe I.

6.2. POSTO B

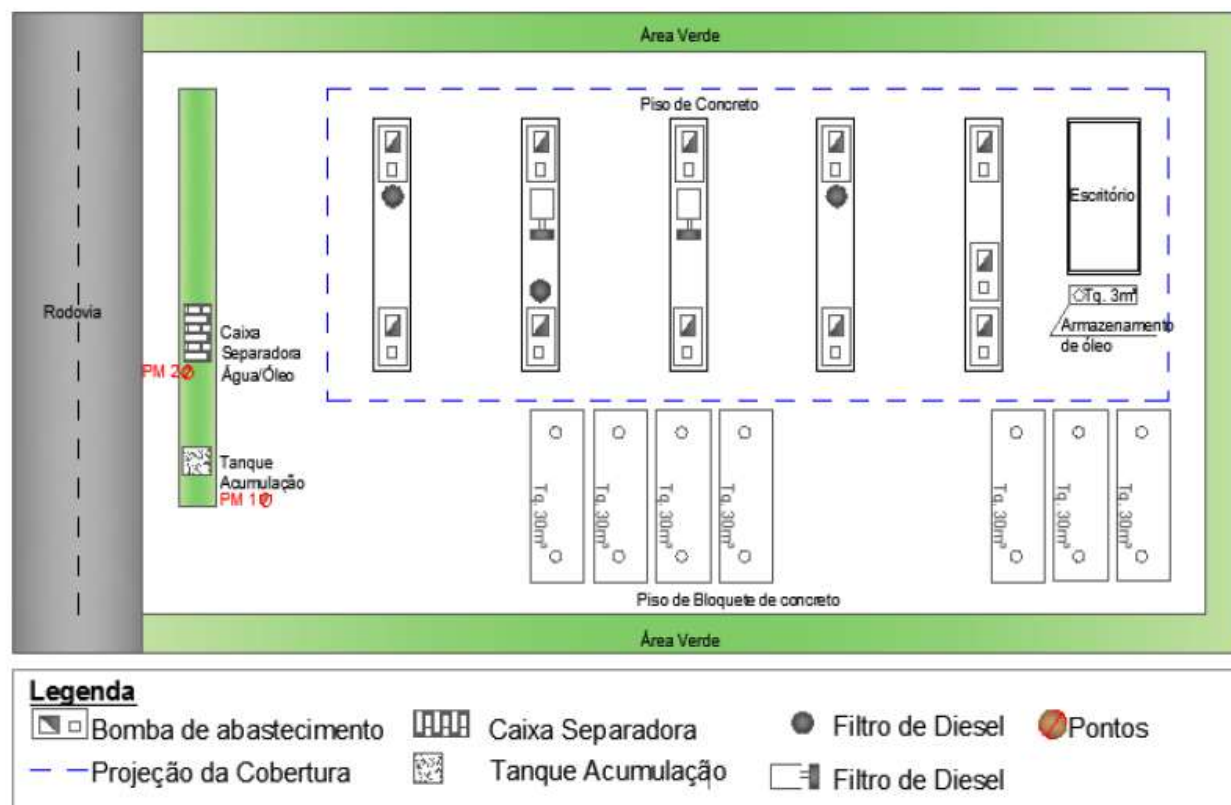
6.2.1. INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

No 1º semestre do ano de 2014 foi observado pelos funcionários que o solo próximo a caixa separadora de água/óleo e do tanque de acumulação estava desmatado, classificando assim o Posto B como AS. Diante da possibilidade de vazamento de contaminantes nessas instalações, foi solicitada a Investigação Confirmatória a fim de verificar a existência de concentrações de contaminantes no solo e na água subterrânea em valores superiores aos Valores de Intervenção da CETESB.

Até o momento da análise profissional não haviam sido identificadas perdas significativas de combustíveis e evidências de contaminação.

Foram coletas amostras de solos e instalados poços de monitoramento nos mesmos pontos PM1 e PM2 utilizados para sondagem e reconhecimento do solo local como ilustra a figura 64.

Figura 64 - Locação dos pontos PM1 e PM2 - Investigação Confirmatória



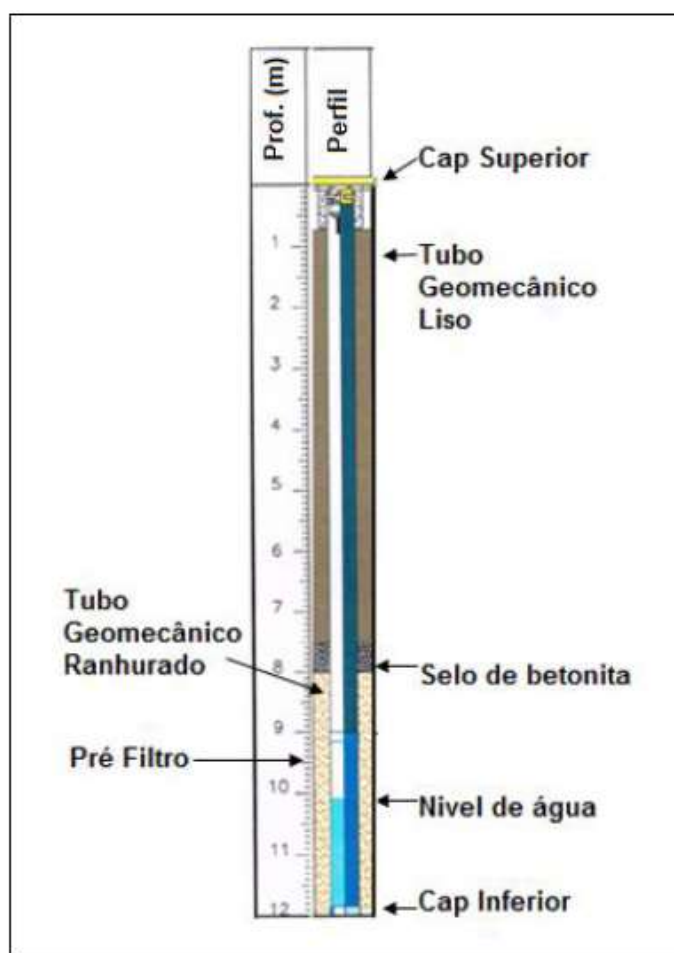
Fonte: G&D, 2014.

O funcionamento do sistema de perfuração se deu através de martelo hidráulico. Para a perfuração foi usado trado mecanizado tipo espiral, com diâmetro de 4". Após a perfuração foi executada a cravação do amostrador com liner descartável a fim de garantir a ausência de contaminação por fatores anteriores aos dessa investigação.

Nesses pontos foram instalados também os poços de monitoramento para coleta das amostras de água subterrânea. Esses são formados por um tubo geomecânico liso de 2" de diâmetro, seguido por um tubo geomecânico ranhurado e do pré-filtro. O espaço existente entre o furo de 4" e os tubos geomecânicos de 2", foi preenchido com areia selecionada até a cota de 8 metros que logo em seguida recebeu a camada seladora de betonita. Acima do selo o espaço existente foi preenchido com o próprio material resultante da escavação, seguido por acabamento em concreto desempenado, finalizado com uma trava e um *cap* superior.

A figura 65 apresenta o perfil construtivo dos dois poços de monitoramento instalados.

Figura 65 - Perfil poços de monitoramento



Fonte: G&D, 2014.

Assim como no Posto A, os poços do Posto B foram instalados de acordo com as normas:

- NBR 13895: 1997. "Construção de poços de monitoramento e amostragem" e;
- NBR 15495:2007. "Poços de Monitoramento em Aquíferos Granulares. Parte 1: Projeto e execução e Parte 2: Desenvolvimento".

As sondagens para coleta de amostras de solos, as instalações dos poços de monitoramento e a respectiva coleta de amostras de água subterrânea foram realizadas no dia 24 de julho de 2014.

Os resultados obtidos nas análises das amostras de solo e água subterrânea coletadas pela empresa B, foram avaliados e comparados aos Valores Orientadores para Solos e Água Subterrânea no Estado de São Paulo da CETESB de 2005, a fim de identificar a presença de contaminantes.

A princípio, na busca por esses valores extrapolados nas amostras de solo coletadas nos pontos PM01 e PM02 não foram encontradas concentrações que indicassem a presença de contaminantes em nenhuma das amostras coletadas de solo. Concluindo-se assim a ausência de fase residual ou adsorvida de contaminantes. As tabelas 26 e 27 apresentam os valores resultantes das análises nos pontos PM01 e PM02.

Tabela 26 - Concentração dos parâmetros analisados, ponto PM01

Ponto PM01			
Profundidade = 10 metros			
Parâmetros	Unidade	Resultados	V.I.
BTEX			
Benzeno	Mg/Kg	<LQ	0,02
Tolueno	Mg/Kg	<LQ	5,6
Etilbenzeno	Mg/Kg	<LQ	0,2
Xilenos Totais	Mg/Kg	<LQ	12
PAH			
Naftaleno	Mg/Kg	<LQ	1,1
Acenaftileno	Mg/Kg	<LQ	X
Acenafteno	Mg/Kg	<LQ	X
Fluoreno	Mg/Kg	<LQ	X
Fenantreno	Mg/Kg	<LQ	15
Antraceno	Mg/Kg	<LQ	2300
Fluoranteno	Mg/Kg	<LQ	X
Pireno	Mg/Kg	<LQ	X
Benzo(a)Ant	Mg/Kg	<LQ	1,6
Criseno	Mg/Kg	<LQ	95
Benzo(b)Fluo	Mg/Kg	<LQ	2
Benzo(k)Fluo	Mg/Kg	<LQ	27
Benzo(a)Pire	Mg/Kg	<LQ	0,2
Indeno(1,2,3,c,d)Pir	Mg/Kg	<LQ	3,4
Dibenzeno(a,h)Antrac	Mg/Kg	<LQ	0,3
Benzo(g,h,i)Perileno	Mg/Kg	<LQ	X
TPH			
TPH Total (C10-C36)	Mg/Kg	<LQ	X

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: G&D, 2014.

Tabela 27 - Concentração dos parâmetros analisados, ponto PM02

Ponto PM02			
Profundidade = 10 metros			
Parâmetros	Unidade	Resultados	V.I.
BTEX			
Benzeno	Mg/Kg	<LQ	0,02
Tolueno	Mg/Kg	<LQ	5,6
Etilbenzeno	Mg/Kg	<LQ	0,2
Xilenos Totais	Mg/Kg	<LQ	12
PAH			
Naftaleno	Mg/Kg	<LQ	1,1
Acenaftileno	Mg/Kg	<LQ	X
Acenafteno	Mg/Kg	<LQ	X
Fluoreno	Mg/Kg	<LQ	X
Fenantreno	Mg/Kg	<LQ	15
Antraceno	Mg/Kg	<LQ	2300
Fluoranteno	Mg/Kg	<LQ	X
Pireno	Mg/Kg	<LQ	X
Benzo(a)Ant	Mg/Kg	<LQ	1,6
Criseno	Mg/Kg	<LQ	95
Benzo(b)Fluo	Mg/Kg	<LQ	2
Benzo(k)Fluo	Mg/Kg	<LQ	27
Benzo(a)Pire	Mg/Kg	<LQ	0,2
Indeno(1,2,3,c,d)Pir	Mg/Kg	<LQ	3,4
Dibenzeno(a,h)Antrac	Mg/Kg	<LQ	0,3
Benzo(g,h,i)Perileno	Mg/Kg	<LQ	X
TPH			
TPH Total (C10-C36)	Mg/Kg	<LQ	X

LQ: Limite de Quantificação

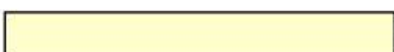
V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: G&D, 2014.

Em relação às amostras de água subterrânea foi possível constatar a presença de contaminantes tanto do grupo BTEX como HPA no ponto PM01. Os contaminantes identificados não apresentaram concentrações que ultrapassassem os Valores de Intervenção para água subterrânea, estabelecidos pela CETESB em 2005, conforme tabela 28.

Tabela 28 - Concentração dos parâmetros analisados nas amostras de água

Ponto PM01			
Parâmetros	Unidade	Resultados	V.I.
BTEX			
Benzeno	Mg/Kg	<LQ	5
Tolueno	Mg/Kg	<LQ	700
Etilbenzeno	Mg/Kg	12,90	300
Xilenos Totais	Mg/Kg	86,50	500
PAH			
Naftaleno	Mg/Kg	1,59	60
Acenaftileno	Mg/Kg	<LQ	X
Acenafteno	Mg/Kg	<LQ	X
Fluoreno	Mg/Kg	0,35	X
Fenantreno	Mg/Kg	0,54	140
Antraceno	Mg/Kg	<LQ	900
Fluoranteno	Mg/Kg	0,13	X
Pireno	Mg/Kg	0,08	X
Benzo(a)Ant	Mg/Kg	<LQ	0,4
Criseno	Mg/Kg	<LQ	41
Benzo(b)Fluo	Mg/Kg	<LQ	0,4
Benzo(k)Fluo	Mg/Kg	<LQ	4,1
Benzo(a)Pire	Mg/Kg	<LQ	0,7
Indeno(1,2,3,c,d)Pir	Mg/Kg	<LQ	0,4
Dibenzeno(a,h)Antrac	Mg/Kg	<LQ	0,04
Benzo(g,h,i)Perileno	Mg/Kg	<LQ	X

 Presença de contaminantes

LQ: Limite de Quantificação

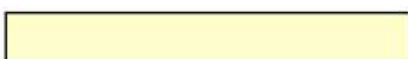
V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: G&D, 2014.

No entanto no ponto PM02, além da identificação de concentrações alteradas de BTEX e HPA, o parâmetro Benzeno extrapolou os Valores de Intervenção para água subterrânea, conforme tabela 29.

Tabela 29 - Concentração dos parâmetros analisados nas amostras de água

Ponto PM02			
Parâmetros	Unidade	Resultados	V.I.
BTEX			
Benzeno	Mg/Kg	10,00	5
Tolueno	Mg/Kg	<LQ	700
Etilbenzeno	Mg/Kg	<LQ	300
Xilenos Totais	Mg/Kg	122,90	500
PAH			
Naftaleno	Mg/Kg	24,14	60
Acenaftileno	Mg/Kg	<LQ	X
Acenafteno	Mg/Kg	<LQ	X
Fluoreno	Mg/Kg	4,03	X
Fenantreno	Mg/Kg	12,95	140
Antraceno	Mg/Kg	<LQ	900
Fluoranteno	Mg/Kg	<LQ	X
Pireno	Mg/Kg	<LQ	X
Benzo(a)Ant	Mg/Kg	<LQ	0,4
Criseno	Mg/Kg	<LQ	41
Benzo(b)Fluo	Mg/Kg	<LQ	0,4
Benzo(k)Fluo	Mg/Kg	<LQ	4,1
Benzo(a)Pire	Mg/Kg	<LQ	0,7
Indeno(1,2,3,c,d)Pir	Mg/Kg	<LQ	0,4
Dibenzeno(a,h)Antrac	Mg/Kg	<LQ	0,04
Benzo(g,h,i)Perileno	Mg/Kg	<LQ	X

 Presença de contaminantes

 Valores extrapolados

LQ: Limite de Quantificação

V.I.: Valores de Intervenção CETESB (2005)

Fonte: G&D, 2014.

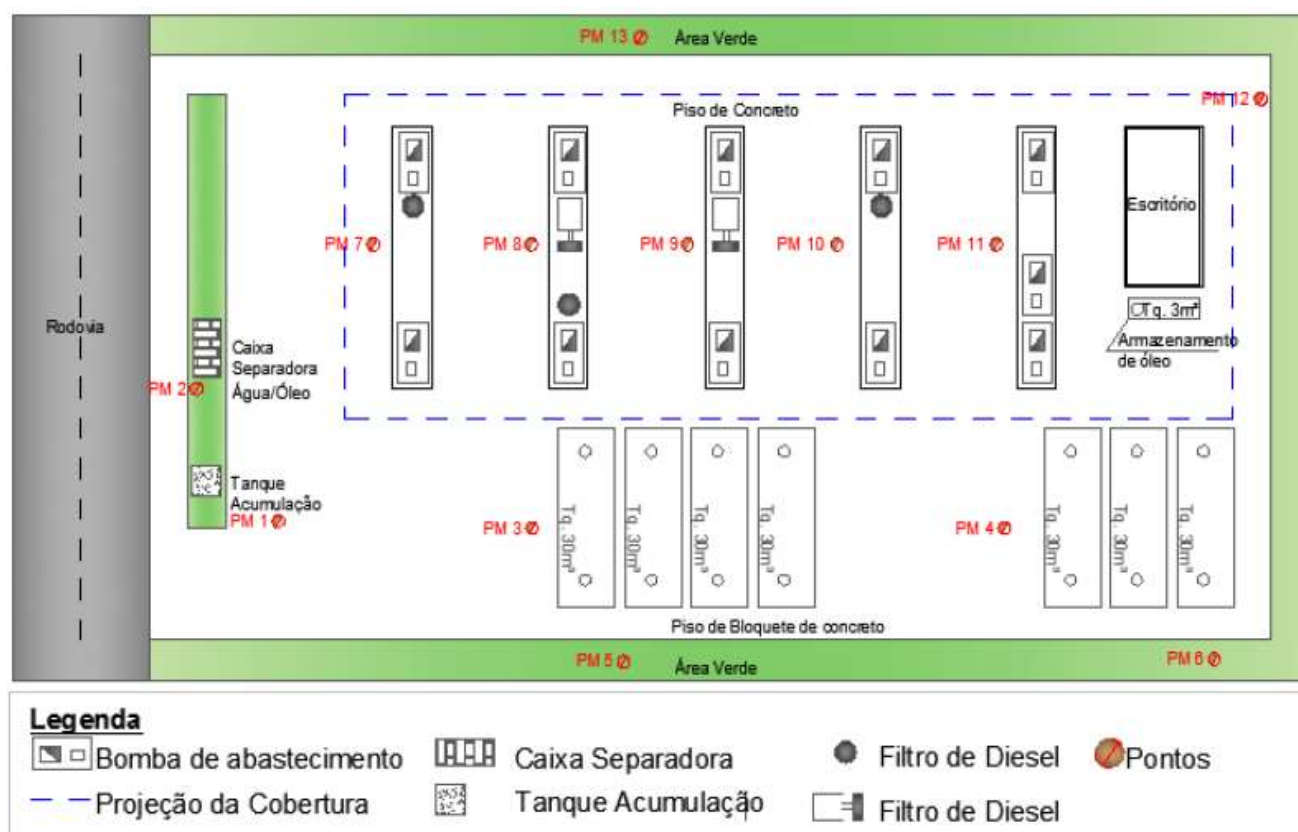
A presença de concentrações de hidrocarbonetos em valores acima dos VI e, portanto, em fase dissolvida nas amostras de água subterrânea coletadas em ambos os pontos PM01 e PM02, reclassificam a área do Posto B como AC.

6.2.2. INVESTIGAÇÃO DETALHADA

O procedimento seguinte trata-se da locação de pontos para sondagem, instalação de poços de monitoramento e coleta de amostras.

Seguindo, assim como no Posto A, o Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis” de 2007, os pontos para coleta de amostras, podem ser convenientemente locados conforme figura 66.

Figura 66 - Locação dos pontos PM03 a PM13 - Investigação Detalhada



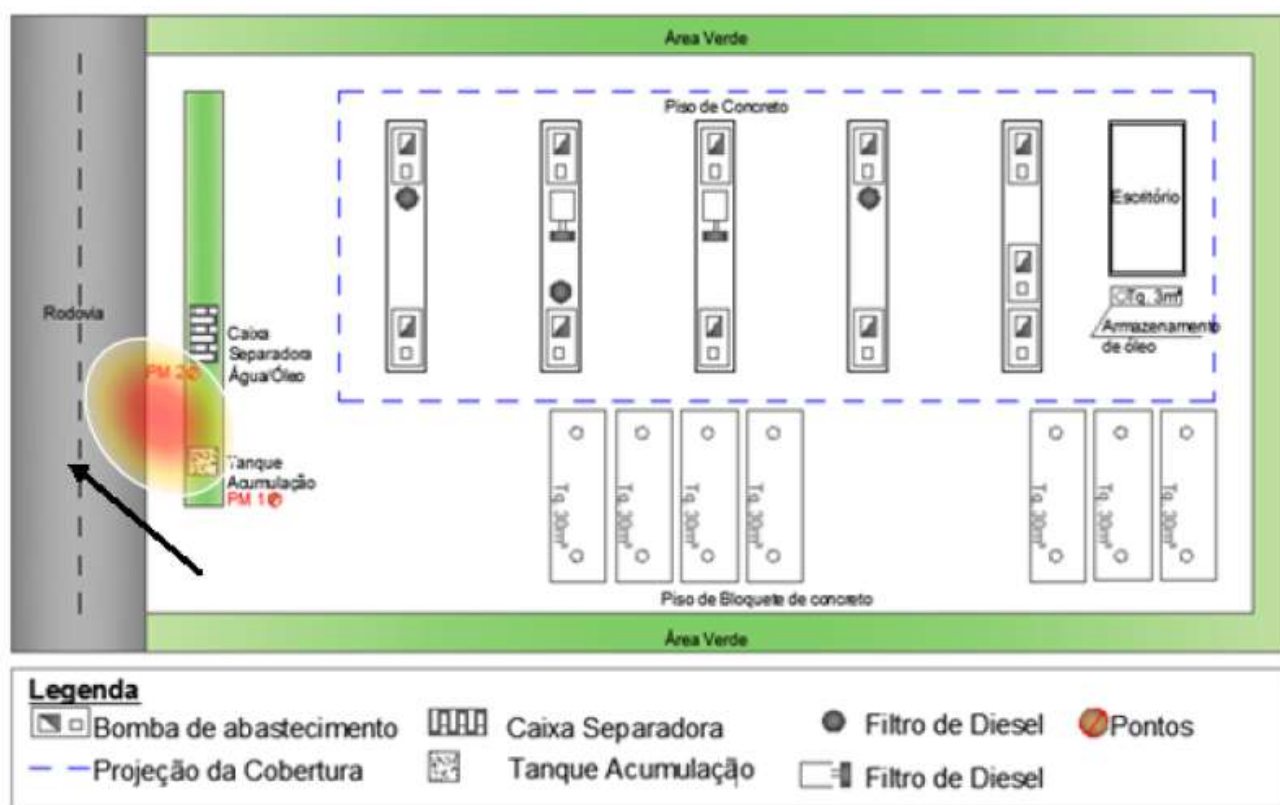
As locações dos pontos são definidas conforme as áreas críticas de vazamentos e contato com o homem. Segundo Santos (2009), para estabelecimentos com área total superior a 1.000m², os pontos de sondagens devem ser locados à jusante das bombas de abastecimento e de acordo com o sentido do fluxo da água subterrânea. Dessa forma foram locados os pontos:

- PM03: Próximo aos 4 primeiros tanques subterrâneos com capacidade para 30m³ de combustível. Considerado ponto crítico devido à proximidade com os tanques e por ser local de intenso tráfego de automóveis;
- PM04: Similar ao ponto PM03, próximo aos 3 tanques subterrâneos posteriores com capacidade para 30m³ de combustível. Considerado ponto crítico devido à proximidade com os tanques e por ser local de intenso tráfego de automóveis;
- PM05: Localizado no limite e sobre o eixo transversal do posto, a fim de se detectar o fechamento ou extensão para fora dos limites do posto da pluma de contaminação;
- PM06: Localizado no cruzamento dos limites lateral e de fundo, a fim de se detectar, assim como no ponto PM05, o fechamento ou extensão para fora dos limites do posto da pluma de contaminação;
- PM07, PM08, PM09, PM10 e PM11: Localizados entre as 5 ilhas de abastecimento, sob piso de concreto desempenado. Considerados pontos críticos devido à possibilidade de vazamento nas tubulações que direcionam os combustíveis dos tanques para as bombas de abastecimento e pelo intenso tráfego de automóveis. Havendo vazamento, a intensidade de contaminantes encontrados nas amostras coletadas nesses pontos permiti determinar qual bomba ou tubulação está comprometida;
- PM12: Localizado no cruzamento dos limites lateral e de fundo, a fim de se detectar, assim como nos pontos PM05 e PM06, o fechamento ou extensão para fora dos limites do posto da pluma de contaminação e;
- PM13: Localizado no limite e sobre o eixo transversal do posto, em linha paralela ao ponto PM05, a fim de se detectar, assim como nos pontos PM05, PM06 e PM12 o fechamento ou extensão para fora dos limites do posto da pluma de contaminação.

6.2.3. DELIMITAÇÃO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO

A princípio com os resultados obtidos na Investigação Confirmatória fica a pluma de contaminação definida conforme a figura 67.

Figura 67 - Delimitação da pluma de contaminação



No ponto PM02 tem-se indicado não só a presença dos contaminantes BTEX e HPA nas amostras de água subterrânea, como também a intensidade acima do VI da CETESB de 2005 para o parâmetro Benzeno. Já no ponto PM01 tem-se a presença de BTEX e HPA em valores inferiores aos VI. O sentido do fluxo da água subterrânea de Norte para Sul, juntamente com a intensidade de contaminantes em cada ponto, demonstra fluxo de contaminação de dentro para fora do posto em direção a rodovia.

Diferentemente do Posto A, para estimar em qual período de tempo os contaminantes podem atingir o limite do Posto B, utiliza-se a Lei de Darcy que permiti o cálculo da vazão em um meio poroso.

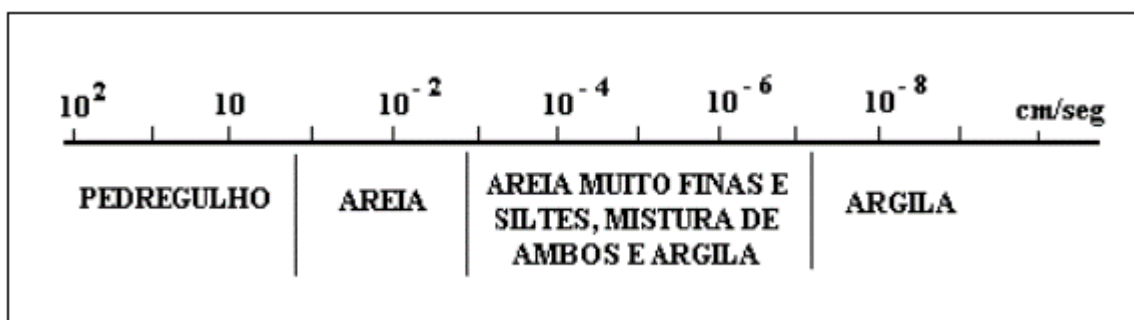
A princípio calcula-se o gradiente hidráulico, i , conforme equação (1) anterior.

Entre os pontos PM01 e PM02, à uma distância de 7,82 metros, o gradiente resultante foi igual a 0,038m/m.

Sendo o tubo geomecânico utilizado para instalação dos poços de monitoramento de diâmetro igual a 2 polegadas, calcula-se a área da seção transversal no valor de 0,002026m².

A figura 68, indica os diferentes valores para o coeficiente de permeabilidade, k , segundo Casagrande e Fadum (1940).

Figura 68 - Intervalos de variação de K para diversos solos



Fonte: CASAGRANDE e FADUM, 1940.

Considerando o solo do Posto B como siltoso e com estruturas granulares pequenas, adota-se k igual a 10^{-5} cm/seg., o qual transformado em m/ano corresponde a 3,154 m/ano.

Pela Lei de Darcy torna-se possível então obter a vazão, **Q**, equação (4).

$$Q = K \times I \times A$$

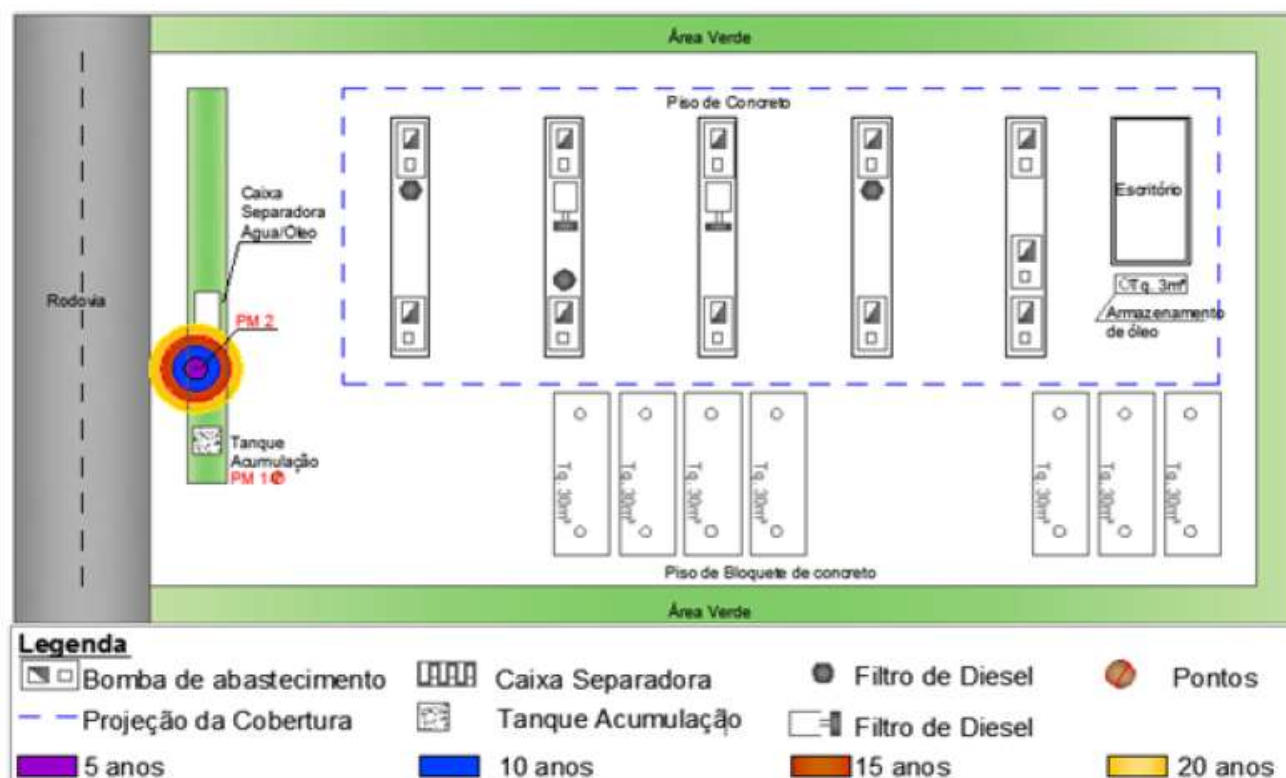
Q- Vazão (m^3/ano)
K- Coeficiente de permeabilidade (m/ano)
i- Gradiente hidráulico (m/m)
A- Área da seção transversal (m^2)

(4)

Sendo a velocidade, **V**, igual a relação entre **Q** e **A**, obtêm-se a velocidade de 0,120m/ano para os meios líquidos no solo do Posto B, considerando-se a fonte de contaminação apenas nas proximidades do ponto PM02 como indica a Investigação Confirmatória.

Dentro de 20 anos a contaminação pode estender-se para além dos limites do Posto B como ilustra a figura 69.

Figura 69 - Estimativa da extensão da pluma de contaminação

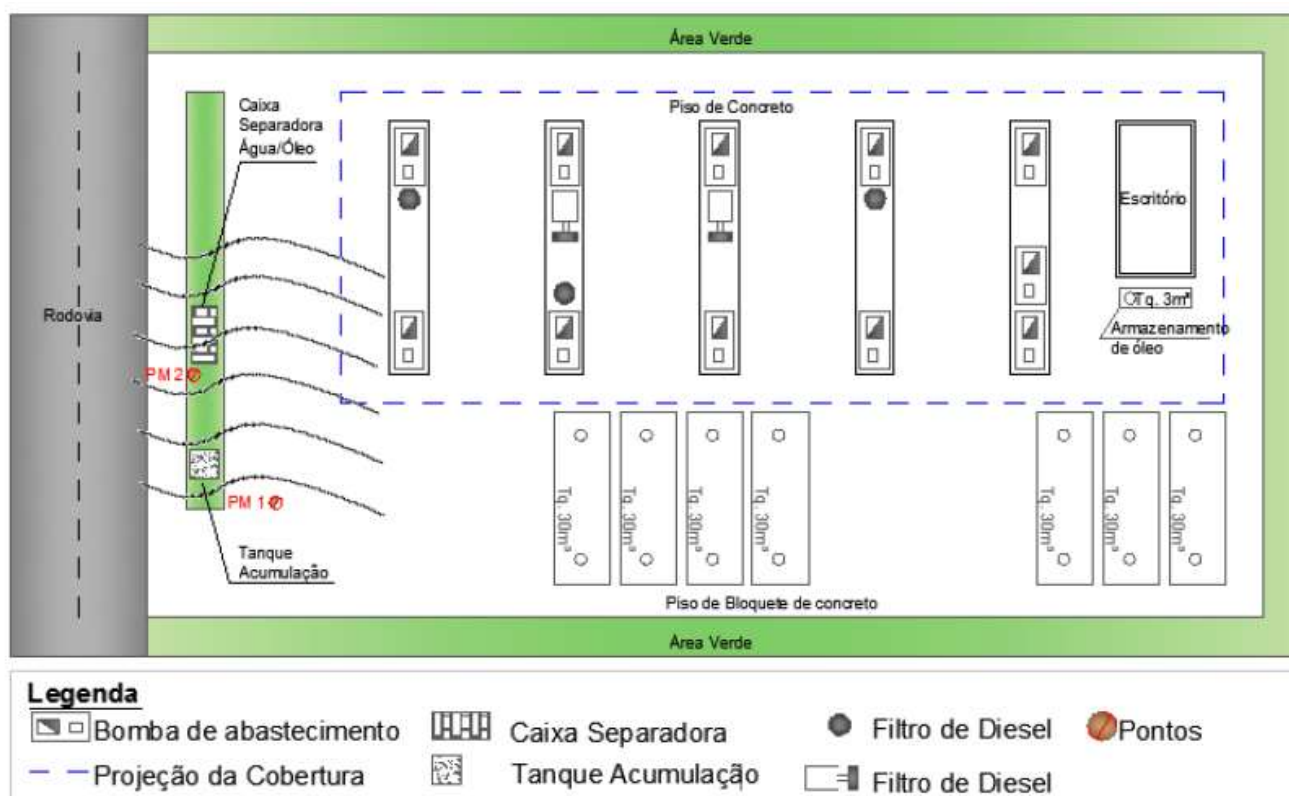


6.2.4. ANÁLISE DE VOC'S

Possuindo o Posto B área total de 1788,00m² aproximados, se fez necessário, assim como no Posto A, a medição de contaminantes em fase de vapor no solo, conforme o sistema de licenciamento de postos da CETESB, 2006a.

Segundo a CETESB 2006a, a locação dos pontos de medição deve levar em consideração os riscos inerentes às áreas a serem perfuradas, evitando em caso de incertezas, locais de possíveis passagens de tubulações e objetos enterrados. A locação das análises de VOC's foram realizadas, como indica a figura 70, a cada metro perfurado ao longo do perfil.

Figura 70 - Estimativa de locação de área para análise de VOC's



6.2.5. ANÁLISE DE RISCO

A avaliação preliminar da área identificou como possíveis receptores os funcionários do Posto B e, como via de exposição o contato dérmico com a água subterrânea e a ingestão da água subterrânea.

De acordo com a metodologia ACBR e, com o Sistema de Licenciamento de Postos de Abastecimento da CETESB de 2006b, os possíveis cenários de contaminação no Posto B, de acordo com a Investigação Confirmatória realizada são descritos conforme tabela 30.

Tabela 30 - Possíveis cenários de contaminação

Cenário	Probabilidade de ocorrência	Interpretação
Contato dermico, ingestão e inalação de partículas do solo superficial por funcionários do posto	Não	Concentrações de hidrocarbonetos abaixo do limite
Contato dermico, ingestão e inalação de partículas do solo superficial, por trabalhadores do entorno	Não	Concentrações de hidrocarbonetos abaixo do limite. Ausência de trabalhadores no entorno devido a localização em rodovia.
Ingestão de água subterrânea por trabalhadores e população do entorno	Não	Ausência de trabalhadores e população no entorno devido a localização em rodovia.
Ingestão de água subterrânea por funcionários do posto	Sim	Posto abastecido por poço artesiano. Confirmada a presença de hidrocarbonetos na água.
Contato dermico com a água subterrânea por funcionários do posto	Sim	Poço artesiano usado para serviços de limpeza. Confirmada a presença de hidrocarbonetos na água
Contato dermico com a água subterrânea por trabalhadores e população do entorno	Sim	Poço artesiano usado para serviços de limpeza. Confirmada a presença de hidrocarbonetos na água

Dentre os 3 possíveis cenários de risco, a ingestão de água subterrânea por funcionários do posto é o mais preocupante devido à ausência de outro tipo de abastecimento de água potável para consumo fora o poço artesiano local. Confirmada a presença de Benzeno acima dos VI, o tamponamento do poço é fundamental para preservação da saúde dos funcionários.

Diferentemente do município de Itaí, Iaras apresentou um crescimento de famílias atendidas por abastecimento público de água no ano de 2013, passando essa porcentagem de 38,15% no ano de 2012, para 57,45% no ano de 2013, segundo o último levantamento realizado pelo Ministério da Saúde em 2013. Porém em relação à média nacional de 79,54% da população atendida, Iaras encontra-se em situação crítica devido ao grande número de famílias ainda abastecidas por poços artesanais mesmo com a atuação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP.

Dessa forma foram calculadas a distância entre os possíveis receptores e pontos críticos listados conforme tabela 31.

Tabela 31 - Distancias criticas

Parâmetros	Pontos Críticos	Distância (m)		
		Recep. Residencial	Recep. Comercial	Poço Artesanal
Benzeno	PM02	x	48,57	51,28

Assim como no Posto A, a região do Posto B possui intensa atividade agrícola, devendo-se assim regularmente executar a análise de risco para os cenários de ingestão de partículas de solo e alimentos cultivados contaminados e contato dérmico.

6.2.6. MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO PROPOSTOS

Assim como recomenda o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, 2007, no planejamento do Projeto de Remediação a ser implantado devem ser levadas em consideração a dinâmica dos contaminantes, estudada anteriormente e, a localização da fonte contaminadora, identificada na Investigação Confirmatória.

As tabelas 32 e 33 mostram o resumo da contaminação relatada na Investigação Confirmatória para solos e águas subterrâneas do Posto B.

Tabela 32 - Estado de contaminação do solo local

Amostras de solo			
Ponto	Parâmetro		Situação
	BTEX	HPA	
PM01	ND	ND	Ausente
PM02	ND	ND	Ausente

ND: Não detectado

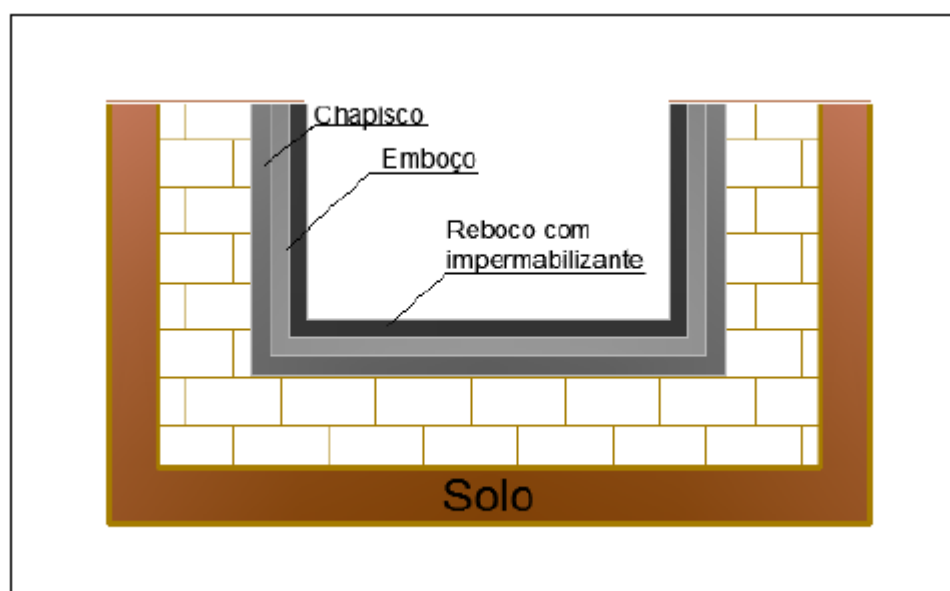
Tabela 33 - Estado de contaminação da água subterrânea local

Amostras de água subterrânea			
Ponto	Parâmetro		Situação
	BTEX	HPA	
PM01	X	X	Confirmada a presença Benzeno acima do V.I., presença HPA
PM02	X	X	

ND: Não detectado

A princípio para remediação da fonte primária de contaminação sabendo-se que, na caixa separadora de água e óleo e, no tanque de acumulação foram observados transbordamento e desmatamento da vegetação sobreposta, esses devem passar por minuciosa verificação de estado de conservação e reparos. Recomenda-se a limpeza e a aplicação de massa corrida impermeabilizante, conforme a figura 71, em ambos os itens, que são feitos de alvenaria, e, especialmente na caixa separadora de água e óleo, próxima ao ponto PM02 onde foi identificada a presença de Benzeno acima do VI.

Figura 71 - Esquema de revestimento com argamassa impermeabilizante para caixa separadora de água e óleo



Torna-se igualmente interessante a verificação da existência de pequenas fissuras devido ao intenso tráfego de veículos no pátio onde se encontram as bombas de abastecimento. Uma nata composta de cimento e água, homogênea, como mostra a figura 72, pode ser passada sobre o pátio a fim de evitar futuras fissuras.

Figura 72 - Nata de cimento e água



Fonte: ECOPORE¹³, 2015.

Remediadas as possíveis fontes primárias de contaminação, o Roteiro para Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis da CETESB de 2007, juntamente com os resultados obtidos na Avaliação Preliminar, na Investigação Confirmatória e no comparativo traçado entre as técnicas de remediação executados em 21 AC por hidrocarbonetos provenientes de postos de abastecimento de combustíveis em municípios próximos escolhidos devido à características semelhantes ao Posto B, permitem o traçado de uma proposta de remediação.

Como primeiro comparativo para planejamento do sistema de remediação do Posto B, utiliza-se como base a avaliação desenvolvida para o Posto A, que dista 60 quilômetros do município de Iaras. A figura 73 indica a localização de ambos municípios.

Figura 73 - Proximidade entre Itai e Iaras



Fonte: IBGE, 2010¹⁴. Adaptado.

A avaliação da região, solo e fluxo de água subterrânea do Posto B apresentou importantes similaridades com a avaliação realizada anteriormente descrita, do Posto A, como indica tabela 34, que traz o comparativo das características dos Postos A e B.

Tabela 34 - Comparação características Posto A e Posto B

	Posto 1	Posto 2
Município	Itaí	Iaras
Habitantes	24.008	6.376
Dist. capital	300 Km	285 Km
UGRHI	14-Alto Paranapanema	17-Médio Paranapanema
Clima	Tropical de altitude	Tropical de altitude
Precipitações	Intensas no verão	Intensas no verão
Área de Recarga	Sim	Sim
Relevo	Montanhoso	Suavemente ondulado
Geologia	Bacia sedimentar Paraná/ Grupo Bauru	Bacia sedimentar Paraná/ Grupo Bauru
Solo	Latosolo Vermelho Amarelo	Latosolo Vermelho Amarelo
Permeabilidade do Solo	Baixa	Baixa
Atividade Agrícola	Intensa	Intensa
Contaminação Solo	Não	Não
Contaminação Água Sub.	Sim	Sim
Presença de VOC's	Sim	Não
Tempo para atingir os limites do posto	5 anos	20 anos

Uma importante similaridade entre os Postos A e B trata-se da intensidade de precipitações no verão. O volume e fluxo de precipitação está diretamente relacionado ao êxito e duração do tratamento. A intensidade maior no verão permiti que haja maior movimentação de águas subterrâneas, dissolvendo, juntamente com o tratamento, de forma mais eficiente, a pluma de contaminação.

A maior coluna d'água, também resultante das altas precipitações, facilita o bombeamento dos efluentes para a E.T.

A baixa permeabilidade interfere de forma positiva e negativa sobre o processo de remediação. De forma positiva tem-se o fato da baixa permeabilidade dificultar a expansão da pluma de contaminação. Em contrapartida, tem-se uma maior dificuldade de extrair o efluente contaminado.

Como segundo comparativo, foram levantadas informações na Agência Regional da CETESB da cidade de Avaré, sobre técnicas de remediação usadas em municípios próximos a ambos os Postos A e B estudados. Foram listadas 17 AC por hidrocarbonetos em postos de abastecimento por combustíveis cuja situação, tipo de contaminação e técnicas de remediação encontram-se listadas na tabela 35.

Tabela 35 - Levantamento de áreas contaminadas em municípios limítrofes

Município	Situação	Contaminação	Contaminante	Técnica
Piraju	Remediação/ Monit.	Água Sub.	Comb./ Solv.	Bomb. E Trat.
Piraju	Encerramento	Solo	Comb./ Solv.	SVE
Cerqueira César	Inv. Det./ Plano de interv.	Água Sub. / Solo	Comb./ Solv./ HPA	Em planejamento
Cerqueira César	Remediação/ Monit.	Água Sub.	Comb./ Solv./ HPA	Bomb. E Trat.
Avaré	Encerramento	Água Sub.	Comb./ Solv.	Bomb. E Trat.
Avaré	Remediação/ Monit.	Água Sub.	Comb./ Solv.	Bomb. e Trat./ SVE
Avaré	Remediação/ Monit.	Água Sub.	Comb./ Solv.	Bomb. e Trat./ SVE
Avaré	Remediação/ Monit.	Água Sub.	Comb./ Solv.	Bomb. e Trat./ SVE
Avaré	Remediação/ Monit.	Água Sub./ Solo sup.	Comb./ Solv./ HPA	Bomb. e Trat./ Remoção solo
Avaré	Remediação/ Monit.	Água Sub./ Solo sup.	Comb./ Solv./ HPA	Bomb. e Trat./ Remoção solo/SVE
Avaré	Remediação/ Monit.	Água Sub. / Solo	Comb./ Solv./ HPA	Bomb. E Trat.
Itaberá	Remediação/ Monit.	Água Sub. / Solo	Comb./ Solv./ HPA	Extração Multifásica
Itaberá	Inv. Det./ Plano de interv.	Água Sub. / Solo	Comb./ Solv./ HPA	Extração Multifásica
Itaberá	Inv. Det./ Plano de interv.	Água Sub. / Solo	Comb./ Solv.	Em planejamento
Paranapanema	Remediação/ Monit.	Água Sub. / Solo	Comb./ Solv./ HPA	Bomb. e Trat./Extração Mult./ Remoção Solo
Paranapanema	Remediação/ Monit.	Solo	Comb./ Solv.	SVE/ Remoção do solo
Coronel Macedo	Remediação/ Monit.	Água Sub.	Comb./ Solv./ HPA	Bomb. E Trat./ SVE/ Biorremediação

Nota: Os municípios de Arandu, Itapeva, Tejuapá e Taquarituba não apresentaram áreas contaminadas

Fonte: CETESB, 2014. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas¹⁵.

Em investigações também protocoladas na Agência Regional da CETESB da cidade de Avaré, FOGAÇA (2014) e VERHNJAK (2015), apresentaram resultados satisfatórios para remediação de 4 postos de abastecimento de combustíveis, a saber nos municípios de Taguaí e Itaporanga para VERHNJAK (2015) e Avaré e Itaí para FOGAÇA (2014).

A situação atual de ambos é exemplificada na tabela 36.

Tabela 36 - Comparativo entre casos similares

Município	Situação	Contaminação	Contaminante	Técnica
VERHNJAK				
Taguaí	Remediação e encerramento	Água Sub. Fase Livre	Benzeno acima do VI	Bombeamento e Tratamento/ Biorremediação/SVE
Duração:	2245 dias (6 anos)	Volume de efluente bombeado:		2.116.470 litros (2.116m³)
Descrição:	Continuação em processo de remediação final, sendo monitorado para encerramento.			
Itaporanga	Remediação e encerramento	Água Sub. Solo	BTEX e HPA's	Bombeamento e Tratamento/ Biorremediação com bioestimulantes
Duração:	1110 dias (3 anos)	Volume de efluente bombeado:		584.000 litros (584m³)
Descrição:	Continuação em processo de remediação.			
FOGAÇA				
Avaré	Encerrada	BTEX acima VO Presença de HPA's	BTEX e HPA's	SVE, Dual Phase Extraction, Air Sparging
Duração:	297 dias	Volume de efluente bombeado:		Não consta
Descrição:	Encerrado com exito			
Itaí	Remediação e encerramento	Água Sub. Fase Livre	BTEX e HPA's	Bombeamento e Tratamento/ Injeção de ar/ Biorremediação
Duração:	762 dias (2 anos)	Volume de efluente bombeado:		438.000 litros (438m³)
Descrição:	Continuação em processo de remediação final, sendo monitorado para encerramento.			

Fonte: FOGAÇA, 2014. VERHNJAK, 2015.

O resultado final dos três comparativos traçados resultou em uma similaridade de 80% dos casos para processos de remediação associando técnicas de Bombeamento e Tratamento com Biorremediação.

Sobre o Bombeamento e Tratamento o próprio levantamento feito pela CETESB em 2013, constata como principal técnica de remediação de fase livre e dissolvida atualmente, utilizado em 91,3% dos casos de AC do Estado de São Paulo.

Dando sequência as etapas do Processo de Recuperação de AC, o Projeto de Remediação proposto levou ainda em consideração os seguintes fatores:

- Instalações do Posto B, com ênfase na presença do poço artesiano para abastecimento local de água para serviços e ingestão;
- Classificação do solo local como Latossolo Vermelho Amarelo;
- Análise do fluxo da água subterrânea local;

- Tipo e fases da contaminação presentes;
- Análise de risco;
- Projeção de expansão da pluma de contaminação;

Segundo Moraes et al. (2014), o Projeto de Remediação deve ser elaborado levando em consideração avaliações sistemáticas, claras e concisas. Dessa forma a proposta escolhida para o Posto B trata-se do Bombeamento e Tratamento associado à Biorremediação através de Bioestimulantes.

A escolha dessa técnica encontra-se enquadrada à nova abordagem dada a escolha dos métodos de remediação que atualmente levam em consideração questões relacionadas a sustentabilidade. Segundo Onbuwuya et al., 2009, na década de 1970, essa escolha levava em consideração apenas o envolvimento financeiro necessário e, nas décadas posteriores, a viabilidade tecnológica e a análise de risco respectivamente.

Além dos comparativos, a escolha da associação das técnicas de Bombeamento e Tratamento com Biorremediação, ao invés da simples injeção de nutrientes na água que acelerem a biorremediação, se baseia no fato de que o transporte de nutrientes para o ponto onde foram localizadas as contaminações tem se mostrado um fator limitante devido à instabilidade do comportamento do fluxo de água subterrânea e do tipo de geologia local (THOMAS e WARD, 1989).

Segundo Mariano et al. (2007), são três os tipos de biorremediação existentes. A primeira, trata-se da biorremediação intrínseca ou natural, com o uso de microrganismos presentes no próprio solo que, decompõem os contaminantes de forma natural sem a presença de técnicas ativas de remediação.

A segunda, trata-se do bioaumento que, através da injeção no solo de microrganismos enriquecidos artificialmente, potencializa a velocidade da decomposição dos contaminantes (MARIANO et al., 2007).

Por fim, a terceira técnica trata-se da bioestimulação que, faz o uso da adição de agentes nutrientes estimulantes como, oxigênio, nitrogênio, fosforo, enxofre e biossurfactantes (BENTO et al., 2003)

A biorremediação intrínseca ou natural proporciona uma recuperação mais lenta em relação as demais técnicas e, o bioaumento através de microrganismos enriquecidos artificialmente em diversos estudos não tem proporcionado melhoras significativas na degradação de HTP por estarem susceptíveis a toxinas ou predadores presentes no ambiente. (MÁRQUESROCHA et al., 2001),

Tendo em vista a necessidade do Posto B, a técnica de Biorremediação, sendo menos onerosa e com resultado previsto em menor espaço de tempo, biorremediação em reator facultativo com o uso de

bioestimulantes que aceleram o processo de decomposição dos contaminantes, se mostrou adequada.

Os reatores funcionam de forma a estabilizar condições ambientais apropriadas aos microrganismos a fim de otimizar seu crescimento e reprodução. São estabilizadas condições de pH, temperatura, disponibilidade de nutrientes e oxigênio. Juntamente a essa estabilização é realizado o processo de aeração da mistura solo/água que gera uma suspensão da ordem de 10% a 40% de sólidos responsável pelo aumento da biodisponibilidade dos contaminantes (JACQUES, 2007).

Segundo Spilborghs (1997), o desenvolvimento dos microrganismos decompositores dos hidrocarbonetos pode ser estimulado com nutrientes básicos como nitrogênio, fósforo e enxofre. Havendo um crescimento controlado do número de microrganismos no reator facultativo, o tempo de duração do processo de remediação pode ser adiantado, o que se mostra necessário para o Posto B tendo em vista que não há rede de abastecimento público no local.

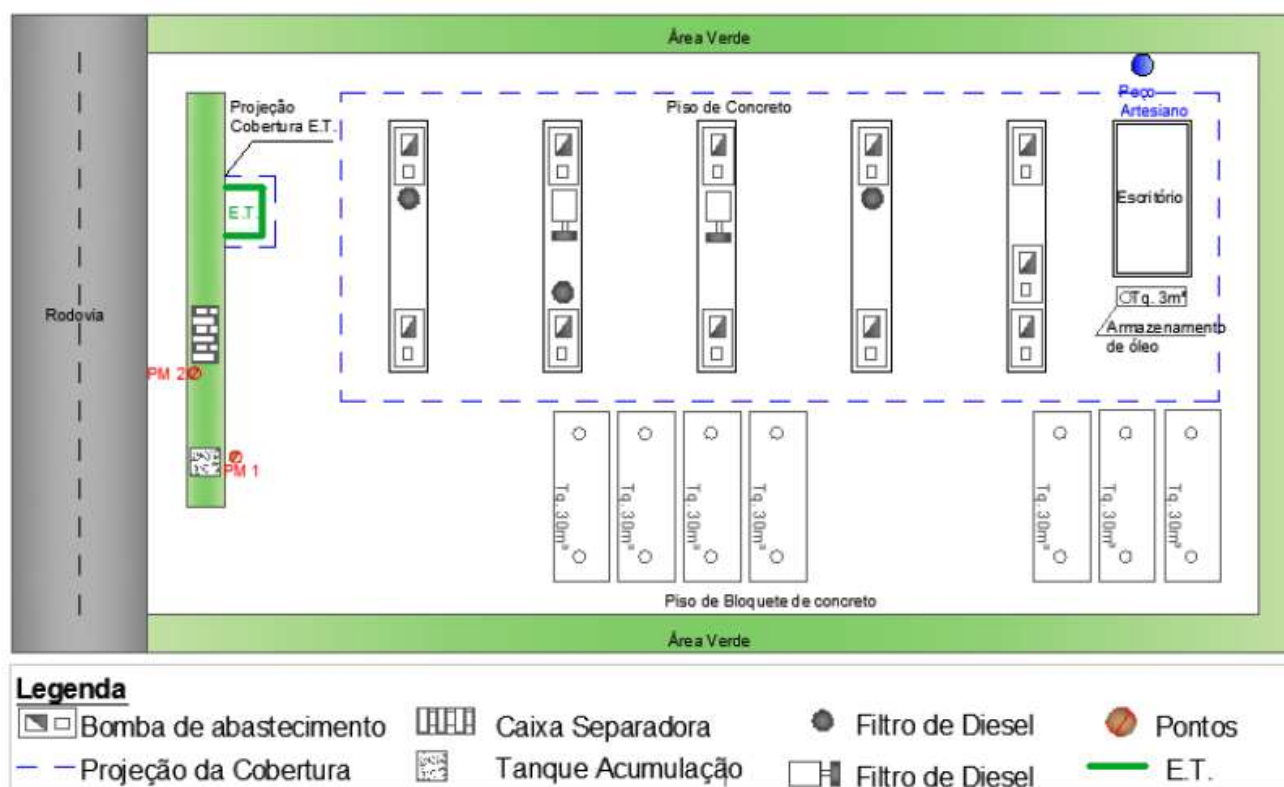
Essa técnica possui várias vantagens, dentre elas, a prática instalação composta por bombas pneumáticas instaladas em poços de monitoramento e tubulações que direcionam o efluente a ser tratado ao sistema de Biorremediação e, a principal, a retirada imediata da água contaminada através do Bombeamento.

Dentre as vantagens da associação da Biorremediação na recuperação da AC do Posto B tem-se:

- Operacional: não necessita grandes mudanças físicas para instalação de equipamentos e, conseqüentemente, paralisação das atividades rotineiras do posto;
- Econômica: sistema de baixo custo em relação a outras técnicas de remediação existentes atualmente no mercado e;
- Eficiência: comprovadamente eficaz em contaminações de mesma classe em meio subterrâneo em regiões similares.

Sendo assim para o Posto B, propõem-se a instalação de uma E.T. que consiste em um contêiner instalado próximo ao ponto PM02 que, abrigue os equipamentos necessários ao processo como mostra a figura 74.

Figura 74 - Local de instalação E.T.



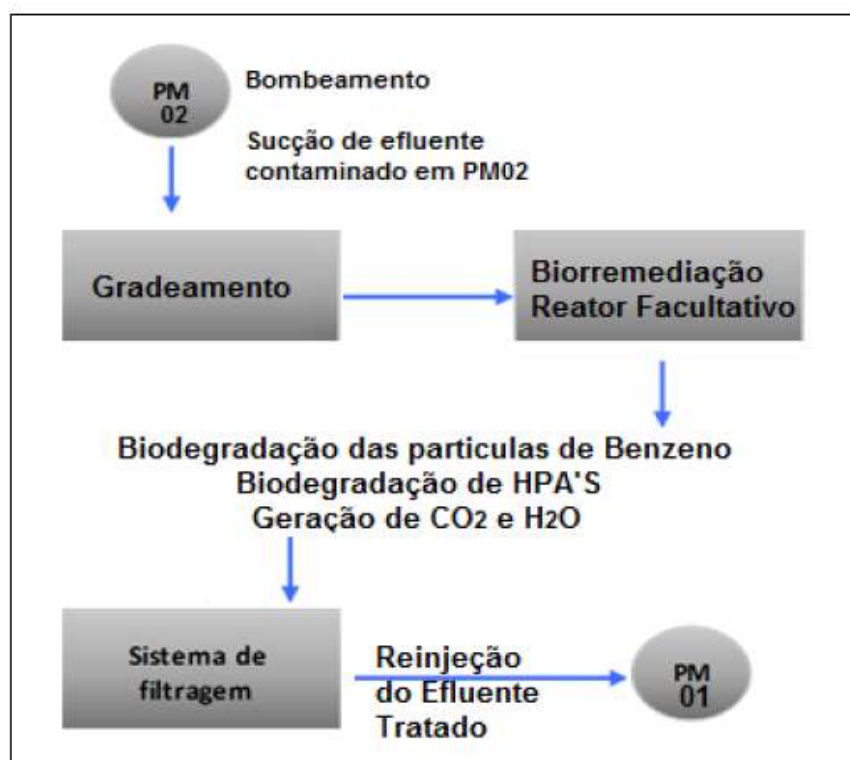
O container deve possuir ventilação e sistema elétrico próprio, podendo ser isolado por uma chave geral. O sistema de aterramento assim como no Posto A, também se faz necessário a fim de preservar a segurança dos operadores da E.T.

Antes de iniciar o processo de Bombeamento recomenda-se assim como no Posto A, a lavagem dos poços PM01 e PM02 para evitar danos aos equipamentos. Em seguida, uma bomba pneumática padrão de sucção instalada no ponto PM02 direciona o efluente bruto a E.T.

A través da bomba de sucção instalada em PM01, o efluente adentra a E.T. passando por uma filtragem através de gradeamento. Em seguida dá-se início a etapa de Biorremediação, técnica essa observada em 85% dos 21 casos levantados na Agência Regional da CETESB da cidade de Avaré.

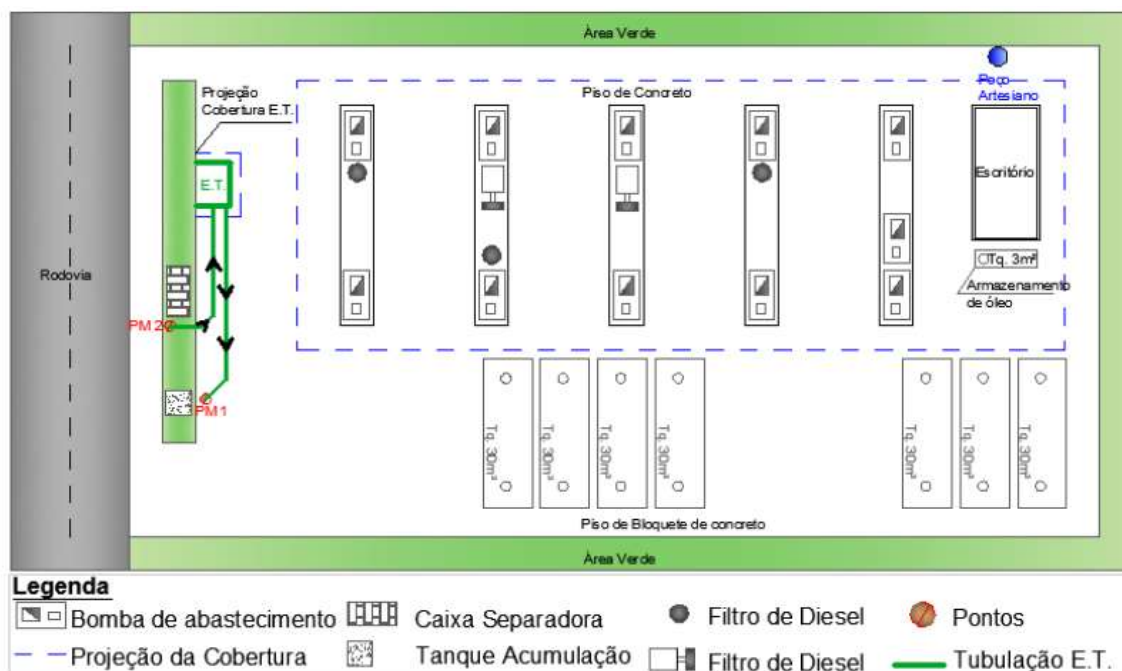
Ao final da Biorremediação são gerados água (H₂O) e gás carbônico (CO₂), elementos esses não tóxicos ao homem e ao meio ambiente, direcionados a um sistema de filtragem e, por fim, ao ponto PM02 para reinjeção no solo, como mostra a figura 75.

Figura 75 - Esquema de remediação Posto B



A locação do sistema de remediação proposto para o Posto B é demonstrada na figura 76.

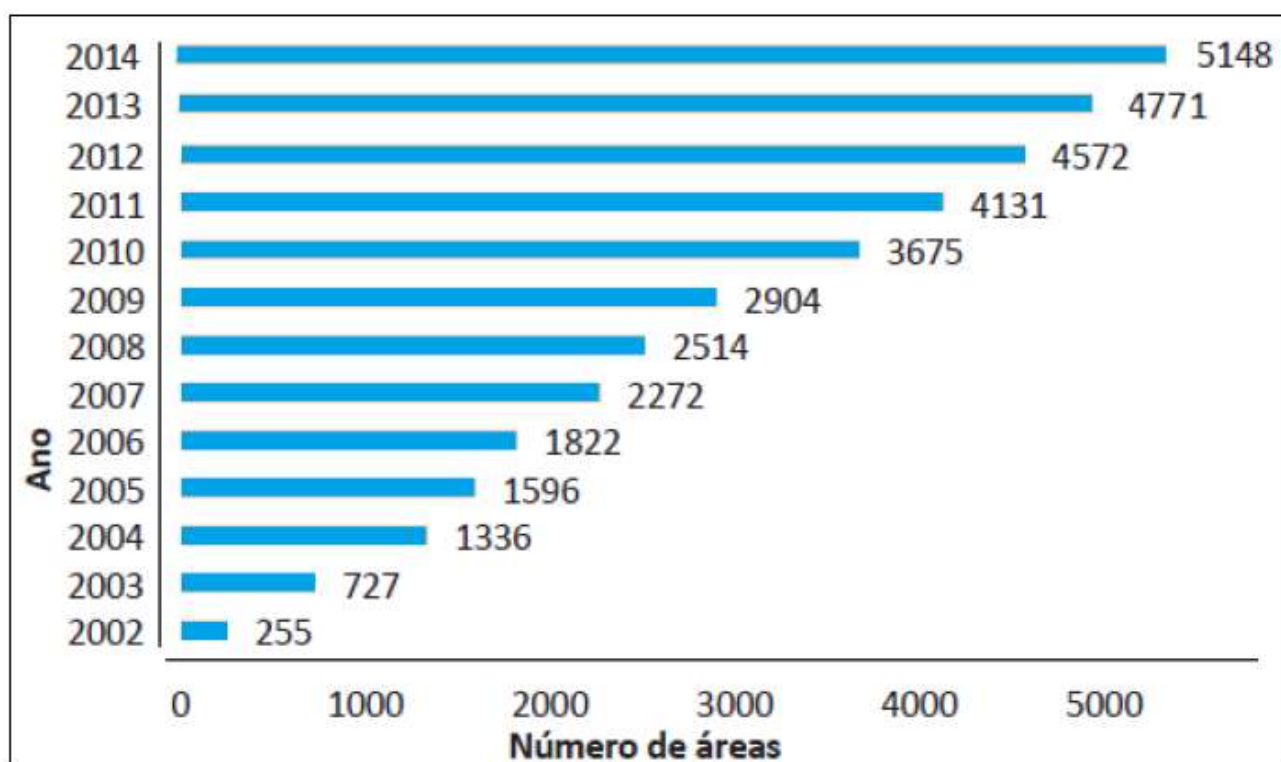
Figura 76 - Locação sistema de remediação



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O primeiro levantamento sobre AC no estado de São Paulo foi realizado em 2002 pela CETESB. Nessa época foram reconhecidas publicamente cerca de 255 AC. Desde então, o número de AC cresce notavelmente não só devido ao maior número de estabelecimentos comercializadores de combustíveis como também a intensificação da fiscalização. O aumento do número de AC ao longo dos últimos anos é demonstrado na figura 77.

Figura 77 - Levantamento de AC entre 2002 e 2014



Fonte: Adaptado de CETESB, 2014.

Tendo em vista o grande número de áreas contaminadas por HTP no estado de SP e, a importância da qualidade da água subterrânea responsável por 50% do abastecimento do país, este trabalho teve o propósito de estudar os casos de contaminação de solo e água subterrânea por hidrocarbonetos provenientes dos combustíveis gasolina e óleo diesel em postos de abastecimento.

A política de gerenciamento de áreas contaminadas da CETESB, é enfática no controle dos passivos ambientais de postos de abastecimento de combustíveis. Juntamente a essa atitude, a divulgação das consequências do contato do homem com esses contaminantes, como, por exemplo, as mutações genéticas associadas ao câncer e o comprometimento do sistema nervoso central, se fazem

necessárias 128 não só para alertar a população, como também, para empenha-la no objetivo de todos serem abastecidos por água potável de qualidade.

Foram atingidos os objetivos específicos e, conseqüentemente, gerado o material desejado para compor um banco de dados, que foi uma das justificativas deste trabalho.

7.1. POSTO A

Sobre o Posto A, os resultados obtidos pela remediação executada entre junho de 2009 e julho de 2014, foram de aproximadamente 627,00m³ de efluentes tratados, sendo a média de 0,34m³ diários e 10,27m³ mensais.

Em relação ao volume de efluente diário tratado nos postos de Verhnjak (2015) e Fogaça (2014), o volume tratado do Posto A foi inferior, considerando os valores de 0,94m³ para o posto do município de Taguaí e, 0,52m³ para o de Itaporanga de Verhnjak (2015) e; 0,57m² para o posto localizado também no município de Itai de Fogaça (2014).

A vazão tratada está diretamente relacionada com a precipitação local ocorrida no período do processo de remediação devido ao fato de altas precipitações gerarem maior depósito de água subterrânea e aumentarem a coluna d'água de forma a facilitar a sucção dos poços. Em períodos secos, as baixas precipitações afetam de forma significativa a vazão de efluentes encaminhados a E.T., devido à baixa, em algumas ocasiões inexistente, coluna d'água.

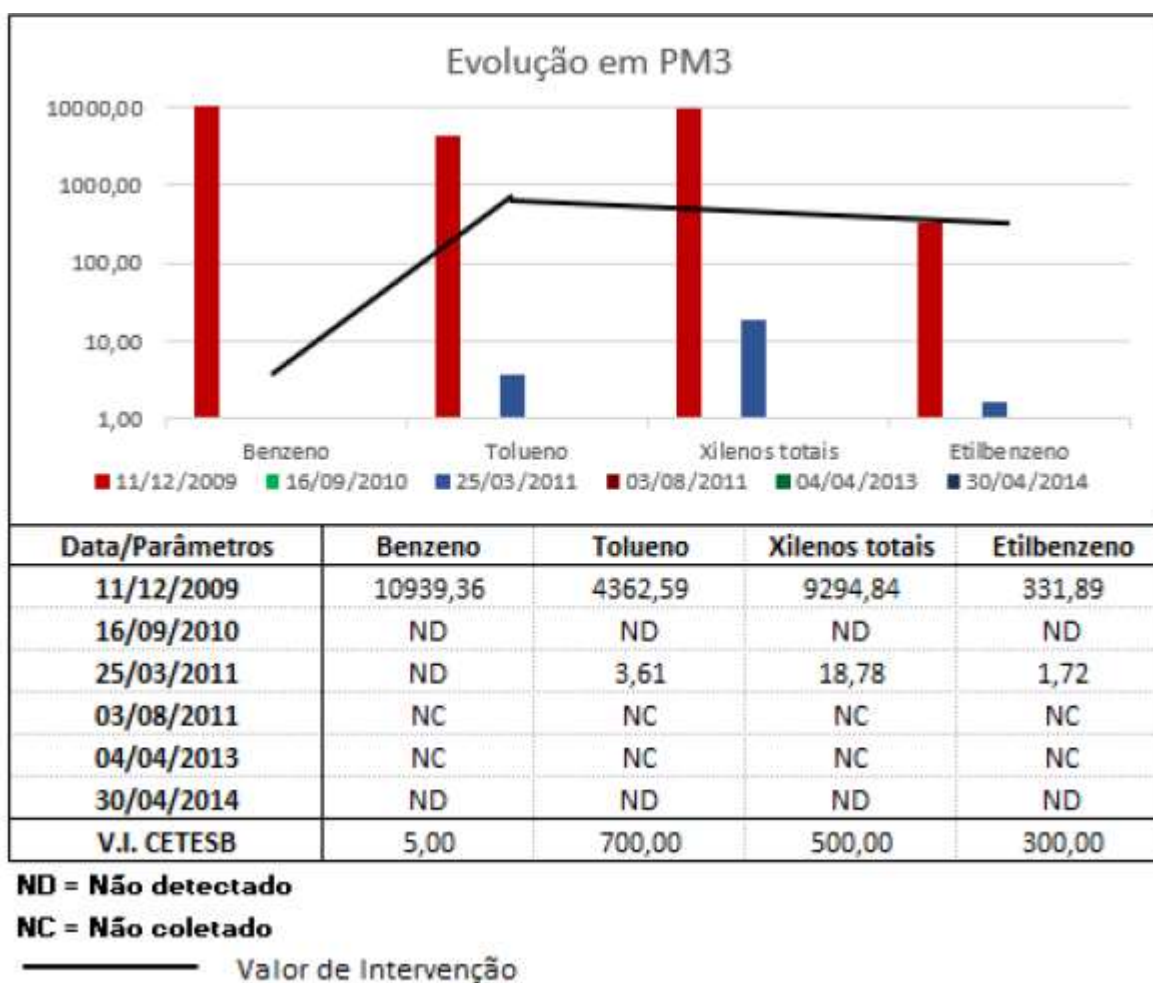
RESULTADO DA ET

A fase dissolvida dos compostos de BTEX estava presente nos pontos PM3, PM4, PM5, PM9, PM10, PM11 e PM13.

As figuras 78 a 84 demonstram a evolução da concentração de contaminantes em cada ponto.

No ponto PM3 não foram detectadas concentrações de hidrocarbonetos na última coleta realizada em abril de 2014, a remediação apresentou uma redução de 100%.

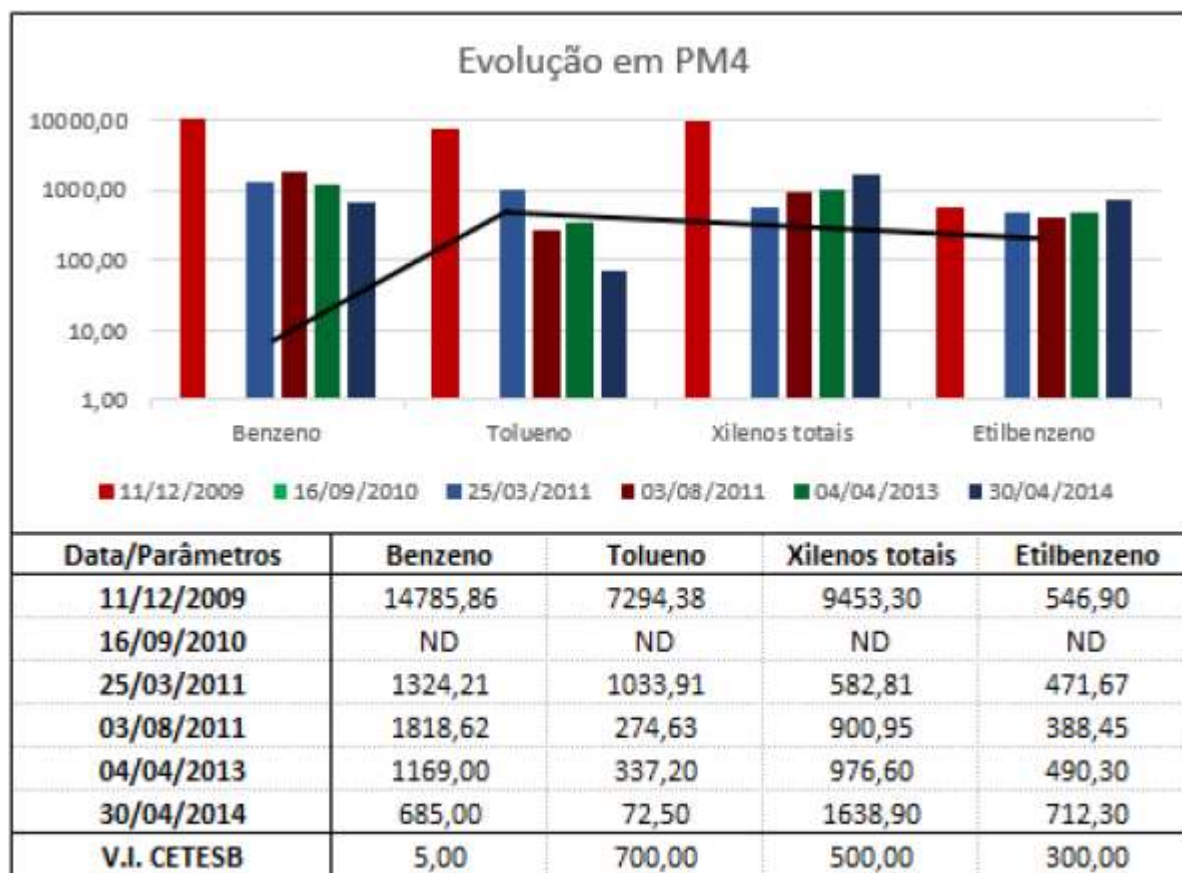
Figura 78 - Evolução da contaminação em PM3



Fonte: CBC Ambiental, 2014

No ponto PM4, a concentração de BTEX total apresentou significativa redução de 95,4% para benzeno, 99,0% para tolueno, 82,7% para xilenos totais e aumento de 30% para Etilbenzeno um aumento 30% justificado pelo deslocamento da pluma.

Figura 79 - Evolução da contaminação em PM4



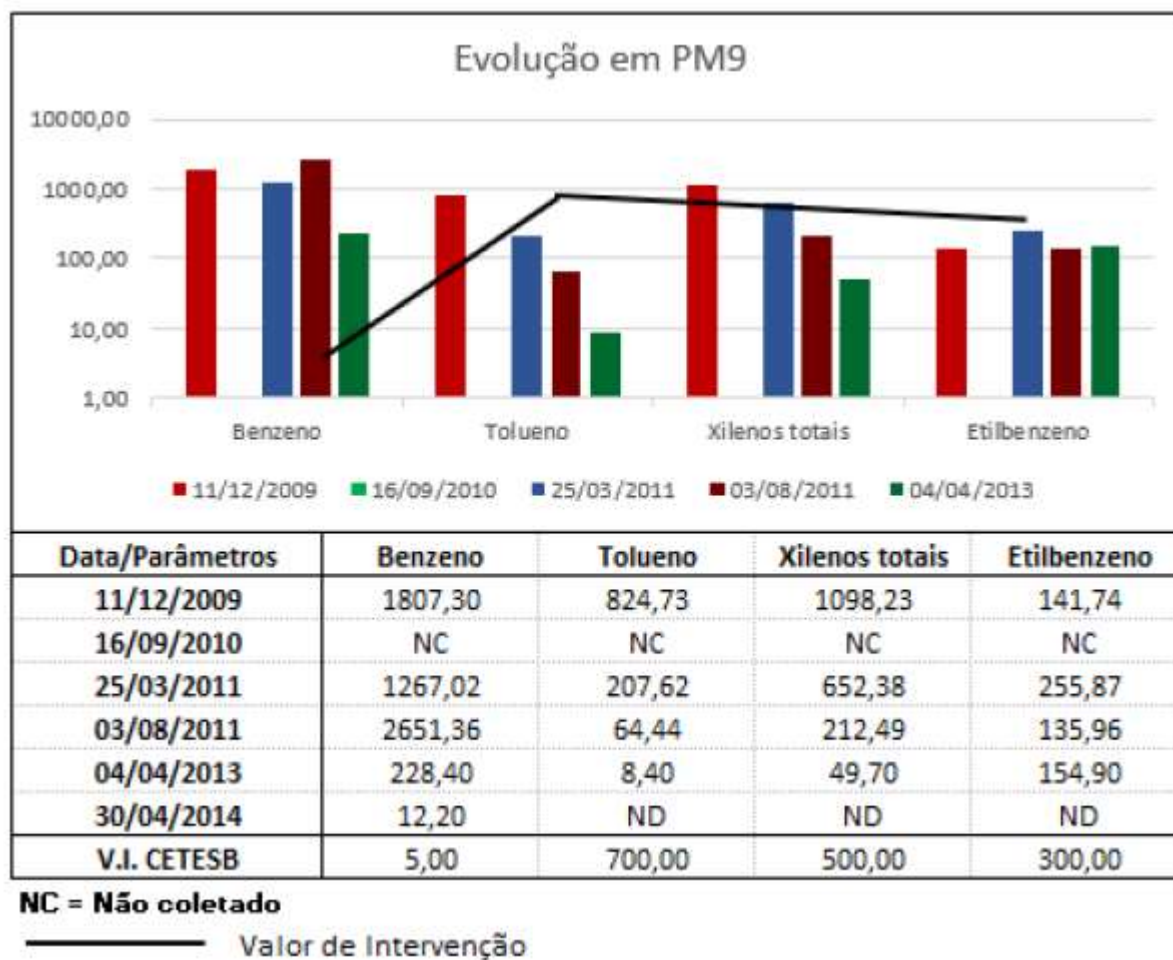
ND = Não detectado

— Valor de Intervenção

Fonte: CBC Ambiental, 2014

No ponto PM9, a concentração de BTEX total apresentou significativa redução de 99,3% para benzeno, 100% para tolueno, 100% para xilenos totais e 100% para Etilbenzeno.

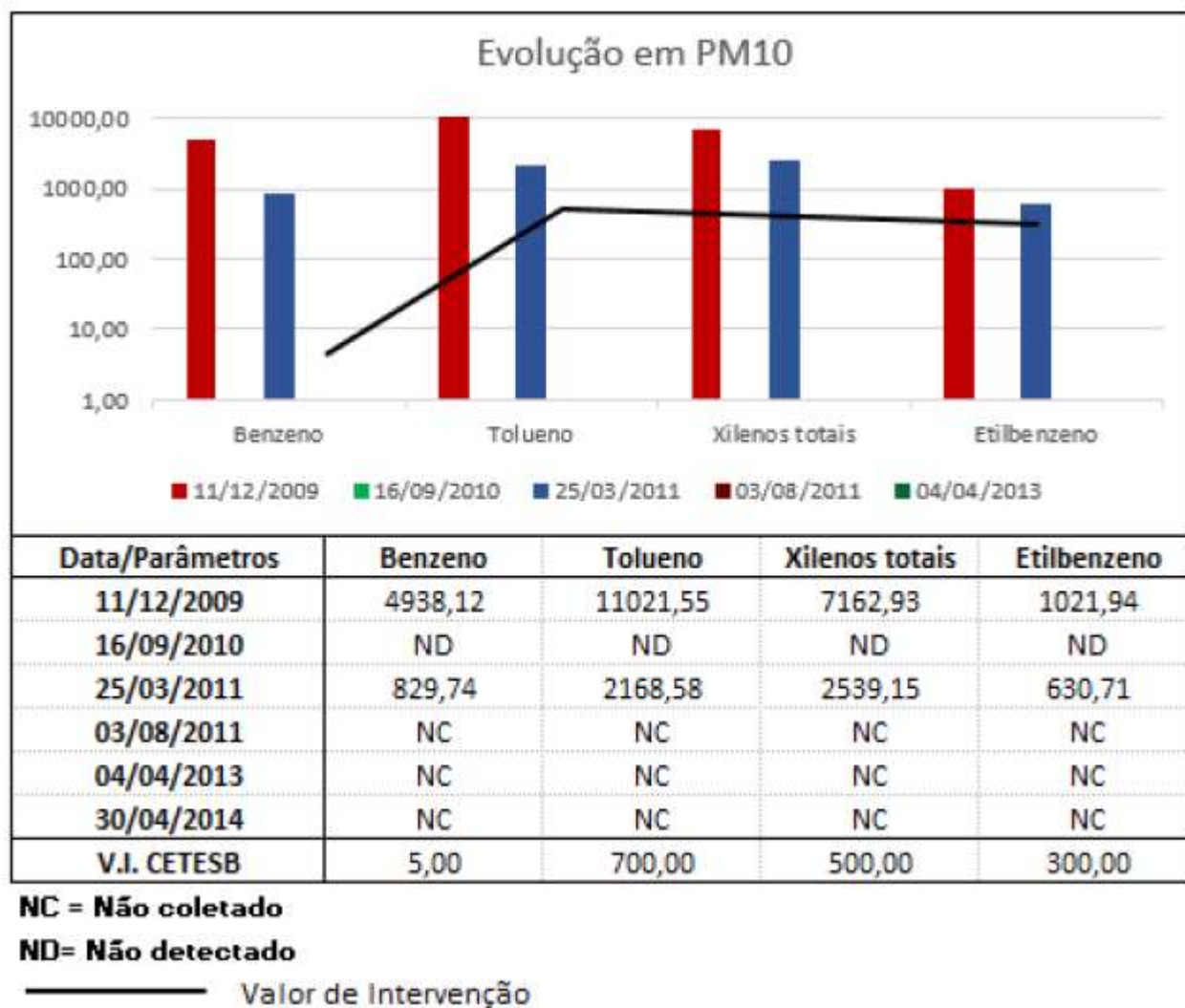
Figura 80 - Evolução da contaminação em PM9



Fonte: CBC Ambiental, 2014

O baixo nível em que se encontrava a água no momento das últimas três coletas do ponto PM10 não permitiu o recolhimento de amostras, porém a redução observada até a terceira coleta foi satisfatória atingindo reduções de 83,20% para benzeno, 90,3% para tolueno, 64,55% para xilenos totais e 38,3% para Etilbenzeno. Estima-se que ao longo de todo o tempo de tratamento em que não foi possível a coleta de mais amostras tenha havido mais uma significativa redução de todos esses parâmetros.

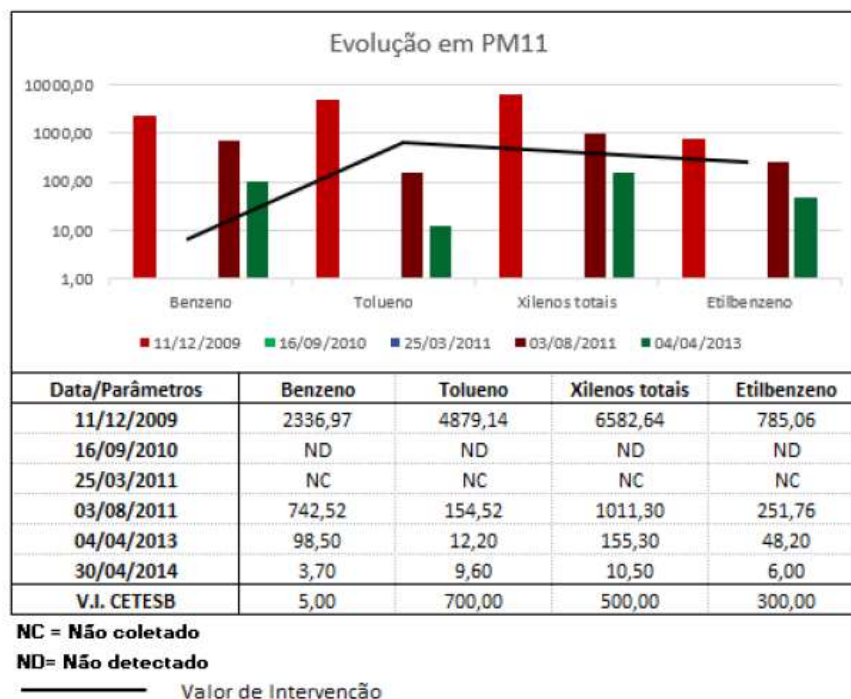
Figura 81 - Evolução da contaminação em PM10



Fonte: CBC Ambiental, 2014

No ponto PM11, a concentração de BTEX total apresentou significativa redução de 99,8% para benzeno, 99,8% para tolueno, 99,8% para xilenos totais e 99,2% para Etilbenzeno.

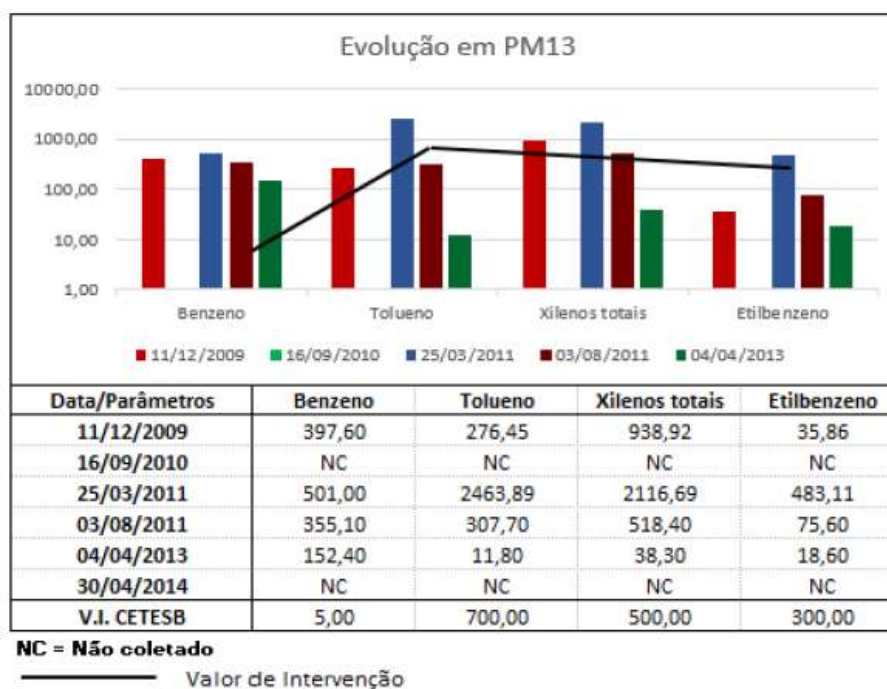
Figura 82 - Evolução da contaminação em PM11



Fonte: CBC Ambiental, 2014

No ponto PM13, a concentração de BTEX total apresentou significativa redução de 61,7% para benzeno, 95,7% para tolueno, 96,0% para xilenos totais e 48,1% para Etilbenzeno.

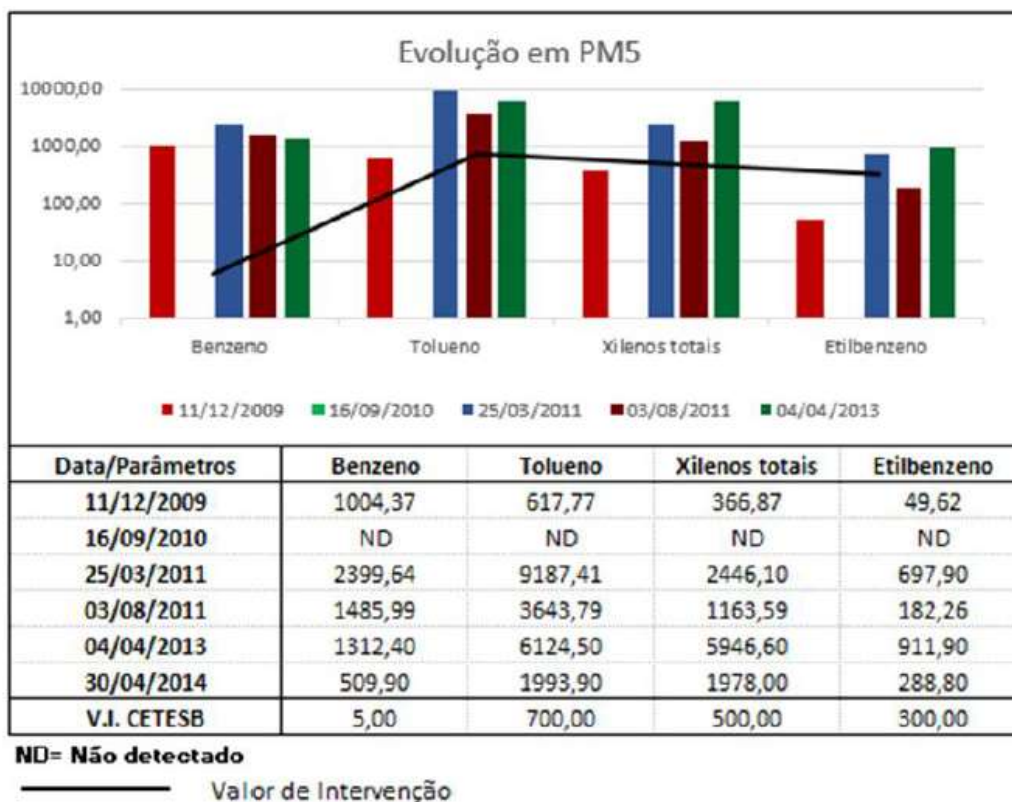
Figura 83 - Evolução da contaminação em PM13



Fonte: CBC Ambiental, 2014

No ponto PM5 o benzeno sofreu redução de 49,2%, o tolueno sofreu aumento de 222,7%, os xilenos totais aumento de 439,1% e o Etilbenzeno aumento de 482,0%. O aumento da concentração desses contaminantes é resultado da migração da fase residual presente nos outros pontos, para o ponto PM5 que é o ponto onde está a bomba de sucção que direciona os contaminantes para a estação de tratamento.

Figura 84 - Evolução da contaminação em PM5



Fonte: CBC Ambiental, 2014

A fim de demonstrar o comportamento da pluma durante o processo de remediação a figura 85 relaciona evolução da remediação em todos os pontos a uma única data de coleta de amostras.

Figura 85 - Evolução da remediação por coleta



Fonte: CBC Ambiental, 2014

Na primeira coleta realizada em dezembro de 2009, não foram observadas relevantes alterações no comportamento da pluma, porém, na coleta realizada em abril de 2011 foi observada a movimentação dos contaminantes em relação ao ponto PM5.

A coleta realizada em setembro de 2010 não foi considerada pois devido ao período de baixas precipitações não foram coletadas amostras suficientes.

7.2. POSTO B

Recomenda-se para o Posto B o imediato reparo da caixa separadora de água e óleo, visto ser essa a fonte primária identificada na Investigação Confirmatória.

A continuação dos procedimentos determinados no Manual de Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas, da CETESB de 2007, a saber, a Investigação Detalhada, proporcionará informações quantitativas a respeito da contaminação e a confirmação da localização da pluma.

A importância da continuação do processo investigativo se dá ao fato da água subterrânea local ser a única fonte de abastecimento de água potável do posto, sendo assim fundamental a análise do solo e da água subterrânea nas proximidades do poço artesanal.

O sistema de remediação proposto, baseado nas técnicas mais usadas nas proximidades dos Postos A e B, identificadas pela CETESB no ano de 2014, tem por objetivo a mudança dos cenários de risco, o enquadramento do contaminantes nos VO'S e a reclassificação da área como AR.

8. CONCLUSÕES

A observação do Manual de Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas, da CETESB de 2007, permitiu classificar imediatamente os Postos A e B, como AP devido à manipulação de substâncias de risco ao homem e ao meio ambiente.

À partir dessa classificação, o procedimento seguinte da Avaliação Preliminar composto de coleta de dados, busca do histórico das atividades exercidas no estabelecimento, estudos sobre o meio físico e reconhecimento da área, confirmou indícios de possível contaminação reclassificando ambos os postos como AS.

Após essa classificação, e com base nos procedimentos referentes a cada posto, apresentam-se conclusões particulares para estes, a saber:

Posto A:

- Por meio da avaliação da Investigação Confirmatória, foram comparadas as concentrações de contaminantes identificados nas amostras de solo e água subterrânea, aos Valores Orientadores para Solos e Água Subterrânea no Estado de São Paulo da CETESB de 2005. Sendo,

através dessa avaliação, identificada a presença de hidrocarbonetos em amostras de água subterrânea, foi afirmada a contaminação em fase dissolvida, reclassificando a área do Posto A como AC;

- A avaliação da Investigação Detalhada permitiu identificar a presença de contaminação em fase livre e dissolvida, delimitar a pluma de contaminação existente no local e definir as possíveis fontes primárias de acordo com o local, intensidade e tipo dos contaminantes encontrados;
- O estudo do fluxo da água subterrânea, que identificou a movimentação da água de Sudeste (SE) para Noroeste (NO), juntamente com o cálculo da velocidade do fluxo, permitiram a previsão de número de anos para que esses contaminantes atinjam as áreas limítrofes do posto;
- A análise de risco realizada com base na metodologia ACBR, permitiu classificar o nível de risco do tipo de contaminação encontrado como nível 2, “Vazamento de proporção intermediária, de abrangência regional, que requer o apoio de diferentes empresas e instituições, e agências governamentais”. Foram identificados possíveis cenários de risco, sendo considerados cenários positivos para o caso de contato dérmico com a água subterrânea por funcionários e população do entorno. Foram também levantadas a porcentagem da população sem abastecimento público de água que, apesar de pequeno, da ordem de 0,4%, encontra-se estagnado desde o ano de 2010;
- Para a remediação do posto foram associadas técnicas de Bombeamento e Tratamento, Biorremediação e Extração de Vapores do Solo. O processo de biorremediação que consiste na biodegradação dos hidrocarbonetos através da inserção de microrganismos que metabolizam, digerem e convertem os contaminantes em gases inócuos (CO₂) e em água (H₂O), foi de importância fundamental para o processo;
- Por fim, a associação das técnicas de remediação proporcionou redução significativa nas concentrações de BTEX totais. Excetuando-se o ponto PM05 que apresentou aumento na concentração de BTEX devido à fase residual gerada por migração de contaminantes no solo, os pontos 4, 9, 10, 11 e 13 apresentaram reduções de 88,64%, 74, 44%, 97, 85% e 86, 69%, respectivamente. Houve o enquadramento das concentrações de contaminantes nos Valores de Intervenção da CETESB para águas subterrâneas. O processo de remediação utilizado continua operante até que essas concentrações se tornem nulas.

Posto B:

- Através da avaliação da Investigação Confirmatória, a área do Posto B foi classificada como AC, devido à presença de hidrocarbonetos em fase dissolvida, porém, devido à fonte primária distintas àquelas do Posto A. A possível fonte primária identificada foi a ocorrência de microfissuras na Caixa separadora de água/óleo;
- A partir do Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis da CETESB de 2007, foram propostos 10 pontos para sondagem e instalação de poços de monitoramento a fim de delimitar a pluma de contaminação;
- O estudo do fluxo da água subterrânea, identificou a movimentação da água de Norte (N) para Sul (S) e, assim como no Posto A, juntamente com o cálculo da velocidade do fluxo, permitiram a previsão de número de anos para que esses contaminantes atinjam as áreas limítrofes do posto;
- A análise de risco realizada classificou a contaminação como de nível 2, e os possíveis cenários de risco com resultado positivo foram o contato dérmico com a água subterrânea por funcionários e população do entorno e, o principal, a ingestão de água subterrânea tendo em vista que o poço artesiano local é o único meio de abastecimento de água potável do posto. O levantamento da população abastecida por rede pública de água, apesar de demonstrar um progresso significativo passando de 38,15% para 57,45% nos anos de 2012 a 2013, ainda se encontra muito abaixo da média nacional de 79,54%;
- O estudo das sondagens do solo permitiu a caracterização e classificação do solo local como Latossolo Vermelho Amarelo. Essa classificação foi fundamental para escolha de 21 AC com mesmas características usadas posteriormente no comparativo traçado entre os métodos de remediação;
- Por fim, através do Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis da CETESB de 2007, juntamente com o comparativo dos processos de remediação executados em 21 AC por hidrocarbonetos em municípios próximos escolhidos devido às características semelhantes ao Posto B, permitiram o traçado de uma proposta de remediação.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NBR 13895: Construção de poços

de monitoramento e amostragem: procedimentos. 1997.

_____.

NBR 10004: Resíduos sólidos Classificação. 2004

_____.NBR 15515-1: Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1: Avaliação Preliminar. 2008.

_____.NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. 2001.

_____.NBR 15495. Poços de Monitoramento em Aquíferos Granulares. Parte 1: Projeto e execução e Parte 2: Desenvolvimento. 2007.

ADAM, G.; DUNCAN, H. J. (2002). Influence of diesel fuel on seed germination. Environmental Pollution, v. 120, p. 363-370.

AGUIAR, C. R. C.; LOPES, B. C.; BARBOSA, M. V. D. Fitorremediação de Solos Contaminados por Petróleo. Revista Trópica, Rio de Janeiro: nº 1, v. 6, p. 3 - 9. 2012.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO Boletim de Abastecimento de Fevereiro de 2015. Nº 47. Disponível em: <[http://www'.anp.gov.br/postos/consulta.asp](http://www.anp.gov.br/postos/consulta.asp)>. Acessado em: 11 junho. 2015.

ANTONIOILLI, Z. I.; BENTO, F. B.; JACQUES, R. J. S. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons. Ciência Rural, Santa Maria: nº 4, v.37, p. 1192-1201, julho, 2007.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health assessment guidance manual. Atlanta: ATSDR, 2005.

AYININUOLA, G. M.; KWASHIMA, O. F. Effect of Diesel Oil Contamination on Soil Natural Recharge of Groundwater. 2nd International Conference on Geological and Civil Engineering, Singapore: v. 80, 2015.

BAPTISTA, S. J. Avaliação do Emprego de Biossurfactante na Biorremediação de Solos Contaminados com Óleo Diesel. 141 p. Tese de Doutorado. UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2007.

BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O.; OKEKE, B. Biorremediação em solo contaminado por óleo diesel. *Jornal Brasileiro de Microbiologia*, v.34 (Supl.1), p. 65-68, 2003.

BENTO, F. B.; CAMARGO, F. A. O.; JACQUES, R. J. S.; SILVA, K. J. Bioremediation of a soil contaminated with anthracene under different chemical and physical conditions. *Ciência Rural*, Santa Maria: nº 2 v.40, p. 1-10, fevereiro, 2010.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Fundação Roberto Marinho, 2004. Disponível em :< www.oaquiferoguarani.com.br >. Acessado em 10 de junho de 2015.

BRAGA, Benedito. et al. Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do Desenvolvimento sustentável. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Pretice Hall, 2005.

CALZA, A.; LIMA, H. M.; BENASSI, R. F. Estudo de caso sobre contaminação do solo e água subterrânea por benzeno na região de Barueri (SP). *Revista Hipótese*, Itapetininga: nº 3, v. 1, p. 6 – 24, maio 2015.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas aplicações. 6. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 1 v.

CASAGRANDE, A; R.E. FADUM. Notes on soil testing for engineering purposes. Harvard Univ. Graduation School of Engineering Publ. 1940. 74 p.

CBC AMBIENTAL. Laudo técnico de passivo ambiental. Investigação confirmatória. Machado & Machado Itaí Ltda. Bauru- SP. 2008. 102 p

_____. Relatório do processo de remediação de área contaminada. Machado & Machado Itaí Ltda. Bauru- SP. 20014. 30-36 p.

CEPAM. CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Municípios Paulistas- Itaí 2009. Disponível em: <<http://www.cepam.org/municipios/municipios-paulistas/itai.aspx#ad-image-0> 24-03 >. Acessado em 10 de maio de 2015. Il. Color.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de gerenciamento de águas contaminadas do Estado de São Paulo. Investigação Detalhada. São Paulo - SP. 1999a. 10 p.

_____. Manual de gerenciamento de águas contaminadas do Estado de São Paulo. O gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo - SP. 1999b.

_____. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo- SP. 2001. 247 p.

_____. Manual de gerenciamento de águas contaminadas do Estado de São Paulo. Investigação Detalhada. São Paulo - SP. 2004. 2 p.

_____. Decisão de diretoria nº195-2005-E, 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo- 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001, e dá outras providencias. São Paulo- SP. 2005. 4 p.

_____. Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis. São Paulo- SP. 2006a.

_____. Ações corretivas baseadas em risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos. São Paulo- SP. 2006b.

_____. Procedimentos para gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo – SP. 2007.

_____. Texto explicativo sobre relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. Diretoria de controle e licenciamento ambiental. São Paulo – SP. 2013. 4 p.

_____. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas do Estado de São Paulo. São Paulo – SP. 2014.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. Estratégia temática de proteção do solo. Bruxelas – Bélgica. 2006.

CORSEUIL, H.X. Enhanced Degradation of Mono-aromatics Hydrocarbons in Sandy Aquifer Materials by Inoculation Using Biologically Active Carbon Reactors. PhD dissertation, Ann Arbor, MI, EUA, 1992.

CORSEUIL, H. X.; ALVAREZ, P. J. J. Natural bioremediation perspective for BTX contaminated groundwater in Brazil: effect of ethanol. Wat. Sci. Tech., v. 34, p.311-318, 1996.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, Marcus Dal Molin. Efeitos causados pela mistura de gasolina e álcool em contaminações de águas. Bol. Técnico Petrobras, Rio de Janeiro. 133-138. 1998. Disponível em: <www.ingenieroambiental.com/rbca/rbca2.pdf. > Acesso em outubro de 2015.

DIAS, A. E. X. O. Biorremediação de áreas afetadas por resíduos sólidos tóxicos. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. 2000.142 p.

DEON, M. C.; ROSSI, A.; MAGRO C. D.; REINEHR C. O.; COLLA L. M. Biorremediação de solos contaminados com resíduos oleosos através de bioaumentação e atenuação natural. Ciencias exatas e tecnológicas, Londrina: nº 1, v. 33, p. 73 – 82, junho 2012.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3º Edição. Brasília – DF. 2013. il. Color.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Soil vapor extraction. How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites. Washington – DC. 1994.

FERREIRA, Sayonara. Estudos laboratoriais para a avaliação do potencial de contaminação de água e de solo por gasolina oxigenada. 257 p. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geotécnica. Universidade de São Carlos, São Carlos. 2000.

FOGAÇA, P. H. C; Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP. 2014. 174 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. UNESP-Bauru. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

FREIRE, P. A. C. Bombeamento e tratamento de plumas de hidrocarbonetos em diferentes aquíferos contaminados por postos de combustíveis. 140p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.

FREITAS, D. A. F.; PEREIRA, A. R. B. Uso de microrganismos para a biorremediação de ambientes impactados. Gestão, educação e tecnologia ambiental, Lavras: nº 6, v. 6, p. 975-1006, outubro, 2012.

G&D ENGENHARIA AMBIENTAL E CIVIL. Relatório de Investigação de Passivo Ambientais em Posto de Combustível. Itai-SP. 2014. 42 p.

GEOGOIÁS. AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS. Estado Ambiental de Goiás. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Goiás – GO. 2002.

GOUVEIA, J. L. N. Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamento de combustíveis em postos e sistemas retalhistas. Dissertação de mestrado. Mestrado em saúde pública. Universidade de São Paulo. São Paulo - SP. 2004.

GUIGUER, Nilson. Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento. Waterloo Hydrogeologic Inc. Ontario; Waterloo Hydrogeologic; 1996. 356 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Itai 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=352180&search=sao-paulo%7Citai%7Cinfograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. Acesso em março de 2015.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO. Mapa pedológico solos Estado de São Paulo. 1999. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/mapa_pedologico_Solos_Estado_de_Sao_Paulo.pdf. Acesso em março de 2015

JUWARKAR, A. A.; SINGH, S.K.; MUDHOO, A. A Comprehensive overview of elements in bioremediation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. v. 9, n. 3, p.215-288, Setembro. 2010.

MARANHÃO, D. et al. Procedimentos de investigação e avaliação da contaminação em postos de combustíveis, utilizando metodologias de análise de risco. 2007. 157 p. Monografia. Universidade Federal da Bahia- UFBA- Departamento de hidráulica e saneamento curso de especialização em gerenciamento e tecnologias ambientais na indústria. Salvador – BA.

MARIANO, A. P. Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel. 2006. 162 p. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

MARIANO, Adriano Pinto. et al. Monitoramento de indicadores geoquímicos e avaliação de biodegradação em área contaminada com óleo diesel. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro , v. 12, n. 3, p. 296-304, set. 2007 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-1522007000300009&lng=pt&nrm=iso>. acesso em 17 mar. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000300009>.

MÁRQUEZ-ROCHA, F. J.; HERNANDÉZ-RODRIGUES, V.; LAMELA, M. R. Biodegradation of diesel oil in soil by a microbial consortium. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 128, p. 313-320, 2001.

MARTINS, A.; DINARDI, A.L.; FORMAGI, V.M.; LOPES, T.A.; BARROS, R.M.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; SOBRINHO, G.D.; 2003. Biorremediação. In: Fórum de Estudos contábeis, 3., Rio Claro – SP. Anais do 3 fórum de estudos contábeis Rio Claro – SP: Faculdades Integradas Claretianas.

MENEGHETTI, L. R. R. Biorremediação na descontaminação de solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel. 112 p. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia e Arquitetura, UPF, Passo Fundo, RS, 112p. 2007

MILLER, A. Remediação de fase livre de gasolina por bombeamento duplo: estudo de caso – São Paulo. 2001. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociencias. Universidade de São Paulo. São Paulo. 133p. 2001.

- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Percentual de domicílios com abastecimento por poço/nascente. Levantamento entre 2006 a 2013. Município de Itaí. Sistema de Informação da Atenção Básica – SIAB.
- MORAES, S. L. et al. Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de áreas contaminadas. Edição IPT e BNDES. 398 p. 2014.
- NEIVA, J. Conheça o petróleo. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 5 ed.^a, 1986.
- NEWELL CJ, ACREE SA, ROSS RR & HULLING SG. Light Nonaqueous Phase Liquids. Ground Water Issue. Environmental Protection Agency. Oklahoma. 1995. 25 p.
- NETTO, A. D. Evaluation of human contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) and their nitrated derivatives (NHPAS): a review of methodology. Química Nova, v. 23. São Paulo- SP. 2000. 765-773 p.
- NOBRE, M. M., R. M. NOBRE, R. M., SANTOS, P.R. Penalva and Vilela, G. M.- Effetive Groundwater Hydraulic Control of an Organic Plume at the Camaçari Petrochemical Complex- International Symposium on Management and Operation of Environmental Control systems in the Chemical and Petrochemical Industry. Salvador – BH. 1998.
- NRC (National Research Council). Innovations in Ground Water and Soil Cleanup: From Concept to Commercialization. National Academy Press, Washington D.C. 1997.
- NRC (National Research Council). Bioavailability of Contaminants in Soils and Sediments - Processes, Tools, and Applications. National American Press, Washington, D.C. 2003.
- OLIVEIRA, E. Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo. 112 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 1992.
- OLIVEIRA, J. B. Pedologia aplicada. 2º edição. Piracicaba – SP. ESALQ, 2005a, 574 p.
- OLIVEIRA, J C S. (2005). Águas Subterrâneas. Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos. Florianópolis: UFSC/UFAL/FUNIBER, 2005b. 120p.
- ONU. Desenvolvimento de recursos hídricos. Fórum Mundial das águas. Marselha, França. 2012.
- ONU. Objetivos do milênio. 5º Relatório nacional de acompanhamento. Programa das nações unidas para o desenvolvimento. Brasil. 2000. 115 p.

PATNAIK, P. Handbook of Environmental Analysis: Chemical Pollutants in Air, Water, soil, and Solid Wastes. 1996. 604p.

PEDRON, F. A. et al. Solos Urbanos. Ciência Rural. Santa Maria, volume 34, n.5, 1647-1653, 2004.

PEREIRA, D. S.; GOMES, R. C.; SEMÊDO, L. T. A. S. Potencial das Actinobactérias na Biodegradação de Hidrocarbonetos. Revista TECCEN. Centro de Ciências Exatas, Tecnológicas e da Natureza, Vassouras: nº 2, v. 5, p. 71 – 96, agosto 2012.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. Capital Ecológico, Uso e Conservação. São Paulo – SP. 2ª Ed. Revisada e ampliada. 2002.

RESENDE, M. Pedologia: base para distinção de ambientes. 5ª Edição. Lavras – MG. 2007. 322p.

RODRIGUES, S.; DUARTE, A.C. (2003). Poluição do solo: revisão generalista dos principais problemas. O Ambiente e a Saúde. Lisboa, p. 136 – 176.

ROSS, Jurandy; MOROZ, Izabel.

Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo Escala 1:

500.000. São Paulo: Laboratório de geomorfologia Departamento de Geografia FFLCH USP /

Laboratório de Cartografia Geotécnica Geologia Aplicada IPT/ FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo ,

SÁNCHEZ, L.E. A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 1998. 178p.

SANTOS, R. M. et al. Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – Escala Piloto. 4º PDPETRO. Campinas, 10 p., 2007.

SANTOS, D. A. R. Análise do monitoramento ambiental e da delimitação das plumas de contaminantes provenientes de vazamentos em postos de combustíveis: estudos de caso no Médio Vale do Paraíba. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SECRETÁRIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. Mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos- UGRHI. 1994. Disponível em: < <http://143.107.108.83/sigrh/cobranca/referencia.html> >. Acesso em março de 2015.

- SILVA, M.O. Aquíferos costeros en Portugal - Estado actual de conocimientos. 2003. 159-167 p. Dissertação de Mestrado em Geologia. Inst. Geológico y Minero de España.
- SILBORGHS, M. C. F. Biorremediação de aquífero contaminado com hidrocarboneto. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997.
- VERHNJAK, M. S. S. Avaliação da eficiência da técnica de remediação de solo contaminado por hidrocarbonetos. 2015. 94 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. UNESP-Bauru. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (Em andamento).
- TRANNIN, I. Poluição das águas. Parte 1- Águas subterrâneas. Remediação de solos e águas subterrâneas. Tratamentos. In situ. Universidade Estadual Paulista. UNESP-Guaratinguetá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. 2014. 103 p. 126 p.
- TECNOHIDRO. Tecnohidro Projetos Ambientais. Plano de Gerenciamentos Ambiental. São Paulo – SP. 2001.
- THOMAS, J.E., TRIGGIA, A.A., CORREIA, C.A., VEROTTI FILHO, C., XAVIER, J.A.D., MACHADO, J.C.V., SOUZA FILHO, J.E., PAULA, J.L., DE ROSSI, N.C.M., PITOMBO, N.E.S., GOUVEIA, P.C.V.M., CARVALHO, R.S., BARRAGAN, R.V. Fundamentos de engenharia de petróleo. Rio de Janeiro: Inter ciência/PETROBRAS, 271p. 2001.
- THOMAS, J. M.; WARD, C. H. In situ bio restoration of organic contaminants in ground water in the subsurface. Environmental Science and Technology, v.23(7), p. 760-766, 1989.
- TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação da cinética de biodegradação dos compostos tóxicos: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno. 2008. 157 p. Dissertação de mestrado. Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR.
- UNCTAD. Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento. Relatório da Organização Não Governamental Defensora da Água. O Estado Real da Contaminação das Águas no Brasil. Itália. 2004.
- USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A Citizen's Guide to Air Stripping. Office of Solid Waste and Emergency Response, 2001.

VIANNA, M. D. A.; MARCATTO, F. S.; GUNTHER, W. M. R. Mídia e Meio Ambiente: a Contaminação do Solo pela Shell, na Vila Carioca (SP). V Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, Florianópolis. Outubro, 2010.

ANEXOS

Anexo A- Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo



Publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I
(Poder Executivo, Seção I), edição nº 124 (36) do dia 21/02/2014, Página: 53.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Referente ao Relatório à Diretoria nº 001/2014/E/C/I, de 14.02.2014

Relator: Carlos Roberto dos Santos, Aruntho Savastano Neto e Ana Cristina Pasini da Costa

DECISÃO DE DIRETORIA Nº 045/2014/E/C/I, DE 20 DE FEVEREIRO DE 2014.

Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências.

A Diretoria Plena da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, no uso de suas atribuições estatutárias e regulamentares, e considerando o contido no Relatório à Diretoria nº 001/2014/E/C/I, que acolhe, DECIDE:

Artigo 1º – Aprovar os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, constantes do **ANEXO ÚNICO** que integra esta Decisão de Diretoria, em substituição à Tabela de Valores Orientadores aprovada pela Decisão de Diretoria nº 195/2005/E de 23.11.2005, publicada no Diário Oficial do Estado em 01.12.2005.

Parágrafo Único – Os Valores Orientadores aprovados por este artigo deverão ser revisados anualmente e submetidos à deliberação da Diretoria Plena da CETESB.

Artigo 2º – Os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas – 2014 deverão ser adotados, no que couber, em todas as regras pertinentes da CETESB e nas Normas Técnicas, já editadas ou a serem publicadas, tais como **P 4.002** – “Efluentes e Lodos Fluidos de Indústrias Cítricas – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola”; **P 4.230** – “Aplicação de Lodos de Sistema de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas – Critérios para Projeto e Operação” e **P 4.233** – “Lodos de Curtumes – Critérios para o Uso em Áreas Agrícolas e Procedimentos para Apresentação de Projetos”, que utilizem Valores Orientadores para a fixação de limite de concentração de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas.

Artigo 3º – Esta Decisão de Diretoria entra em vigor na data de sua publicação, surtindo seus efeitos na seguinte conformidade:

- I. a partir de 1º de setembro de 2014 – aplicação dos Valores de Intervenção (VI) e de Prevenção (VP) para as substâncias que, em relação aos publicados em 2005, tenham sofrido alteração para valores mais restritivos, bem como dos VI e de VP para as novas substâncias relacionadas no Anexo Único que integra esta Decisão de Diretoria.
- II. a partir da publicação desta Decisão – aplicação dos Valores de Intervenção (VI) para as substâncias que, em relação aos publicados em 2005, tenham mantido os valores anteriores ou que tenham sofrido alteração para valores menos restritivos.



COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Referente ao Relatório à Diretoria nº 001/2014/E/C/I, de 14.02.2014

Relator: Carlos Roberto dos Santos, Aruntho Savastano Neto e Ana Cristina Pasini da Costa

Publique-se a presente Decisão de Diretoria e seu Anexo Único no Diário Oficial do Estado, Poder Executivo, Seção I, na parte da Secretaria de Meio Ambiente e no sítio eletrônico da CETESB, na Internet e na Intranet.

Diretoria Plena da CETESB, em 20 de fevereiro de 2014.

ORIGINAL
DEVIDAMENTE
ASSINADO

Otávio Okano
Diretor Presidente

ORIGINAL
DEVIDAMENTE
ASSINADO

Nelson R. Bugalho
Diretor Vice-Presidente

ORIGINAL
DEVIDAMENTE
ASSINADO

Sérgio Meirelles Carvalho
Diretor de Gestão Corporativa

ORIGINAL
DEVIDAMENTE
ASSINADO

Aruntho Savastano Neto
Diretor de Controle e Licenciamento Ambiental

ORIGINAL
DEVIDAMENTE
ASSINADO

Carlos Roberto dos Santos
Diretor de Engenharia e Qualidade Ambiental

ORIGINAL
DEVIDAMENTE
ASSINADO

Ana Cristina Pasini da Costa
Diretora de Avaliação de Impacto Ambiental

ANEXO ÚNICO

a que se refere o artigo 1º da Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014)

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO – 2014

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	
							VI
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ^(a)	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ^(a)	1800
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	0,2	0,6	1,4	300
Tolueno	108-88-3	-	0,9	5,6	14	80	700
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	12	3,2	19	500
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS							
Antraceno	120-12-7	-	0,3	2300	4600	10000 ^(a)	900
Benzo(a)antraceno	56-55-3	-	0,2	1,6	7	22	0,4
benzo(b)fluoranteno	205-99-2	-	0,7	2	7,2	25	0,4
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	-	0,8	27	75	240	4,1
Benzo(g,h,i)perileno ⁽³⁾	191-24-2	-	0,5	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	-	0,1	0,2	0,8	2,7	0,7
Criseno	218-01-9	-	1,6	95	600	1600	41
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	-	0,2	0,3	0,8	2,9	0,04
Fenantreno ^(3,4)	85-01-8	-	3,6	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	-	0,4	3,4	8	30	0,4
Naftaleno	91-20-3	-	0,7	1,1	1,8	5,9	60
BENZENOS CLORADOS							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	-	0,3	1,6	1,3	8,3	120
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	-	0,7	9,2	11	84	1000
1,3-Diclorobenzeno ⁽³⁾	541-73-1	-	0,4	-	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	-	0,1	0,3	0,6	2,1	300
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	-	0,01	0,4	1,1	6,1	20 ^(b)
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	-	0,01	0,4	1	8,4	
1,3,5 Triclorobenzeno ⁽³⁾	108-70-3	-	0,5	-	-	-	
1,2,3,4- Tetraclorobenzeno ⁽³⁾	634-66-2	-	0,003	-	-	-	
1,2,3,5- Tetraclorobenzeno ⁽³⁾	634-90-2	-	0,006	-	-	-	
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	-	0,01	0,3	0,6	3,6	1,8
Hexaclorobenzeno	118-74-1	-	0,02	0,2	1,3	3,4	0,2
ETANOS CLORADOS							
1,1-Dicloroetano	75-34-3	-	0,02	0,1	0,6	1,7	53
1,2-Dicloroetano	107-06-2	-	0,001	0,01	0,03	0,09	10
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	-	0,2	140	120	690	2000

ANEXO ÚNICO

(a que se refere o artigo 1º da Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014)

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO – 2014

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
ETENOS CLORADOS							
Cloreto de vinila	75-01-4	-	0,0002	0,001	0,01	0,03	2
1,1-Dicloroeteno	75-35-4	-	0,04	2,8	3,8	22	30
1,2-Dicloroeteno - cis	156-59-2	-	0,01	0,08	0,2	1,1	50 ^(b)
1,2-Dicloroeteno - trans	156-60-5	-	0,03	0,7	1	5,4	
Tricloroeteno - TCE	79-01-6	-	0,004	0,03	0,04	0,2	20
Tetracloroeteno - PCE	127-18-4	-	0,03	0,6	0,8	4,6	40
METANOS CLORADOS							
Cloreto de Metileno (diclorometano)	75-09-2	-	0,02	0,1	0,4	2,1	20
Clorofórmio	67-66-3	-	0,06	0,1	0,8	4,5	300
Tetracloreto de carbono	56-23-5	-	0,004	0,03	0,1	0,4	4
FENÓIS CLORADOS							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	-	0,06	0,6	1,7	9,4	30
2,4-Diclorofenol	120-83-2	-	0,03	0,5	1,5	8,5	18
3,4-Diclorofenol ^(3,4)	95-77-2	-	0,05	1	3	6	10,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	-	0,1	68	170	960	600
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	-	0,1	0,6	1,6	9,6	200
2,3,4,5- Tetraclorofenol ^(3,4)	4901-51-3	-	0,09	7	25	50	10,5
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	-	0,01	34	85	480	180
Pentaclorofenol (PCP)	87-86-5	-	0,01	0,07	0,6	1,9	9
FENÓIS NÃO CLORADOS							
Cresóis totais	1319-77-3	-	0,2	14	33	190	600
Cresol-p	106-44-5	-	0,005	-	-	-	-
Fenol	108-95-2	-	0,2	24	65	370	900
ÉSTERES FTÁLICOS							
Dietilexil ftalato (DEHP)	117-81-7	-	1	36	250	730	8
Dietil ftalato	84-66-2	-	0,5	33	100	550	4,8
Dimetil ftalato ⁽¹⁾	131-11-3	-	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	-	0,1	44	140	850	600
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS							
Aldrin	309-00-2	-	0,02	0,4	0,8	6	0,03 ^(b)
Dieldrin	60-57-1	-	0,01	0,3	0,8	5,9	
Endrin	72-20-8	-	0,001	0,8	2,5	17	0,6
Carbofuran	1563-66-2	-	0,0001	0,3	0,7	3,8	15
Endossulfan	115-29-7	-	0,7	4,7	12	66	20 ^(c)
DDD	72-54-8	-	0,02	1	7,5	23	1 ^(b)
DDE	72-55-9	-	0,01	1,2	8,5	25	
DDT	50-29-3	-	0,01	5,5	22	82	0,05
HCH alfa	319-84-6	-	0,0003	0,002	0,02	0,04	
HCH beta	319-85-7	-	0,001	0,01	0,06	0,2	0,17
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	-	0,001	0,008	0,06	0,2	2
OUTROS							
PCBs Indicadores ⁽⁵⁾	NA	-	0,0003	0,01	0,03	0,12	3,5
TBT e seus compostos ⁽⁶⁾	NA	-	0,24	16	1,7	270	0,09
Anilina	62-53-3	-	0,023	0,15	0,7	3,2	42

(1): Mantidos os valores orientadores da Resolução CONAMA 420/2009.

(2): Mantidos os valores de prevenção da Resolução CONAMA 420/2009.

(3): Substâncias que não constam da planilha CETESB (versão maio de 2013).

(4): Mantidos os valores de intervenção da Resolução CONAMA 420/2009.

(5): Somatória dos congêneres 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 para investigação confirmatória; na investigação detalhada a lista de congêneres deve ser ampliada.

(6): Valores derivados com as propriedades do óxido de tributil (CAS nº 56-35-9).

(a): Adotado valor limite de 1% do peso seco do solo (10.000 mg kg⁻¹).

(b): Somatória dos isômeros ou metabólitos.

(c): Somatória de endossulfan e sais.

Obs.: Na determinação de substância inorgânica no solo, para a digestão ácida, seguir as recomendações dos métodos 3050 e 3051 (USEPA-SW-846), ou procedimento equivalente, exceto para mercúrio.

Renata Buzeti Garcia de Souza

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS DO SOLO E DA ÁGUA DA REGIÃO DE AVARÉ



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](#)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE