Universidade Estadual Paulista

"Julio Mesquita Filho"

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP

PAULO HENRIQUE DE C. FOGAÇA

BAURU - SP
2015

PAULO HENRIQUE DE C. FOGAÇA

Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho". Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Lodi

BAURU - SP
2015

FOGAÇA, Paulo Henrique de Campos.
Contaminação do Lençol Freático por Hidrocarbonetos na região de Avaré-SP/ Paulo Henrique de Campos Fogaça, 2015.
160 f.

Orientador: Paulo Cesar Lodi

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015.

Poluição Ambiental. 2. Contaminação da água e solo. 3. Remediação da água e solo. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE BAURU
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE PAULO HENRIQUE DE CAMPOS FOGAÇA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 23 dias do mês de janeiro do ano de 2015, às 10:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO CESAR LODI do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. ILZA MACHADO KAISER do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. CASSIO LUIS FERNANDES DE OLIVEIRA do(a) Departamento Civil-Neo Ambiente/UNILINS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de PAULO HENRIQUE DE CAMPOS FOGAÇA, intitulado "CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO POR HIDROCARBONETOS NA REGIÃO DE AVARÉ". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. PAULO CESAR LODI

Profa. Dra. ILZA MACHADO KAISER

Prof. Dr. CASSIO LUIS FERNANDES DE OLIVEIRA

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Maria Célia pelo incentivo e força durante esses anos, mesmo nos momentos mais difíceis, quando pensei em desistir.
Agradeço também aos meus filhos e a todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram a alcançar meu objetivo.

RESUMO

A contaminação de água e do solo é, muitas vezes, causada por derrame de combustíveis e pode ser evitada. Muitos incidentes que contaminam o meio ambiente têm ocorrido devido à exploração e refinamento de petróleo, bem como transporte e armazenamento de seus derivados. Como consequência, o lençol freático é atingido por substâncias perigosas por serem em grande parte dos casos, carcinogênicas e depressoras do sistema nervoso central. Com a Resolução CONAMA 273, a partir de 2000, a água e solo das regiões onde se localizam postos de armazenamento de combustíveis passaram a ser analisadas. Comprovada a contaminação, esses locais passaram por uma reestruturação física para adequação dos tanques de armazenamento e estrutura de atendimento. Além disso, os postos têm a obrigatoriedade de implantar um sistema de remediação eficaz, capaz de tornar, novamente, a água e solo adequados aos serviços e ao ser humano sem perigo à saúde. Este trabalho apresenta um estudo do processo de contaminação e remediação do solo e água subterrânea da região de Avaré (SP) causada por postos revendedores e de abastecimento de combustível da região. Foram estudados dois postos de armazenamento de estruturas diferentes: tanques enterrados (Posto 1) e tanques aéreos (Posto 2), e os dados apresentados foram retirados dos relatórios elaborados pelas firmas sobre a investigação detalhada e remediação dos referidos postos. Diversas análises do solo e da água foram realizadas por empresas especializadas, bem como o monitoramento e a remediação destes. Os principais resultados mostram, por exemplo, que em relação ao posto 1, a qualidade da água do aquífero local encontrava-se inadequada para eventual ingestão com altos valores da concentração de Benzeno e de Tolueno. Após o processo de remediação, notou-se redução das concentrações dos Compostos Químicos de Interesse. O lençol freático próximo ao posto 2 também apresentou contaminação devido a vazamentos de óleo diesel. Nesse caso, após o último período de análise do processo de remediação, verificou-se uma eficácia de 100% no processo de remediação.

Palavras-chave: tanques de combustível; hidrocarbonetos aromáticos; poluição ambiental; contaminação da água e solo; remediação de água e solo.

ABSTRACT

The contamination of water and soil is frequently caused by leakage and fuel can be prevented. Many incidents that contaminate the environment have occurred due to oil exploration and refining, as well as transport and storage of derivatives. As a result, the water table is reached by hazardous substances because they in most cases, carcinogenic, and depressants of the central nervous system. With CONAMA Resolution 273, from 2000, the water and soil of the regions where they are located fueling stations are now analyzed. Proven contamination, these sites have undergone a physical restructuring to adapt the storage tanks and service structure. In addition, the stations have the obligation to implement an effective remediation system, capable of making, again, water and soil appropriate to the services and the human being without danger to health. This paper presents a study of soil contamination and remediation process and groundwater Avare region (SP) caused by gas stations and fuel supply in the region. Two different structures storage facilities were studied: buried tanks (Rank 1) and air tanks (Rank 2), and the data shown are from the reports prepared by CETESB on detailed investigation and remediation of these posts.

Several analyzes of the soil and water were carried out by specialized companies, as well as monitoring and remediation of these. The main results show, for example, in relation to the first station, the quality of the local aquifer water found to be inadequate for eventual ingestion at high levels of concentration of benzene and toluene. After the remediation process, noted a reduction of concentrations of the chemical compounds of interest. The water table near the station 2 also showed contamination due to diesel oil leaks. In this case, after the last period of analysis of the remediation process, there was a 100% effectiveness in remediation process.

Keywords: fuel tanks; aromatic hydrocarbons; environmental pollution; contamination of water and soil; remediation of soil and water.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1
2 JUSTIFICATIVA 6
3 OBJETIVOS 7
3.1 Objetivo Geral 7
3.2 Objetivos Específicos 7
4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA 8
4.1 Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos 9
4.2 Sistemas de armazenamento e revenda de combustíveis 19
4.3 Métodos de Remediação 25
5 MATERIAIS E MÉTODOS 35
5.1 POSTO 1 - Tanques Enterrados 35
5.1.1 Caracterização da área 37
5.1.2 Histórico 44
5.1.3 Métodos da Análise Investigativa 47
5.1.4 Métodos de Remediação para o Posto 1 52
5.2 POSTO 2 - Tanque Aéreo 64
5.2.1 Caracterização da área 65
5.2.2 Histórico 67
5.2.3 Métodos da Análise Investigativa 68
5.2.4 Métodos de Remediação do Posto 2 74
6 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES 85
6.1 POSTO 1 85
6.1.1 Resultados da Análise Investigativa 85
6.1.2 Resultado da Remediação 86
6.2 POSTO 2 119
6.2.1 Resultados da Análise Investigativa 119
6.2.2 Resultado da Remediação 120
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 149
8 CONCLUSÕES 151
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 153
ANEXOS 158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contaminação do subsolo e de aquíferos 12
Figura 2: Indicação de Fase Livre 13
Figura 3- Posto de Serviços adaptados conforme exigências. 19
Figura 4: Instalações do Posto 1. 36
Figura 5: Mapa delimitação Avaré. 37
Figura 6: Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema 42
Figura 7: Mapa Potenciométrico 59
Figura 8: Iridescência na água causada por mancha de óleo. 62
Figura 9:Visualização dos tanques de armazenamento de combustível. 64
Figura 10: Localização do município de Itaí 66
Figura 11: Mapa de Plumas de Contaminação 73
Figura 12: Container de zinco utilizado pela empresa B 75
Figura 13: Caixas controladoras de fluxo 75
Figura 14: Caixa separadora de água e óleo 76
Figura 15: Bombas pneumáticas de captação superior e inferior 77
Figura 16: Modelo esquemático do sistema de remediação 77
Figura 17: Entrada de efluente bruto / reator 78
Figura 18: Sistema de Borbulhamento *Air Sparging* 79
Figura 19: Sistema de filtragem. 79
Figura 20: Zona de restrição de uso. 83
Figura 21: Evolução dos Níveis de Água 91
Figura 22: Evolução das espessuras de fase livre 91
Figura 23: Concentrações de VOC 91
Figura 24: Evolução dos níveis de água 94
Figura 25: Evolução da espessura de fase livre 94
Figura 26: Evolução das Concentrações de VOC 95
Figura 27: Evolução dos níveis de água nos poços 99
Figura 28: Evolução das espessuras de fase Livre nos poços 100
Figura 29: Concentrações de VOC nos poços 100
Figura 30: Evolução das concentrações de benzeno na área 105
Figura 31: Evolução dos Níveis de Água nos Poços 109
Figura 32: Evolução das espessuras de fase Livre nos Poços 110
Figura 33: Concentrações em VOC nos Poços 111
Figura 34: Evolução das Concentrações de Benzeno 115
Figura 35: Evolução das Concentrações de Benzeno na Área 116
Figura 36: Evolução das Concentrações de Benzeno na Área (cont.) 117
Figura 37: Evolução das Concentrações de Benzeno na Área (cont.) 118
Figura 38: Comparação entre sistemas de remediação 121
Figura 39: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento 124
Figura 40: Precipitação acumulada na região de ITAI-SP 125
Figura 41: Area de interesse induzida pelo bombeamento utilizado no local 126
Figura 42: Iridescência na água retida 126

Figura 43: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento. 129
Figura 44:: Precipitação acumulada na regido de Itaí. 130
Figura 45: Comparação entre as plumas de contaminação 131
Figura 46: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento. 135
Figura 47: Precipitação acumulada na região de Itai-SP 136
Figura 48: Comportamento da fase livre no local de estudo. 137
Figura 49: Comparação entre as plumas de contaminação do local 138
Figura 50: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento. 141
Figura 51: Precipitação acumulada na região de Itaí – SP..... 141
Figura 52: Comparação entre as plumas de contaminação do local 146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Unidades Estratigráficas.....39
Tabela 2: Características hidrológicas.....40
Tabela 3: Método de classificação da vulnerabilidade das águas subterrâneas.....43
Tabela 4: Características dos tanques.....45
Tabela 5: Características das Bombas.....46
Tabela 6: Características do Filtro.....46
Tabela 7: Equipamentos de Controle e Monitoramento Ambiental 46
Tabela 8: Características das Sondagens de reconhecimento 48
Tabela 9: Amostras de solo selecionadas.....49
Tabela 10: Dados para elaboração da Análise de Risco.....50
Tabela 11: Modelo de Exposição Conceitual do Local 51
Tabela 12: Equipamentos do sistema de remediação.....55
Tabela 13: Medições do sistema de remediação 60
Tabela 14: Medições de Nível D'Água, Fase Livre e Cálculo Cargas hidráulicas 62
Tabela 15: Sistema de armazenamento aéreo de combustível (SAAC).....65
Tabela 16: Perfil de sondagem ambiental SPA-04.....68
Tabela 17: Perfil de sondagem ambiental SPA-05.....68
Tabela 18: Perfil de sondagem ambiental SPA-06.....69
Tabela 19: Perfil de sondagem ambiental SPA-07.....69
Tabela 20: Coeficientes de permeabilidade 71
Tabela 21: Espessura de fase livre 72
Tabela 22: Armazenamento dos resíduos.....81
Tabela 23: Medições do Sistema de Remediação 87
Tabela 24: Medições do sistema de remediação 88
Tabela 25: Monitoramento Nível D'Água, Fase Livre e VOC's. 89
Tabela 26: Medições do sistema de remediação 90
Tabela 27: Resultados do monitoramento de do nível d'água, nível d'óleo e VOC ...92
Tabela 28: Cálculo das cargas hidráulicas.....93
Tabela 29: Medições do sistema de remediação 93
Tabela 30: Medições dos parâmetros físico químicos dos poços monitorados.....95
Tabela 31: resultados analíticos das amostras de água subterrânea – BTEX 96
Tabela 32: Resultados analíticos das amostras de água subterrânea BTEX e PAH 96
Tabela 33: Resultados monitoramento de Nível D'água, Fase Livre D'Óleo e VOC .99
Tabela 34: Resultados físico-químicos.....101
Tabela 35: Medições dos parâmetros físico-químicos dos poços monitorados.....102
Tabela 36: Resultados analíticos das amostras de entrada e saída do sistema 103
Tabela 37: Resultados dos monitoramentos de Nível D'Água, nível D'Óleo e VOC108
Tabela 38: Medições do Sistema de Remediação 109
Tabela 39: Medições dos Parâmetros Físico-Químicos dos Poços Monitorados....112
Tabela 40: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.....122
Tabela 41: Resultado dos testes de vazão dos poços bombeados.....123

Tabela 42: Média dos parâmetros físico-químicos na Estação de Tratamento.....123
Tabela 43: Valores dos parâmetros físico químicos na Estação de Tratamento.....128
Tabela 44: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.....134
Tabela 45: Média dos parâmetros físico químicos na Estação de Tratamento 135
Tabela 46: Valores dos parâmetros físico químicos na estação de tratamento 143
Tabela 47: Dados da amostra obtidos durante a amostragem. 143
Tabela 48: resultados analíticos das amostras de água BTEX e PAH. 144
Tabela 49: Comportamento da fase livre no local de estudo.....145

LISTA DE SIGLAS

ACBR - Ações Corretivas Baseadas no Risco

ANA – Agência Nacional de Águas

AS - Amostra Selecionada

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMA - Concentração Máxima Aceitável

CMA-POE – Concentrações Máximas Aceitáveis no Ponto de Exposição

CMA-HS – Concentração Máxima Aceitável no Hot-Spot

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

CQI - Compostos Químicos e de Interesse

DNAPL- Compostos Mais Densos que a Água

EH – Potencial Redox

EPA - *Environmental Protection* Agency – Agência de Proteção Ambiental

FL - Fase Livre

HOT-SPOT- Ponto Quente

LNAPL – *Light Non_Aqueous Phase Liquid* – Compostos Menos Densos que a Água

LD - Limite de Detenção (do método)

LQ - Limite de Qualificação (do método)

MCI - Medidas de Controle Institucionais

MCE - Medidas de Controle de Engenharia

MECL - Modelo de Exposição Conceitual do Local

mV - miliVolt

NABR - Níveis Aceitáveis Baseados No Risco

NA - Não Aplicável

ND - Não Detectado

PAH - *Polynuclear Aromatic Hydrocarbons* - Hidrocarbonetos Polinucleares Aromáticos

PLA - Padrões Legais Aplicáveis

PM - Poço de Monitoramento

POE - Ponto de Exposição

PC - Ponto de Conformidade

RBCA - Risco Baseado nas Concentrações

SAAC – Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustível

SAO - Separador de Água e Óleo

SASC - Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis

SQI - Substâncias Químicas de Interesse

SSTL - Site Specific Tanget Level = Nível Específico do Local de Destino

SVE- Soil Venting Extractium = Poço De Extração de Vapores

SVOC – Compostos Orgânicos Semivoláteis

TDS - Sólidos Totais Dissolvidos

VI - Valor de Intervenção

VOC - *Volatile Organic Compound* = Compostos Orgânicos Voláteis

VP - Valor de Prevenção

VRQ - Valor Referência de Qualidade

ZRU - Zona de Restrição de Uso

INTRODUÇÃO

Atualmente existe grande preocupação quanto à preservação das águas, já que, apesar da grande extensão desse ambiente, a água doce representa apenas 3% do seu total e sua maior parte está congelada nas calotas polares ou em lençóis subterrâneos muito profundos. Não obstante, por sua excelente qualidade, a água presente nos subterrâneos é altamente apta ao consumo humano e é menos vulnerável a terremotos, enchentes e outros eventos naturais, além de representar uma reserva estratégica durante a época de estiagem. (PORTO, 1991).

Dessa maneira, de acordo com ANA (2005), essas águas são de fundamental importância no abastecimento público e privado em todas as partes do mundo, de grande valor econômico, por serem de fácil obtenção e alternativa de baixo custo.

Feitosa *et al* (2008) relatam que existem cerca de 250 milhões de poços no mundo, sendo que 10% se encontram no Brasil, o que demonstra a enorme importância das águas subterrâneas como manancial hídrico de abastecimento e responsável pela promoção do desenvolvimento econômico e da qualidade de vida das comunidades. De acordo com os autores, esses poços são utilizados, também, para atender às demandas agrícolas, industriais e urbanas. Para estes, devido à grande importância que os aquíferos representam à população, existe uma real preocupação com relação à contaminação das águas subterrâneas, pois a sua capacidade de imobilização de impurezas é limitada, principalmente em grandes centros urbanos e industriais. A contaminação pode ocorrer por vários motivos, como por matéria orgânica, componentes químicos, metais, elementos radioativos, fertilizantes, material radioativo, microrganismos patogênicos e acontece quando qualquer desses produtos entra em contato com o solo, alcançando o lençol freático e colocando em risco a saúde da população.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB – dispõe sobre a contaminação da água e os riscos apontados à saúde humana, através dos Valores orientadores para Águas Subterrâneas, que determina o Valor de Intervenção para águas subterrâneas, padronizando a concentração de produtos existentes.

O impacto causado no solo pelas atividades humanas (chamadas atividades antrópicas) na qualidade das águas subterrâneas e no solo é estudado há tempos. Para Rocha (1996) a gestão de recursos hídricos originou-se do conhecimento da

existência das intervenções de variados tipos no ecossistema aquático e da necessidade de controlar, prevenir e remediar as alterações oriundas de uso e ocupação do solo e das atividades antropogênicas. Dessa maneira, ao se elaborar um programa de proteção aos recursos aquáticos, deve-se levar em conta todo o meio ambiente em que está inserido. Para o autor, uma área contaminada é, por definição, o terreno onde foi constatada e comprovada a poluição causada por resíduos ou substâncias que estejam infiltradas ou armazenadas, ou depositadas no solo, seja de maneira acidental ou planejada. Assim, acidentes e vazamentos ocorridos devido ao manejo de substâncias perigosas podem contaminar o solo de maneira superficial ou aprofundar-se de maneira a contaminar águas subterrâneas.

O autor cita o exemplo da urbanização que, gradativamente, transforma o ambiente natural através de desmatamento, impermeabilização do solo, movimentos da terra. Afirma ainda que o desmatamento é um fator determinante, já que a vegetação é quem controla o escoamento superficial, possibilitando a recarga natural dos aquíferos. O desmatamento ocasiona uma alteração ecológica, como consequência de um escoamento superficial mais frequente e forte, carregando com ele o material existente na superfície.

Leinz (2001) cita a alteração da qualidade das águas devido a alguns tipos de culturas agrícolas, como o algodão, que inviabiliza 38 toneladas de solo e o café, que perde 1,1 tonelada ao ano de cultivo. A consequência imediata, além do grave comprometimento da qualidade do solo, é o assoreamento e, a partir desse fato, a diminuição da calha de escoamento ou da capacidade de armazenamento dos mananciais, comprometendo os subterrâneos.

A poluição difusa é outro fator apontado, pelo autor, para a degradação de águas subterrâneas através de produtos utilizados no solo para a prática da agricultura, bem como os agroquímicos e metais pesados. Além disso, o crescimento de áreas urbanas e o desenvolvimento comercial e industrial aumentam proporcionalmente a utilização dos recursos hídricos e, consequentemente, a produção de resíduos sem que haja, muitas vezes, o tratamento adequado para a conservação dos mananciais.

A contaminação da água e do solo é ocasionada também pelo vazamento de tanques subterrâneos de combustíveis automotores em decorrência da sua corrosão que, além do derramamento, pode gerar outros danos como explosões e fogo em

áreas habitadas. Por isso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – estabeleceu exigências através de sua Resolução n.º 273, que torna obrigatória a substituição dos tanques de aço, sem revestimento, por outros mais seguros, com tratamento anticorrosivo, para que os postos possam obter licença ambiental de funcionamento. (SANDRES, 2004).

Para Sugimoto (2004) a contaminação do solo e de águas subterrâneas por derivados de petróleo tem sido alvo de estudos e busca por solução pelos cientistas. Os compostos de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) que compõem os combustíveis são altamente prejudiciais à saúde, tornando inviável a exploração do aquífero. Os riscos socioambientais e a segurança relacionada às atividades dos postos de serviços têm sido motivo de preocupação já há algum tempo. Por serem tóxicos, devido à presença de hidrocarbonetos em sua constituição, os combustíveis podem contaminar fontes de abastecimento de água com BTEX, considerados substâncias perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central, além de causar leucemia. Além disso, são produtos inflamáveis, podendo causar acidentes como incêndio e explosão, caso ocorra o acúmulo de combustíveis em locais confinados como caixas de telefonia e cabos elétricos, subsolo de edificações, dentre outros ambientes. (CORSEUIL; MARINS, 1997).

A CETESB (2011, a), aponta que: em 2002 haviam 255 áreas contaminadas, em 2009 foram 3.675 áreas de contaminação, em 2011, 4.131 e em 2013 4.771 áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo.

No Brasil existem cerca de 36.000 postos que envolvem a revenda de combustíveis e abastecem diariamente milhares de veículos automotores, o principal meio de transporte nacional. Estes postos estão distribuídos em todas as regiões do país, mas se concentram, principalmente, nas regiões de maior densidade populacional, por haver uma maior concentração de veículos e, consequentemente, um maior mercado consumidor. (ANA, 2005)

De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo – ANP, São Paulo é o estado que possui maior número de postos, seguido por Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina e na sétima colocação a Bahia.

Os acidentes ambientais em postos estão relacionados, principalmente, com vazamentos e derramamentos de combustíveis gerados por falhas construtivas (ex.: corrosão em tanques e tubulações, ausência de pavimentação) e falhas

operacionais (ex.: vazamentos durante a operação de abastecimento dos veículos e durante o descarregamento de combustível do caminhão tanque) que atingem o solo e a água subterrânea. Esses acidentes ocorrem com maior frequência em instalações de empreendimentos antigos, com tanques, tubulações e bombas com mais de quinze anos de operação, em estabelecimentos ainda não licenciados e fora dos padrões atualmente exigidos.

Há que se entender que a perda de combustíveis para o solo começa desde a refinaria, no momento da destilação e sua manipulação e circulação no interior das instalações. Da mesma forma, acidentes com transporte em tanques impróprios até os postos de abastecimento também são responsáveis pelo derrame de combustível no solo. (SANDRES, 2004).

Os registros de acidentes ambientais revelam que os postos revendedores de combustíveis são um dos principais causadores deste tipo de ocorrência no país, justificando os motivos de preocupação da sociedade em geral.

A partir da Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000, todos os empreendimentos foram obrigados a se cadastrar nos respectivos estados, sendo o licenciamento de postos de combustíveis obrigatório em todo território nacional, exigindo que todos os órgãos ou secretarias ambientais dos estados fiscalizem esta atividade. Com base nessa Resolução, surgiram legislações estaduais mais específicas, definindo, inclusive, critérios construtivos mínimos com base em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Não obstante, uma vez constatado o problema, ou seja, de acidente ambiental, é necessário que se tomem as medidas legais e ambientais no sentido de se atenuar os riscos. Para tanto, usam-se técnicas de remediação na área ou local afetado. O processo de remediação é usado para atacar contaminantes específicos no solo e águas subterrâneas, como a degradação de hidrocarbonetos do petróleo e compostos orgânicos clorados por bactérias.

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

> ...aplicação de técnica ou conjunto de técnicas em uma área comprovadamente contaminada, visando à remoção, contenção ou redução das concentrações dos contaminantes presentes, de modo a assegurar a reabilitação da área, com limites aceitáveis de riscos à saúde humana e ao meio ambiente para o uso declarado. (ABNT, 2008, p. 19)

As tecnologias de Biorremediação podem ser classificadas como *in-situ* ou *ex-situ*. A Biorremediação *in-situ* envolve tratar o material contaminado no próprio local, enquanto a *ex-situ* consiste na remoção do material contaminado para tratamento em local externo ao de sua origem.

O alto custo e dificuldades tecnológicas associadas à remediação de solo e aquífero contaminados tornaram necessário desenvolver metodologias de avaliação de áreas degradadas utilizando considerações de análises de risco como ferramenta para tomada de decisão. Com isso, evita-se a utilização de critérios únicos, tais como os padrões de potabilidade da água, em locais de pouco risco ao meio ambiente e a população, evitando-se grandes gastos. Assim os padrões são estabelecidos considerando-se as condições e os riscos do local contaminado, relacionados à saúde humana e ao meio ambiente. (GOUVEIA, 2004)

De acordo com o autor, a manutenção apropriada da saúde pública passa pelo controle das fontes para abastecimento de água potável, com ênfase no cuidado para impedir a contaminação dos solos e águas subterrâneas cujos maiores causadores são os vazamentos e derramamentos de combustíveis e óleos de lubrificação.

Entende-se aqui que, embora o combustível seja de vital importância no processo de desenvolvimento econômico, torna-se crucial a necessidade de se concentrar esforços para se reverter a degradação ambiental geralmente causada aos solos e aos aquíferos cumprindo-se todas as medidas impostas com o rigor necessário.

Nesse sentido, este trabalho apresenta um estudo sobre os passivos ambientais causados por hidrocarbonetos no solo e lençol freático na região de Avaré devido às atividades de postos de combustíveis, apresentando orientações quanto à biorremediação e, consequentemente, medidas preventivas pertinentes.

2 JUSTIFICATIVA

Como visto anteriormente, os acidentes ambientais em postos relacionam-se com vazamentos e derramamentos de combustíveis gerados por falhas construtivas que atingem o solo e a água subterrânea. Poluentes perigosos contidos na gasolina denominados BTEX, alcançam o lençol freático através da contaminação do solo causando males à saúde e tornando o local inapropriado para uso a que se destina, sem contar os gases voláteis que liberam podendo vir a causar intoxicação aos seres viventes próximos ao local. Assim, ao acontecer um derramamento de combustível, a maior preocupação está na possível contaminação nas águas utilizadas para abastecimento para consumo humano.

Assim, a Resolução CONAMA obriga aos postos de armazenamento de combustíveis a passar por detalhada análise investigativa para se verificar o grau de contaminação e que métodos são necessários para a remediação do solo e água nas imediações de sua estrutura, até que fiquem, novamente, adequadas ao fim que se destinam. Isso se aplica também à infraestrutura do local (pavimentação, troca de tanques e modificação de logística, etc.).

Dessa forma, levando-se em conta os itens supracitados e a importância do tema, este trabalho apresenta um estudo sobre os passivos ambientais causados por hidrocarbonetos no solo e lençol freático na região de Avaré devido às atividades de postos de combustíveis. Foram analisados dois locais, a saber: um posto de combustível que possui tanques enterrados e o outro que, atualmente, possui tanques aéreos. Os dados de monitoramento foram colhidos junto à CETESB verificando-se as prescrições da Resolução CONAMA. Em ambos os casos houve a análise investigativa para se detectar a contaminação, a implantação de poços de monitoramento, a remediação desenvolvida em vários períodos e, finalmente, a constatação da adequação dos níveis de contaminantes aos pré-estabelecidos e aceitos pelas normas ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o processo de contaminação ocasionado por hidrocarbonetos na água subterrânea pelas atividades de postos revendedores e de abastecimento de combustíveis na região de Avaré – SP, bem como a adequação dos postos e a remediação executada nos locais contaminados.

3.2 Objetivos Específicos

a) Descrever o processo de contaminação em dois postos na região de Avaré;

b) Discorrer sobre a origem da contaminação;

c) Apresentar as legislações ambientais que regulamentam a atividade dos postos de combustíveis;

d) Explicar o que é avaliação de risco e como esta se realiza nos postos analisados;

e) Descrever a análise investigativa de contaminação de água e solo dos postos estudados e,

f) Apresentar técnicas de remediação aplicadas para conter a contaminação em água e solo pelos dois tipos de postos de combustíveis.

g) Apresentar resultados parciais e finais obtidos com a remediação dos postos.

4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A humanidade, em busca do progresso, tem alterado o meio de maneira a influenciar o ambiente com contaminações, desmatamento, poluição e extinção de seres viventes, causando, inclusive, alterações climáticas.

Blum (2003) cita que o conceito de qualidade normalmente é associado a um bem ou serviço, de onde se derivam as definições de qualidade referentes ao uso e satisfação de quem usa e, dessa maneira, se estabelece um padrão de qualidade. Da mesma forma, o autor cita que, a partir da aplicação desses conceitos no caso da água chegou-se às definições de seus padrões de qualidade.

A Resolução CONAMA nº20/86 dividiu as águas do território nacional em nove classes, sendo que cinco são de águas doces – que apresentam salinidade menor que 0,5%, duas classes salobras – cuja salinidade fica entre 0,5 e 3% e duas classes de águas salinas, com salinidade maior do que 3%. Em 2005 esta Resolução foi revisada e reeditada sob o nº 357/05 e estabeleceu parâmetros físicos, químicos e biológicos para a classificação das águas. A partir dessa classificação se determinou quais águas seriam destinadas ao abastecimento doméstico, quais necessitam tratamento e desinfecção moderada, uso para irrigação de hortaliças, cerealíferas etc. (Calijuri e Oliveira, 2000)

Para Richter e Neto (1991), a qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e bacteriológica. Para o consumo humano é necessária água potável e saudável ou seja, livre de matéria suspensa visível, cor, gosto e odor, bem como estar livre de qualquer organismo capaz de causar enfermidade ou efeito fisiológico prejudicial.

Em relação ao solo pode-se afirmar que, de maneira geral, sua qualidade depende do seu uso. Mas, a qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, tendo sido avaliada por intermédio de sistemas quantitativos em que se utilizam indicadores apropriados, comparando-os com os valores desejáveis em determinados intervalos de tempo num ecossistema específico. Para esses autores, o conceito de qualidade do solo se baseia na sua capacidade de funcionamento dentro dos limites do ecossistema e interagir com o meio ambiente externo. (MELO FILHO *et al.,* 2007).

No entanto, a Sociedade Americana de Ciência do Solo defende que a qualidade do solo está diretamente ligada à sua capacidade de funcionar, dentro de

um sistema natural ou manejado de forma a manter a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitacional. (KARLEN *et al.*, 1997).

As atividades exercidas sobre o solo, como agricultura, fábricas, pastos, fazem com que compostos como agrotóxicos, fertilizantes, metais pesados, derivados de petróleo e outros produtos vindos de atividades industriais sejam depositados diretamente no solo. (ANDREA, 2010).

De acordo com Anjos (2004) o uso do solo deve ser feito com ponderação, com limites definidos até o ponto em que a atividade humana possa afetar a sua capacidade de funcionar como integrador ambiental.

4.1 Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos

A Resolução CONAMA (420/2009, art. 6, V) define como contaminação:

> A presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentração tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para o uso atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como os bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico.

Assim, a referida Resolução aponta que estudos baseados em valores específicos estabelecidos deverão ser realizados em áreas potencialmente contaminadas. Dessa forma, atividades que implicam em impactos aos recursos ambientais, devem ser submetidas ao gerenciamento de risco ecológico, executada por empresa competente, a critério do órgão ambiental responsável na região.

As atividades dos postos de gasolina não se resumem ao abastecimento, mas englobam várias outras atividades como troca de óleo, lavagem de veículos, loja de conveniência.

A Resolução 273/2000 do CONAMA, assim classifica esses empreendimentos:

a) PR – Posto Revendedor: onde se revende combustível derivado de petróleo com equipamentos e sistema de armazenamento e medição de combustível.

b) PA – Posto de Abastecimento: 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.

c) ISR – Instalação de Sistema Retalhista: instalação com tanques de armazenamento de óleo diesel, óleo combustível, querosene destinados ao exercício da atividade de Transportador Revendedor Retalhista.

d) PF – Posto Flutuante: embarcação sem propulsão destinada para armazenamento, distribuição e comércio de combustíveis que opera em local determinado.

O combustível, principal produto nos referidos postos, pode ser altamente tóxico e prejudicial à saúde, caso não seja manipulado, armazenado e transportado de forma correta. Os mais preocupantes entre todos, por serem solúveis e tóxicos, são o Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos, classificados como compostos aromáticos, pois possuem grande estabilidade em suas ligações. Esses compostos são denominados BTEX e apresentam toxicidade crônica, pois são depressores do sistema nervoso central mesmo em mínimas quantidades. Dentre todos, o benzeno é o mais tóxico. É reconhecidamente cancerígeno se ingerido em quantidades mesmo muito pequenas durante um longo período de tempo. No caso de ingestão ou inalação em concentrações altas pode levar o indivíduo à morte. Dessa maneira, estabeleceu-se através da Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde, um padrão de potabilidade do benzeno de 5 µg/L. (GUIGUER, 1993).

A gasolina tem como principal característica a octanagem (resistência à combustão espontânea em relação à temperatura e pressão). É o combustível mais utilizado no mundo e obtido pela mistura de hidrocarbonetos do petróleo bruto através do craqueamento. Outro combustível muito utilizado é o óleo diesel, composto por hidrocarbonetos alifáticos e formado por átomos de carbono, hidrogênio e baixas concentrações de enxofre, sendo um produto tóxico, inflamável e volátil. O etanol é comumente chamado o álcool etílico e o Brasil é o único país a usar esse componente como combustível e como aditivado de gasolina, substituindo o chumbo tetra-etilo responsável por aumentar a octanagem. (GUIGUER, 1993).

Os lubrificantes são utilizados em automotivos e, depois de certo tempo de uso se deterioram parcialmente formando compostos de ácidos orgânicos, aromáticos, polinucleares. Eles são potencialmente carcinogênicos, uma vez que

contêm elevados níveis de hidrocarbonetos e metais pesados como níquel, chumbo, cobre e outros.

Esses produtos devem ser acondicionados, armazenados, transportados e manipulados atendendo a rigorosas normas para que não ofereçam risco à saúde humana ou ao meio ambiente.

A instalação de postos de combustíveis deve obedecer às condições estabelecidas na Resolução 273/2000 do CONAMA, uma vez que são detentores de grande quantidade desses e outros combustíveis em seus tanques, sejam eles aéreos ou enterrados.

No Brasil existem aproximadamente 35 mil postos de combustível, sendo sua maioria construída na década de 70. Se considerarmos que os tanques subterrâneos de combustível têm vida útil de 25 anos, é de se supor que estejam comprometidos. (CONAMA, 2000)

Relatórios da CETESB apontam que entre 1984 a 2006, nos acidentes ocorridos em tanques em postos de combustíveis, o vazamento principal era de óleo diesel (18%) e gasolina (71%), causando a contaminação de águas subterrâneas e solo, sendo que 63% das áreas contaminadas estão no estado de São Paulo. (CETESB, 2006).

Como são mais densos do que a água, esses produtos seguem o comportamento do NAPL (*Non Aqueous Phase Liquid* – Fase Líquida Não Aquosa), normalmente caracterizada por duas regiões na subsuperfície, a área da fonte (LNAPL puro) e uma pluma de contaminação, na qual os contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COHs) vão se espalhar na franja capilar da zona saturada, enquanto a fração dissolvida é transportada com o fluxo da água subterrânea (Figura 1).

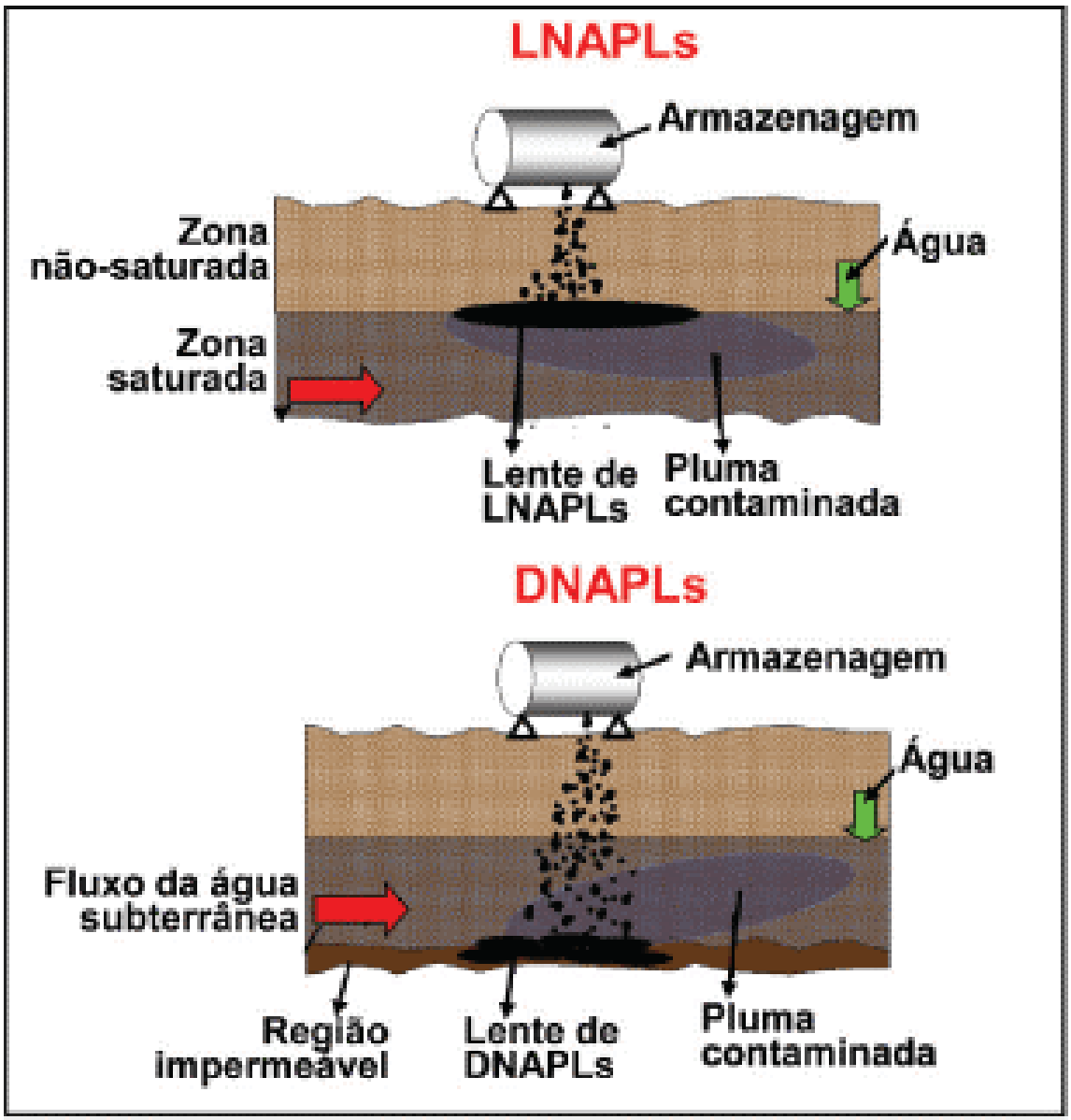


Figura 1: Esquema representando a contaminação do subsolo e de aquíferos causada por vazamentos de LNAPLs e DNAPLs.
Fonte: http://www.scielo.br/scielo)

A partir desse derramamento de NAPL no solo, o produto caminha para baixo através da zona não saturada do subsolo, causando a formação de gânglios no líquido. Estes ficam retidos nos poros do solo, criando a fase residual.

Se os NAPLs do resíduo se depositam na franja capilar, quando em presença de DNAPLs (*Dense Non Aqueous Liquids*) que possuem densidade maior que a da água, o produto continua a migrar para baixo, desta vez pela zona saturada. Esse processo continua até que toda a sua massa seja distribuída como fase residual, ou que o produto encontre uma camada impermeável, formando uma fase livre.

Figura 2: Indicação de Fase Livre
Fonte: Relatório CETESB

A priori, o processo de concentração do contaminante começa com a infiltração no NAPL na zona insaturada da subsuperfície pela força gravitacional e de capilaridade, a migração no topo da franja capilar e a expansão do NAPL no lençol freático (pluma de contaminação), dissolução do NAPL na água, o transporte da água subterrânea em direção a jusante e as perdas por vaporização, absorção e biodegradação. (POWERS *et al,* 2001).Segundo os autores, não é somente pela água ou pelo solo que esses produtos contaminantes são distribuídos. Os contaminantes podem ser absorvidos pelo solo, transferidos do solo para a água, volatilizarem do solo ou água e, daí, absorvidos pelas plantas e pode, também, sofrer degradação microbiológica. Da mesma forma, a contaminação humana não ocorre, necessariamente, somente por ingestão direta da água ou durante o banho, mas podem se instalar através da inalação do vapor. (JERNIGAN *et al.,* 1990).

A gasolina e o óleo diesel são combustíveis derivados do petróleo, que é uma mistura complexa de hidrocarbonetos gerados durante milhões de anos pela decomposição da matéria orgânica de plantas aquáticas e animais pré-históricos. Nele estão presentes Alcanos, Alcenos, Alcinos, Cicloancalnos (também chamados Naftenos), aromáticos e outros.

O óleo diesel é formado pela mistura de destilados intermediários do óleo cru do petróleo com hidrocarbonetos variando de C8 a C30, composta por 40% de Alcanos, 40%de Alcinos e Aicloalcanos, 20% de hidrocarbonetos além de enxofre,

nitrogênio de compostos oxigenados. Normalmente, se adiciona ao óleo diesel vários tipos de aditivos, como os inibidores de corrosão, surfactantes e outros para melhorar a estabilidade e ignição. (LEE *et al,* 1992).

A contaminação por óleo diesel aponta a presença de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) quando se analisa o solo e água subterrânea. Nesse tipo de contaminação, normalmente se encontra um subtipo mais tóxico, chamado hidrocarboneto policíclico aromático (HPAs), onde se encontra naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(a.h.) antraceno, benzo(g.h.i) perileno e indeno (1,2,3-cd) pireno. A proporção é que, quanto maior a presença de HPAs nas amostras de água e solo, maior a toxicidade da contaminação. É fato que os HPAs e seus derivados estão associados ao aumento de incidência de câncer no homem. (NETTO *et al*. 2000).

Segundo Gabardo (1995) a EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental) nos Estados Unidos, incluiu 16 HPAs na lista de contaminantes orgânicos prioritários, uma vez que possui alto grau de toxicidade, potencial carcinogênico e mutagênico e são resistentes à biodegradação.

A gasolina é formada, basicamente, por hidrocarbonetos com número de carbonos variável entre 4 a 8, e pode chegar a 12 carbonos. Geralmente, eles são menos tóxicos do que os componentes do óleo diesel, já que são formados por moléculas de menor cadeia carbônica. Esses hidrocarbonetos tem estrutura molecular diversa e são classificados em grupos conforme o tipo de cadeia carbônica, como sendo n-parafinas, isoparafinas, naftênicos, olefínicos e aromáticos. (Gabardo,1995).

Na fórmula da gasolina o petróleo é processado utilizando-se nafta leve (obtido pela destilação direta do petróleo), nafta craqueada (obtida através de quebra de moléculas de hidrocarbonetos mais pesados – gasóleos) nafta alqiolada (obtidas pelo processo que produz iso-parafinas de alta octanagem a partir de iso-butanos e olefinas). Assim, os grandes problemas ocasionados pela contaminação de gasolina advêm da presença dos hidrocarbonetos monoaromáticos, os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno). Por serem solúveis em água possuem maior potencial de migração na água subterrânea, o que contribui grandemente para a expansão da pluma de contaminação. (CORSEUIL & MARINS, 1997)

O benzeno BTEX é considerado o mais tóxico e solúvel em água e, para os autores, a contaminação em humanos por esse produto gera o perigo iminente por serem depressantes do sistema nervoso central, que pode causar leucemia.

É importante ressaltar que a gasolina é comercializada, pela maioria dos estados brasileiros, com uma mistura na proporção de 25% de álcool etílico anidro combustível (AEAC) o que aumenta a sensibilização dos hidrocarbonetos de petróleo na água, através da eco-solvência. Dessa maneira, as plumas de compostos de BTEX podem ter maiores concentrações em derrames de gasolina misturadas com etanol do que de gasolina pura. (KAIPPER, 2003).

Conforme pesquisa de Fernandes e Courseuil (1999), o aumento da massa total de BTEX alcança 30% para a proporção de etanol na fase aquosa de 10%. Os xilenos, que são os menos solúveis dentre os BTEX, tiveram efeito mais significativo no mesmo experimento. É importante frisar que, sendo a co-solvência maior para os elementos mais hidrofóbicos da gasolina, é provável que altas concentrações de etanol nos aquíferos possibilitem maior solubilização de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) altamente prejudiciais à saúde do homem.

A gasolina vendida no Rio Grande do Sul também possui o MTBE (éter metílico e éter butílico) adicionado em sua fórmula, embora existam correntes fortemente contra sua utilização. Esse produto, embora não tenha o efeito de co-solvência do álcool, o MTBE causa odor e sabor à água, resistência à degradação biológica, além de séria suspeita de ser agente cancerígeno. Também causa náuseas, dor de cabeça, dificuldade de respiração, irritação dos olhos e nariz, desorientação e erupções na pele. (FERNANDES & CORSEUIL, 1999).

Normalmente, a contaminação do solo e água é provocada por vazamentos em tanques subterrâneos e tubulações dos postos de abastecimento. Ou, em alguns casos, por extravasamento junto às bombas e bocais de enchimento. Ocorre que, normalmente os acidentes só são percebidos depois que o produto aflora em galerias de esgoto ou redes de drenagens de águas pluviais. Outros pontos de percepção de vazamento são os subsolos dos edifícios, túneis, escavações e poços de abastecimento de água (CETESB, 2006).

As causas de vazamento em tanques são variadas, mas a corrosão nos pontos de solda das chapas representa 31%. Essa corrosão é causada, principalmente, por agentes do subsolo, como a acidez, salinidade, correntes

elétricas, umidade etc. De acordo com estatísticas, 91% dos tanques subterrâneos sofrem corrosão a partir do exterior, ou seja, da camada que fica em contato com o solo e apenas 9% inicia a corrosão pelo lado interno. Nestes casos, a corrosão ocorre devido ao produto comercializado, como o óleo diesel que, por possuir alto teor de enxofre, promove a degradação das chapas metálicas com maior oxidação na parte vazia do tanque. Os autores explicam que a corrosão é a reversão natural do metal para sua condição original, como são encontrados na natureza. Ou seja, o metal deixa seu estado metaestável e volta a ser um mineral, retornando espontaneamente à sua forma combinada (oxidada). E, a durabilidade de um tanque à corrosão vai depender das proteções que são aplicadas a sua chapa metálica. (MAINER, FERREIRA & NUNES, 1994).

Conforme Relatório CETESB (2006) não é somente a corrosão em tanques e tubulações que ocasionam o derrame de combustível no solo e na água, mas alguns aspectos da construção também podem proporcionar rotas de migração dos combustíveis. De acordo com o relatório, os pontos mais importantes na estrutura física são:

a) As trincas ou afundamentos no piso das pistas de abastecimento, devido à alta circulação de veículos pesados, podem ocasionar vibração e movimentação do solo onde estão enterrados os tanques, podendo gerar rupturas nas conexões;

b) A construção de blocos de concreto ou paralelepípedo no lugar de pavimentação das pistas de abastecimento possibilita que, no momento do abastecimento ou descarregamento, o combustível derramado se infiltre no solo;

c) O direcionamento da canaleta para vias públicas – ou ausência dela – ao invés de direcionar para separadores de água e óleo faz com que o combustível extravasado acumula-se nas calçadas e atinja as galerias de águas pluviais ou galerias de esgoto, gerando atmosferas inflamáveis em seu interior;

d) As bombas de abastecimento sem estancamento precisam de instalação de câmara de contenção impermeável para que, no caso de vazamento, o produto não entre em contato com o solo;

e) As tubulações galvanizadas convencionais são mais propícias a vazamento, já que são mais sujeitas à fragilização por esforço mecânico;

f) A não impermeabilização da boca da descarga de combustível e a inexistência de área de contenção para o caso de derramamento ocasionam a acumulação do produto no solo e nas bocas de descarga;

g) As válvulas de pé, ou válvulas extratoras, quando reinstaladas inadequadamente, podem gerar vazamento, sendo perceptível na parte superior da válvula de abastecimento ou impregnada no solo, ao redor e no interior da câmara de calçada;

h) Com o tanque excessivamente cheio pode ocorrer vazamento no respiro durante as operações de descarga do combustível;

i) Pode-se detectar vazamentos das conexões e tubulações do sistema de filtragem de óleo diesel devido à impregnação externa do equipamento, da tubulação e do piso na área próxima ao redor e,

j) Caixas separadoras de água e óleo estão sujeitas à trincas na estrutura ou ao extravasamento por acúmulo excessivo de resíduos.

Além da questão da estrutura física inadequada, podem ocorrer falhas operacionais, imprudência ou mesmo ignorância de parte do funcionário devido à falta de treinamento. Nesses casos a CETESB explicita:

a) A execução do controle de estoque ser feito manualmente, com utilização de uma régua de medição, não é totalmente confiável, já que pequenas variações de volume não são detectadas;

b) Os vazamentos que ocorrem durante o abastecimento são ocasionados, por vezes, devido a falhas operacionais do sistema automático de bloqueio do fluxo dos bicos de abastecimento, inclusive, pela movimentação do veículo em abastecimento e,

c) Ocorrem vazamentos, também, durante a operação de descarregamento do combustível, seja pelo transbordamento do tanque ou derramamentos do produto restante na tubulação de descarga do caminhão tanque.

Atualmente, as agências reguladoras estão cada vez mais rigorosas com relação às instalações e equipamentos de postos de gasolina devido ao aumento excessivo de fatores que causam contaminação ambiental. Os postos novos estão sob as normas de instalação e os antigos devem, obrigatoriamente, ser reformados. Os postos com tanques enterrados (subterrâneos) devem atender à norma brasileira

NBR 13786 da ABNT, que versa sobre os postos de serviço, Seleção dos Equipamentos para Sistemas para Instalações Subterrâneas de Combustíveis.

Por sua vez, a CETESB possui procedimento próprio para licenciamento de postos de combustíveis e estabelece exigências técnicas para as novas instalações de tanques subterrâneos, chamados Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustível – SASC. Esse sistema apresenta várias exigências:

a) Tubo de descarga com câmara de calçada impermeável e estanque para contenção de derramamentos;

b) Descarga selada (bocal adaptador para descarga selada);

c) Válvula anti-transbordamento instalada no tubo de descarga do tanque;

d) Tanque de parede dupla com monitoramento intersticial ligado a sistema de monitoramento contínuo, construídos de acordo com a norma NBR 13785;

e) Câmera de acesso à boca de visita de tanque, estanque e impermeável;

f) Unidades de abastecimento (bomba) com câmera de contenção estanque e impermeável com sensor de detecção de líquidos ligados a sistema de monitoramento contínuo;

g) Unidades de abastecimento (bomba) com válvula de retenção junto à bomba (*check valve*);

h) Eliminação da válvula de pé (válvula extratora)

i) Válvula de segurança ou sentinela para as unidades de abastecimento que trabalham sob pressão positiva;

j) Tubulações subterrâneas flexíveis e não metálicas atendendo as especificações previstas na norma NBR 14722;

k) Equipamentos de proteção para sistema de filtragem diesel;

l) Cada tanque ou compartimento deve possuir tubulação de respiro independente;

m) Pista de abastecimento coberta;

n) Piso da pista de abastecimento em concreto armado com sistema de drenagem;

o) Piso da área de descarga em contrato armado e com sistema de drenagem direcionado para sistema de tratamento de efluentes e,

p) Sistema de drenagem e sistema de tratamento de efluentes constituído de caixa de areia e separador água-óleo com placas coalescentes para efluentes gerados na pista de abastecimento.

A Figura 3 mostra um esquema de posto adaptado:

Figura 3- Posto de Serviços adaptados conforme exigências.
Fonte: http://pt.slideshare.net/brasilpostos/adequao-ambiental-dos-postos-de-revenda-de-combustveis

Mas, as exigências citadas são apenas uma parte das normas que os postos devem seguir. Há uma série de regras exigidas pela CETESB para o empresário que quer construir, instalar e operar posto de combustíveis. Essas regras são fundamentais para prevenir e detectar possíveis vazamentos de combustíveis. (CETESB, 2006).

4.2 Sistemas de armazenamento e revenda de combustíveis

Os sistemas de armazenamento e revenda de derivados de petróleo são empreendimentos notadamente potenciais em poluição do meio ambiente ou geração de acidentes ambientais. Por esse motivo, o CONAMA publicou a

Resolução 273, que dispõe sobre a instalação e operação de postos de combustíveis. (BRASIL, 2000).

A Resolução CONAMA nº 273/2000 dispõe sobre o procedimento a ser tomado quando há o interesse de funcionamento de atividades desse tipo, explicando quais os tipos de licenças e quais os requisitos para sua execução. (BANUNAS, 2003).

Devido à grande incidência de acidentes que comprometem o ambiente, a atividade de revenda de combustíveis, antes da Constituição Federal de 1988, a Lei 6.938/1981 já incumbia ao Estado licenciar as atividades dos postos de revenda de combustíveis, exigindo estudos ambientais que achar necessário, com a finalidade de controlar a atividade e evitar a contaminação da água e do solo. (BRASIL, 1981).

O artigo 2º da referida lei estabelece que a Política Nacional do Meio Ambiente tem como princípio maior a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, preservando a vida e assegurando condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Essa lei atende aos princípios de manutenção do equilíbrio ecológico, racionalização do solo, subsolo, água e ar, o planejamento e fiscalização dos recursos ambientais, a pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e proteção aos recursos ambientais proteção dos ecossistemas, o controle das atividades poluidoras, o incentivo ao estudo e, o acompanhamento da qualidade ambiental, recuperação de áreas degradadas, proteção de áreas ameaçadas de degradação, educação ambiental em todos os níveis de ensino. (CONAMA, 2000).

É devido à poluição ambiental provocada por combustíveis derivados de petróleo e álcool que leis, decretos, resoluções para proteção e normas foram criados assim como o monitoramento da qualidade do solo e recursos hídricos nas áreas próximas aos empreendimentos. A contaminação ambiental é crime sob as vistas da Lei Federal 9.605/98, regulamentada pelo Decreto 3.179/99 e a legislação brasileira obriga aos postos de revenda a serem licenciados pelos órgãos ambientais competentes após seu cadastramento. (CETESB, 1999)

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (art. 9º, inciso IV) que tem como premissa compatibilizar o desenvolvimento econômico com a preservação da qualidade do meio ambiente e

do equilíbrio ecológico, definir áreas para ação governamental no que tange à qualidade e equilíbrio ecológico, estabelecer critérios de qualidade ambiental e as regras para uso dos recursos ambientais. Além disso, direciona o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias nacionais voltadas ao uso racional dos recursos ambientais, a difusão, divulgação de dados e informações ambientais para a formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação ambiental e impor, ao poluidor e predador, a obrigação de recuperar os danos causados. A Constituição de 1988 veio ratificar a ideia de que são necessários cuidados ao meio ambiente e muniu o Brasil de instrumentos e mecanismos capazes de assegurar a proteção ambiental. Desta feita, percebe-se que, nessa época, o Estado já era obrigado a realizar ações de controle e fiscalização das atividades causadoras de degradação ambiental. (MILARÉ, 2009).

É importante frisar que as empresas interessadas em trabalhar com qualquer atividade que possa, porventura, agredir ou modificar o meio ambiente, devem providenciar os estudos, arcando com seus custos e apresentar os resultados ás autoridades competentes para a obtenção do licenciamento.

Segundo o artigo 3º da Resolução, a montagem e instalação de equipamentos de armazenagem de combustível devem ser monitoradas e os equipamentos avaliados e certificados pelo Sistema Brasileiro de Certificação. Após sua entrada em operação, a cada cinco anos os equipamentos e sistemas devem ser testados, segundo procedimentos padronizados, para a comprovação de inexistência de falhas ou vazamentos. Conforme o autor, a Constituição de 1988 em seu artigo 6º inciso II incumbe ao CONAMA a função de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos e deliberar sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado.

O licenciamento ambiental é considerado uma medida preventiva, uma vez que o proprietário de um terreno é titular de um direito de uso ambiental para sua conveniência. Mas, conforme a lei, o exercício desse direito depende do proprietário cumprir com os requerimentos legais estabelecidos. (BANUNAS, 2003). De acordo com o autor, a Resolução CONAMA é de fundamental importância, já que as instalações e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis são empreendimento potencialmente poluidores e geradores de

acidentes ambientais, podendo causar contaminação de águas subterrâneas e superficiais, contaminação do solo e do ar, além de incêndios e explosões decorrentes de vazamentos. Infelizmente, estudos apontam significativo aumento nesse tipo de acidente, causando riscos à saúde e vida de várias pessoas, em função de manutenção inadequada ou insuficiente, bem como a obsolescência do sistema e dos equipamentos e falta de especialização de funcionários que prestam serviços a esse tipo de estabelecimento. Assim, a exigência feita aos proprietários e arrendatários no cumprimento às normas da legislação ambiental é uma poderosa ferramenta do licenciamento ambiental.

Para o licenciamento ambiental, a Resolução CONAMA 237/1997 exige três tipos de licença: Licença Prévia – LP, Licença de Instalação – LI e Licença de Operação – LO.

A ABNT, assim como outros órgãos de normatização também se manifestam com relação a esse tipo de atividade, considera o óleo lubrificante usado como "Resíduo classe I", (perigoso), pois apresenta toxidade. Do mesmo modo, os efluentes resultantes de atividades industriais ou comerciais são considerados, uma vez que são líquidos não passíveis de tratamento por métodos convencionais não podendo, portanto, ser lançados em redes de esgoto. O resíduo é considerado perigoso quando suas propriedades físicas e químicas constituem risco ao meio ambiente e à saúde pública (quando há aumento de mortalidade ou incidência de doença). (MACHADO, 2008).

Segundo a norma ABNT NBR 10004/2004 — classificação, resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como, determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente viáveis em face à melhor tecnologia prática disponível.

Essa definição inclui praticamente todos os tipos de resíduos gerados. O Sistema de Remediação poderá gerar os seguintes resíduos: material recuperado (fase livre sobrenadante de hidrocarbonetos) extraído do lençol freático, mangueiras,

conduítes, manta geotêxtil, unidades filtrantes, óleo de compressor, entre outros, os quais por estarem contaminados com compostos de hidrocarbonetos, são classificados como Resíduos Classe 1 — Perigosos: aqueles que apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.

O óleo lubrificante usado, de acordo com a Resolução nº 9 do CONAMA, deve ser recolhido e tratado de maneira que não agrida o meio ambiente: é proibido o seu descarte no solo, águas superficiais, subterrâneas, no mar territorial e em sistemas de esgoto ou evacuação de águas residuais. As empresas credenciadas junto à Agência Nacional do Petróleo – ANP podem recolher o óleo e, depois de regenerado através de refino, são reutilizados como matéria prima. (VIANNA, 2004)

Nos tanques de 20 anos de vida útil, são necessárias verificações constantes (em média uma vez por ano) para monitoramento. Dependendo do solo onde estão instalados, os tanques de armazenamento de combustíveis ficam vulneráveis a rupturas decorrentes de corrosão. Após instalação, os tanques novos devem passar por controle de estoque mensal juntamente com teste de estanqueidade. As tubulações pressurizadas devem ser equipadas com detectores automáticos de vazamentos e monitoramento de vapor, água subterrânea ou intersticial (entre as paredes duplas dos tanques). As tubulações de sucção não precisam de detecção de vazamento, a menos que sejam enterrados e sofram pressão negativa. (ABNT, 1997).

Ao se iniciar o estudo da área, o responsável deve instalar, no mínimo, três poços subterrâneos com aproximadamente 6 metros de profundidade, sendo um à montante dos tanques e dois à jusante, que permitam verificar se o lençol freático foi atingido. São poços de monitoramento do lençol freático, que são posicionados em pontos estratégicos no solo adjacente ao tanque e às tubulações e permitem saber se algum vazamento atingiu a água subterrânea. (ABNT, 1997).

Já os testes de estanqueidade podem ser volumétricos (para tanques cheios) ou não volumétricos (para tanques vazio), dependendo do método escolhido para monitoramento, devendo ser capazes de detectar vazamentos de 0,5L/hora, com 95% de acerto e com no máximo 5% de possibilidade de alarme falso e deve ser executado por profissional especializado, com a emissão da Anotação de

Responsabilidade Técnica – ART do executante e procedimento rigorosamente padronizados. (ABNT, 1997).

O controle de estoque é feito através da verificação da quantidade de produto entregue e a quantidade de combustível vendida durante dia, através de medições diárias (pela manhã e à noite) do tanque, com varetas de medição que, por sua vez, devem ser compridas o suficiente para atingir o fundo do tanque. A diferença entre o volume no tanque e a quantidade vendida deve ser proporcional e igual à subtração da quantidade entregue e quantidade vendida, caso contrário, esse tanque pode estar apresentando vazamento.

A caixa separadora de água e óleo – SAO, em muitos casos, não é suficiente para o tratamento da água, uma vez que podem existir outros resíduos lançados com o óleo, como os da lavagem dos veículos. Assim, recomenda-se a coleta do óleo do trocador por um dispositivo para posterior transporte e re-refino por empresa cadastrada à ANP. (VIANNA, 2004)

É importante frisar que, caso haja qualquer alteração nos testes ou qualquer indício de vazamento, os responsáveis pelo empreendimento devem, imediatamente, comunicar ao órgão ambiental competente e, simultaneamente, tomar as ações emergenciais estabelecidas com a finalidade de se minimizar os riscos e impactos às pessoas e ao meio ambiente. (MARQUES *et al.,* 2010)

A Lei Complementar nº 125/2003 exige que, a instalação da estrutura física de postos de combustíveis seja feita em lotes de esquina com área mínima de 1.000 m^2e para o meio de quadra, área mínima de 1.440m^2 com no mínimo 48m de testada. Além disso, a aprovação das plantas e expedição do alvará de funcionamento o posto deve estar distantes no mínimo 300 m de escolas e afins, hospitais e afins, quartéis, hipermercados, shoppings centers, ginásios e estádios, estações e subestações de energia elétrica e a 800 m, no mínimo, de matas, bosques, mananciais, cursos d'água, lagos e recursos hídricos, bem como das zonas especiais de proteção ambiental e áreas de preservação ambiental.

A Resolução CONAMA nº 274/2000 exige que os responsáveis pela administração dos postos se comprometam a promover treinamento específico e cuidadoso, sempre com reciclagem, a seus funcionários. A finalidade é orientá-los para a adoção de medidas de prevenção de acidentes e as ações imediatas para o controle de situações emergenciais e de risco. (CONAMA, 2000)

A etapa de Investigação Detalhada é a primeira no processo de recuperação de áreas contaminadas, tendo como finalidade gerar dados para subsidiar uma Avaliação de Risco e a concepção de um projeto técnico de Remediação adequado, legalmente cabível e viável.

Cabe ressaltar que, enquanto na Investigação Confirmatória o objetivo principal é confirmar a presença de contaminação na área suspeita, na etapa da Investigação Detalhada o objetivo é quantificar esta contaminação, determinando as dimensões das áreas e volumes afetados, os tipos e concentrações dos contaminantes presentes, determinando as características das plumas de contaminação, como seus limites e sua taxa de propagação.

No caso de desativação, os responsáveis pelo empreendimento devem apresentar um plano de encerramento de atividades, que deve ser aprovado pelo órgão ambiental que acompanhou o processo de licenciamento ou outro de igual competência. Essa medida se deve, principalmente, à possibilidade iminente de movimentação de terra, adaptações e reformas no momento da desativação e que podem, por sua vez, danificar tanques, canos ou qualquer outro equipamento, ocasionando o derrame de combustível. (CONAMA, 2006).

Da mesma forma, caso haja alteração dos responsáveis pelo empreendimento, deve haver a imediata comunicação à autoridade ambiental competente para atualização de banco de dados.

No caso de tanques aéreos com capacidade de armazenagem de até quinze metros cúbicos, se forem para exclusivo abastecimento no interior da instalação, não se aplica essa referida Resolução, embora ainda haja a obrigatoriedade da construção estar de acordo com as normas técnicas brasileiras em vigor. Caso seja identificado o vazamento, deve-se proceder à remoção dos tanques após a desgaseificação e limpeza, dispostos de acordo com as normas determinadas pelo órgão ambiental competente. No caso da remoção não ser possível, os tanques devem ser lacrados após serem limpos, desgaseificados e preenchidos com material inerte (MARQUES et al., 2010).

4.3 Métodos de Remediação

Para o saneamento das áreas contaminadas, as avaliações das tecnologias e métodos de remediação devem ser fundamentados no conhecimento das

propriedades dos contaminantes, nos mecanismos de fluxo e transporte e nas características hidrogeológicas de cada sítio dos pólos industriais.

Diversas metodologias de remediação de solo e água subterrânea vêm sendo utilizadas em todo o mundo. Entre estas estão: *Air Sparging*, Extração de vapor do solo (EVS), *Air stripping*, Sistema *Pump - and - Treat* / Controle Hidráulico, Estabilização / Solidificação, *Soil Flushing,Soil Washing*, Fitoremediação e Bioremediação.

O método de *Air Sparging* é basicamente a injeção de ar na zona saturada, ou seja, no aqüífero, valendo-se de poços horizontais e verticais e com o uso de um compressor de ar, com o objetivo de promover a passagem do contaminante da fase líquida para a fase gasosa. Portanto, não é uma tecnologia destrutiva. O processo difere do sistema de extração de vapor – EVS - porque o ar é injetado abaixo da zona saturada, enquanto o EVS, a injeção de ar, ocorre na zona acima da camada saturada, ou seja, acima do water table. Esse sistema inclui: um compressor de ar, poços de injeção, linhas de distribuição tubulações de superfície. Alguns sistemas incluem um EVS - sistema de extração de vapor, poços de extração/linhas de tubulação e sistema de tratamento de vapor.

Muitos dos sistemas de *Air Sparging* – AS - requerem tecnologias de controle para separação de emissões no ar, A depender da legislação de cada sítio. O sistema de injeção é um condutor para conduzir ar da superfície e injetar no aqüífero de forma a criar um *stripper*, em subsuperfície, e remover os contaminantes por volatilização. Dois fatores são importantes para serem avaliados no compressor, um é a pressão do ar; o outro, a taxa de fluxo necessário. A pressão do ar é função das características do aqüífero e da profundidade dos pontos de *Air Sparging* abaixo do *water table*. O fluxo de ar é função do número, localização e características construtivas dos poços. Em virtude da injeção de ar no aqüífero, a tecnologia de *Air Sparging* – AS - pode mobilizar contaminantes, tanto no estado de vapor como em solução aquosa. Os contaminantes são deslocados por meio da volatilização e carreados para a zona vadosa para serem extraídos pelo sistema de extração de vapor - EVS. Os vapores são controlados com a aplicação do sistema de extração de solo – EVS – por meio da captura dos contaminantes na forma de vapor da zona não-saturada. Diversos parâmetros podem ser usados para monitorar o impacto de um sistema *Air Sparging* - AS. O melhor deles é a medição de oxigênio dissolvido –

OD -, acompanhamento da elevação do nível estático – NE -, pressão de gás do solo ou vácuo, se o EVS é empregado, e concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis – VOC's. (NOBRE *et al,*1998).

O método de Extração de vapor do solo – EVS, é um sistema de extração de vapor também chamado de *stripping* de vapor do solo, extração a vácuo do solo, *soil venting ou soil vacuuming*, e abreviado por EVS, é usado para remover VOC's - e Compostos Orgânicos Semivoláteis – SVOC's - da zona não saturada – vadosa - do solo. Tem sido utilizado amplamente como tecnologia para remediar sítios contaminados com resíduos perigosos principalmente com VOC's. O EVS reduz o tempo de descontaminação – *cleanup* - pela remoção de fontes de contaminação da zona não saturada. (NOBRE *et al,*1998).

Um sistema de EVS consiste de poços de extração, poços de injeção, bombas de vácuo, compressores de ar, medidores de vazão, amostradores, separador ar/ água, um sistema de controle de VOC's e lacres impermeáveis. Os poços são geralmente penetrantes na zona contaminada. Na seção filtrante, são colocados filtros com aberturas que facilitam a saída de gases. Os VOC's na zona contaminada movem-se através de vapor do solo para os poços de extração. Esses VOC's, tipicamente têm peso molecular de 200g/mol ou menos; moléculas largas são insuficientemente voláteis para mover facilmente como vapor; entretanto eles podem ser biodegradáveis na presença de oxigênio providos dos poços do EVS. Poços de injeção são localizados nas cercanias das áreas contaminadas para desenvolver o fluxo de ar para as regiões em que isso for lento. Separadores de ar/água podem ser necessários para o sistema de remoção de gases – *off-gas*. O separador é protegido usualmente por sua inclusão antes do exaustor. Taxas do fluxo e composição do *off-gas* dos VOC's são medidos regularmente para permitir calcular a taxa de remoção de VOC's que é quase sempre inicialmente alta e depois decresce gradualmente com o tempo. Um poço é perfurado na zona contaminada e uma *vacuum blower* é usada para retirar o ar da região contaminada e um desumidificador para remover o excesso de água. Camadas com carvão ativado ou unidades de combustão catalítica são usadas para remover VOC's depois que o gás é removido através dos exaustores, para a atmosfera. Para operações de larga escala, um número de poços pode ser implantado e utilizar um desumidificador simples, unidade de carbono ativado e soprador. (NOBRE *et al,*1998).

O *Air stripping* é uma tecnologia de remoção por aeração que permite a transferência de contaminantes orgânicos da fase líquida para a gasosa. É também uma tecnologia não-destrutiva. No processo de *air stripping*, a corrente de água contaminada é misturada com uma corrente de ar descontaminado, e esse contato faz com que o ar remova as substâncias orgânicas dissolvidas na água. Os diferentes tipos de equipamentos utilizados para conduzir este processo são classificados de torres, tanques e lagoas. (OLIVEIRA, 1995)

Uma torre típica de aeração é semelhante a uma torre de refrigeração de água, em termos de construção. A água contaminada é introduzida no topo da torre e flui por um sistema interno de chicanas ou de grades, projetadas para espalhar a água em uma superfície grande. Conforme a água percorre a torre, um ventilador circula ar pela torre, e as chicanas ou as grades fazem com que o ar entre em contato com a água. Durante esse contato, o ar remove as substâncias orgânicas dissolvidas na água. A torre de fluxo contracorrente parece ser a configuração de equipamento mais apropriada para tratamento de água contaminada, em virtude das seguintes razões: 1) ela fornece maior área superficial para elaboração do líquido; 2) volumes maiores de ar para a água são possíveis, graças à baixa queda de pressão do ar através da torre; 3) a emissão de substâncias orgânicas na atmosfera pode ser inaceitável ambientalmente; entretanto uma torre de fluxo contracorrente é relativamente pequena e pode ser conectada a um equipamento de recuperação de vapor. (OLIVEIRA, 1995).

O Sistema *Pump - and - Trea* ou Controle hidráulico ou de bombeamento-tratamento consiste na extração de água contaminada de aqüíferos através de poços de extração, do tratamento da água, com a utilização de diversas tecnologias com o objetivo de atingir o nível de descontaminação desejado. A água subterrânea contaminada, após tratamento, pode ser reinjetada no aquífero, no caso das condições hidrogeológicas serem favoráveis, para melhorar a eficiência do sistema, já que o super bombeamento altera o gradiente hidráulico do sistema aquífero em tratamento. O objetivo do controle da contaminação da água subterrânea envolve uma das quatro seguintes opções:

1) conter a pluma de contaminação,

2) remover a pluma de contaminação, após terem sido tomadas medidas para deter a fonte geradora da contaminação.

3) desviar a água subterrânea para prevenir que essa passe pela fonte de contaminação, ou

4) para evitar que a água subterrânea contaminada atinja uma área de abastecimento de água potável.

Geralmente, de acordo com Oliveira, (1995) o sistema *pump-and-treat* está associado com outras tecnologias de remediação para acelerar o tempo de descontaminação. A tecnologia de *pump-and-treat*/controle hidráulico pode ser aplicada nos sítios mais contaminados, especialmente naqueles onde os aqüíferos contaminados possuem alta produtividade. A pluma de contaminação pode ser contida ou manipulada através de poços de bombeamento ou de poços de injeção. O princípio da manipulação da pluma pelo controle hidráulico consiste em efetuar uma mudança no padrão de fluxo da água subterrânea, de forma que os contaminantes possam ser direcionados para um ponto ou pontos específicos de controle. Isso é feito por meio de descarga ou recarga no aqüífero ou por combinação de ambas.

Nos programas de remediação de aqüíferos que envolvem o sistema *pump-and treat*/controle hidráulico, pressupõe-se que a pluma dissolvida de contaminação esteja envolvida pela zona de captura dos poços de extração. A zona de captura de um poço é definida como a porção do aqüífero que contribui com suas águas ao poço ou sistema de poços, durante determinado intervalo de tempo. A análise de zonas de captura ou zonas de contribuição de poços de extração vem sendo bastante utilizada em projetos de remediação de aqüíferos bem como na delineação de áreas de proteção de baterias de poços para abastecimento de comunidades. Essas zonas de captura podem ser caracterizadas por modelos numéricos de rastreamento de partículas, por procedimentos inversos, capazes de caracterizar adequadamente as anisotropias e heterogeneidades inerentes a qualquer sistema hidrogeológico. Métodos analíticos também podem ser aplicados no cálculo de zonas de captura em situações mais simples que envolvam um número mais reduzido de variáveis, em virtude da sua simplicidade de aplicação. Tanto nos modelos numéricos de rastreamento de partículas quanto nos modelos analíticos, não são considerados os efeitos da dispersão hidrodinâmica bem como de reações químicas que podem, muitas vezes, desviar a trajetória das partículas de fluxo para

regiões além da zona de influência dos poços de extração ou mesmo retardar o seu percurso. (OLIVEIRA, 1995).

O controle hidráulico via zona de captura de plumas de contaminação de água subterrânea é utilizado também para minimizar a quantidade de água a ser tratada. Atualmente, muitos sistemas operam com taxas constantes e não consideram as variações, nas zonas de captura, resultantes de variações hidráulicas do aqüífero

Na maioria dos sítios contaminados por DNAPL's, o sistema de *pump-and-treat* também está sendo utilizado por ser indispensável o controle da migração de plumas de contaminação. Esse procedimento, no entanto, pode levar dezenas de anos de operação até atingir níveis de descontaminação aceitáveis, dentro de padrões estabelecidos por critérios de saúde humana e ou ambientais. E, para que haja eficácia nos processos de extração das águas contaminadas, são necessárias taxas de bombeamento suficientemente elevadas para garantir a desejada captura das plumas de contaminação. Uma forma de reduzir o volume de água bombeada e manter, ao mesmo tempo, sob controle a migração da pluma, é envolver a fonte secundária, total ou parcialmente, utilizando 'barreiras físicas' de reduzida permeabilidade. Como consequência, o fluxo advectivo de águas subterrâneas se limita a valores bastante reduzidos, e a captura de águas contaminadas na região envolvida pela barreira pode ser, consideravelmente, otimizada. Processos *pump-and-treat* acoplados a essas barreiras são comprovadamente eficientes, como se tem verificado para muitos casos de contaminação por DNPL's, quando ocorre relativo confinamento da fonte secundária pela ocorrência de barreiras capilares naturais. A remediação por *pump–and-treat* tem sido adequada para alcançar o controle hidráulico efetivo para projetos apropriados. É também efetivo para remoção de quantidades enormes de contaminantes LNPAL's de água subterrânea em relativo espaço de tempo. Entretanto, para algumas formações geológicas, a eficiência de remoção pode ser extremamente baixa. Em alguns casos, um sistema *pump-and-treat* sozinho pode não ser capaz de atender os padrões de descontaminação exigidos pela legislação ambiental. (OLIVEIRA, 1995).

A Estabilização / Solidificação é um processo de pré-tratamento no qual são misturados aditivos com rejeitos ou solos contaminados. A finalidade disso é minimizar a taxa de migração de contaminantes no meio-ambiente e promover uma

transformação química e/ou física de resíduos ou dos contaminantes dissolvidos no solo, de maneira a diminuir sua toxicidade. Nesse processo, os contaminantes são parcialmente seguros e mantidos em formas menos tóxicas para o meio-ambiente, por adição de ligantes (aditivos). A Solidificação é um processo por meio do qual os resíduos perigosos são misturados a outros materiais, fundidos e rapidamente solidificados, de tal forma que os contaminantes permanecem fixos na estrutura do novo material solidificado. A solidificação permite obter materiais com excelente resistência mecânica e resistência à compressibilidade as quais evitam a permeabilidade do material solidificado e inibem a lixiviação das substâncias tóxicas. Os objetivos da estabilização e da solidificação são: 1) minimizar a taxa de contaminação e migração de contaminantes ao meio-ambiente; 2) reduzir o nível de toxicidade ao meio-ambiente; 3) permitir manuseio de rejeitos e melhorar suas propriedades físicas; 4) diminuir a área superficial por meio da qual ocorre a reação dos contaminantes com o meio-ambiente; 5) reduzir e/ou limitar a solubilidade e toxicidade de compostos perigosos contidos em resíduos/solos; 6) reduzir o volume de materiais tóxicos; 7) alterar as características físicas de materiais contaminados com vistas à imobilização dos contaminantes. Os processos de estabilização utilizam materiais pozolânicos e/ou outros aditivos, como material de mistura a resíduos ou solos contaminados. Esse processo pode ser utilizado, por exemplo, no tratamento *ex situ* de solos contaminados, onde as unidades de tratamento situam-se fora do sítio contaminado. Os solos estabilizados podem retornar ao sítio escavado ou mesmo receber outro destino, como aterros industriais. Técnicas de estabilização/ solidificação *in situ* permitem que o tratamento seja realizado no próprio local contaminado. Essas aplicações decorrem do uso de equipamentos (brocas ou escavadeiras) preparados para remover o solo e, simultaneamente, promover a adição de reagentes e de misturas de aditivos. A Vitrificação é a segunda técnica de solidificação *in situ*, por meio da qual uma corrente elétrica é forçada a passar entre eletrodos, dispostos ao longo da área contaminada, a qual funde o solo e incorpora os metais tóxicos no produto de reação final vitrificado. O sistema de fusão pode ser equipado com capelas e depressores para recuperação de fumos de reação e/ou de metais parcialmente vaporizados durante as operações, tais como o mercúrio, chumbo e arsênio. Essa técnica consiste na fusão de resíduos/solos, com silicatos e outros materiais pozolânicos, em temperatura superior a 1600oC, seguida de

resfriamento rápido para formar material vítreo silicatado ou cerâmico, não cristalino e amorfo. Os materiais vítreos são lentamente lixiviados sob a ação de água e possuem estrutura estável. Essa característica diminui o potencial de contaminação do elemento perigoso para o meio-ambiente e permitindo que essa técnica seja extremamente indicada ao tratamento de materiais perigosos e radioativos. (NOBRE, 1998).

O "*Soil flushing*" é uma tecnologia inovadora de remediação que consiste em produzir um fluxo de uma solução de lavagem no subsolo, a qual move os contaminantes para determinada área de onde são removidos. A solução de lavagem ou "*flushing solution*" é determinada de acordo com as especificações químicas e/ou físicas dos contaminantes. As soluções comumente utilizadas são de dois tipos: (1) água; ou (2) água com aditivos tais como, ácidos (baixo pH), bases (alto pH) ou produtos tenso-ativos (detergentes). A adição de água é usada para tratar contaminantes que se dissolvem facilmente em água. Soluções ácidas podem ser mistura de água e de ácido, tal como ácido nítrico ou ácido hipoclorito. Soluções ácidas são usadas para remover metais e contaminantes orgânicos, tais como aqueles tipicamente usados em recargas de baterias ou em processos industriais de cromagem. Uma solução básica é uma mistura de água e uma base, tal como hidróxido de sódio (amônia é um exemplo de uma base comumente usada para limpeza de residências). Soluções básicas são usadas para tratar fenóis ou outros metais. Um surfactante pode ser um detergente ou um emulsificador. O emulsificante ajuda a misturar substâncias que normalmente não se misturam com óleo nem com água. Por essa razão, as soluções surfactantes são efetivas na remoção de contaminantes oleosos. Solventes orgânicos podem ainda ser usados para dissolver metais que não são facilmente dissolvidos em meio aquoso.

Resumidamente, essa técnica promove: a) injeção de soluções de lavagem através de poços escavados em solos próximo da área contaminada; b) força o movimento da pluma de contaminação em direção aos poços de extração; c) eficaz em solos com material argiloso mais grosseiro; d) requer perfurações para proceder a injeção e a extração das soluções; e) requer grande conhecimento da geologia da área; f) requer conhecimento das características dos contaminantes no subsolo. (NOBRE, 1998).

A técnica *Soil Washing* é um processo no qual os solos contaminados são escavados, removidos do local original, tratados fisicamente na superfície e misturados com aditivos preparados para remover os contaminantes. Resumidamente, o processo separa as partículas finas (silte) das partículas grosseiras (areias). A separação granulométrica promove a redução no volume de solo contaminado, também reduz relativamente os custos de separação e minimização de resíduos requeridos por tratamento posterior. Geralmente os solos são constituídos de finas partículas (siltes e material argiloso) ou partículas grossas (areias e cascalhos), material orgânico, água e ar. Os contaminantes tendem a se ligar, quimicamente ou fisicamente, com argilas e material orgânico que, em seu turno, se ligam a areias e arenitos. Quando o solo contém grande quantidade de matéria orgânica e argila, os contaminantes se incorporam mais facilmente ao solo e movem-se com dificuldade. Processo inverso ocorre quando somente uma pequena quantidade de argila e matéria orgânica está presente. (NOBRE, 1998).

A técnica da Fitorremediação se utiliza de plantas para facilitar a remoção de contaminantes de solos e águas subterrâneas. Espécies de plantas podem ser selecionadas para extrair e assimilar ou extrair e quimicamente decompor os contaminantes. Muitos compostos químicos inorgânicos, considerados contaminantes ambientais, são, de fato, nutrientes vitais que podem ser absorvidos por meio do sistema de raízes das plantas para o seu crescimento e desenvolvimento. Metais podem ser absorvidos e bioacumulados nos tecidos das plantas. Compostos orgânicos, especialmente pesticidas, podem ser absorvidos e metabolizados pelas plantas, inclusive as árvores. (OLIVEIRA, 1995).

A bioremediação é um processo de tratamento com microrganismos que transformam substâncias tóxicas em substâncias menos tóxicas ou não-tóxicas. Poluentes tóxicos, sobretudo compostos orgânicos, podem ser degradados pelos microrganismos e ocorrer redução significativa das concentrações dos contaminantes, no solo e na água, eliminando-se riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Uma vez os contaminantes degradados, a população de microrganismos é reduzida em virtude da menor oferta de alimento disponível no meio. Em adição à bioremediação, imobilização e volatilização de alguns componentes podem ocorrer durante o processo de tratamento. Esse processo de tratamento é uma reação bioquímica mediada por microrganismos. Um composto orgânico é oxidado (perde

elétrons de hidrogênio) por um aceptor de elétrons, e este é reduzido, ganhando elétrons de hidrogênio. Vários aceptores de elétrons têm sido identificados como o oxigênio (O2), nitrato (NO- 3), sulfato (SO2- 4) ou dióxido de carbono (CO2). A utilização do oxigênio como um aceptor de elétron é denominado de biodegradação aeróbica; enquanto com os outros elementos, biodegradação anaeróbica. Assim, a bioremediação pode acontecer sob condições aeróbicas e anaeróbicas. Em condições aeróbicas, os microrganismos usam o oxigênio da atmosfera. Com oxigênio suficiente, os microrganismos irão converter muitos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono e água. Em condições anaeróbicas, os microrganismos quebram os compostos químicos, como nitrato e sulfato, para a obtenção da energia de que precisam. Algumas vezes, durante os processos aeróbicos e/ ou anaeróbicos, os produtos intermediários são menos, equivalentes ou mais tóxicos que os contaminantes originais A superfície do solo contém grande número de microrganismos que incluem bactérias aeróbicas ou anaeróbicas, fungos, actinomicetos e protozoários. As tecnologias de bioremediação aumentam o crescimento da população microbiana e criam condições ótimas para o máximo de degradação possível. Os microrganismos só podem fazer a degradação se as concentrações dos poluentes não são tóxicas para eles; se o tipo e/ ou o número dos microrganismos forem adequados; não houver condições excessivamente ácidas ou alcalinas – faixa de pH ótima de 5,5 a 8,5; disponibilidade de nutrientes como fósforo, nitrogênio e outros; condições de água no solo de 25 a 85%; não faltar oxigênio ou outro receptor de elétron. Os microrganismos utilizados podem ser nativos ou introduzidos. Os nativos são encontrados no sítio estudado, cujo crescimento é estimulado pelo fornecimento de nutrientes, oxigênio e temperatura adequada. Caso seja necessário degradar um contaminante particular, cujo microrganismo precise ser trazido de outro sítio, as condições do solo têm de ser ajustadas para a necessidade do microrganismo introduzido. (OLIVEIRA, 1995).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os detalhes pertinentes aos locais estudados bem como todas as informações relevantes utilizadas para a detecção da contaminação do solo, água. São apresentadas também para cada caso as técnicas de remediação utilizadas. O item 5.1 refere-se ao posto 1 e o item 5.2 ao posto 2.

Ressalta-se ainda que todos os dados referidos foram obtidos dos relatórios da CETESB doravante citados ao longo do texto.

5.1POSTO 1 – Tanques Enterrados

O Posto 1 oferece a prestação de serviços com as seguintes instalações:

- Troca de óleo – realizada em box com elevador hidráulico e com valeta. Os resíduos da operação de troca de óleo são armazenados em tambores, dispostos em área coberta, com bacia de contenção e posteriormente retirados por terceiros, para destinação adequada. O óleo usado é encaminhado para tanque de 1000 l, enterrado, sendo posteriormente retirado por firma credenciada para refino;
- Lavagem de veículos – realizada em box com elevador hidráulico. Os efluentes gerados passam por caixa de areia/sedimentação e são encaminhados para a rede coletora de esgoto da concessionária pública (SABESP).
- Pavimentação – a área de abastecimento, lavagem e troca de óleo apresenta pavimentação de concreto e a área de tancagem, descarga e estacionamento, a pavimentação é feita com bloquetes hexagonais de concreto. Ambos em bom estado de conservação.
- Abastecimento de água – a água utilizada no local é fornecida através de um poço artesiano, mas não foram obtidas informações quanto aos aspectos construtivos do poço. A água é destinada ao consumo pelos funcionários do posto e seus clientes, e uso geral nas atividades diárias. A água da rede pública de abastecimento não é utilizada. (CETESB, 2007).

As instalações do Posto 1 são mostradas na Figura 4.

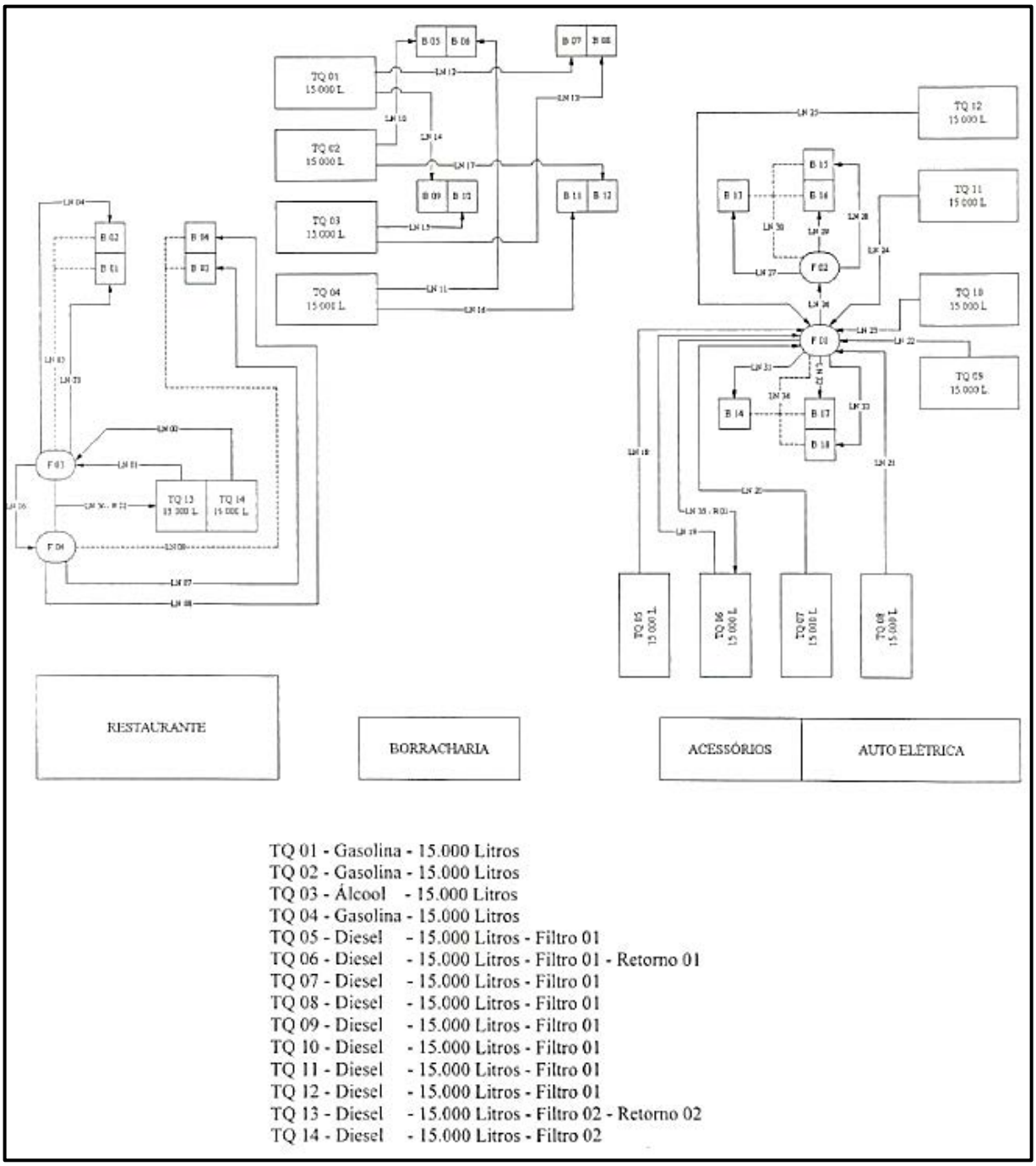


Figura 4: Instalações do Posto 1.
Fonte: Relatório CETESB 2007

Durante o ano de 1998, o posto pesquisado sofreu ampliação da área, com reforma civil e adequação ambiental. Embora o empreendimento não apresente histórico de acidentes e vazamentos de combustível, em 2007 realizou a reforma completa das suas instalações, com a troca de todos os tanques e substituindo-os por tanque jaquetado de parede dupla de aço e fibra de vidro, construídos de acordo com as normas vigentes. (CETESB, 2007).

5.1.1 Caracterização da área

O município de Avaré localiza-se no Sudoeste do Estado de São Paulo, sob as coordenadas 23º05’56” de Latitude Sul e 48º55'33" de Longitude Oeste, em uma altitude média de 766,0 metros. Distante cerca de 260 km da capital do Estado, Avaré possui uma área de 1.216 km² e população de 84 mil habitantes sendo considerada uma estância turística (Figura 5).

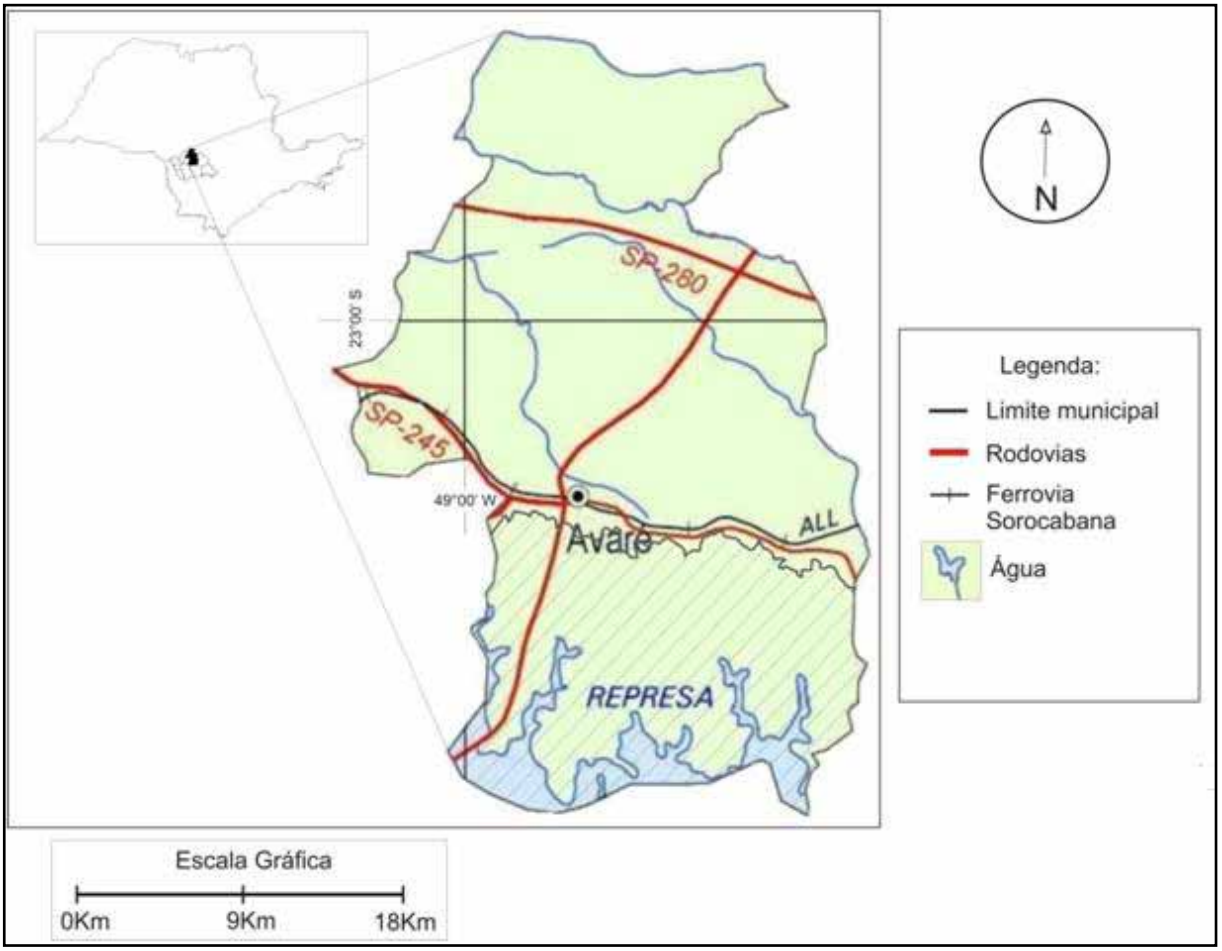


Figura 5: Mapa delimitação Avaré.
Fonte: IBGE 2009.

O município está situado sobre as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Na região, afloram as rochas sedimentares detríticas das Formações Marília (km), que pertencem ai Grupo Bauru e as rochas vulcânicas (basalto) da Formação Serra Geral (JKsg), que pertencem ao grupo São Bento. (CETESB, 2007).

As rochas basálticas afloram ao Norte do município, resultantes da erosão ocorrida ao longo do Rio Pardo, aparecendo em toda a extensão local desta

drenagem. O restante do município está situado sobre as rochas detríticas da Formação Marília (Km).

Ao Norte do município, ocorre a Formação Adamantina (Ka) e a Sudeste a Formação Botucatu (jKb). O perfil estratificado da região é constituído em ordem cronológica de deposição pelas Formações Botucatu (jKb), Serra Geral (JKsg), Adamantina (Ka) e Marília (Km). Agentes erosivos, principalmente fluviais, permitiram a exposição de camadas mais inferiores na região. (CETESB, 2007).

A Formação Serra geral é constituída por basaltos. Os basaltos são rochas vulcânicas ou extrusivas (rochas formadas na superfície terrestre, ou próxima a ela, pelo extravasamento de rochas ígneas – lavas). O derrame de lava, que originou o basalto, ocorreu através de um derrame fissural por extravasamento rápido de lava muito fluída em falhamentos e fraturas ao longo da superfície terrestre. O basalto da Formação Serra Geral tem idade no Jurássico/Cretáceo.

Sobreposta à Formação Serra Geral aparecem os sedimentos do Grupo Bauru, representados pela Formação Adamantina (Ka) ao Norte e pela Formação Marília (Km), que aflora a Oeste, Sul e Leste do município.(CETESB, 2007)

Os sedimentos de Formação Adamantina (Ka) compreendem arenitos finos a muito finos que podem conter cimentação e nódulos carbonáticos, além de lentes de siltitos arenosos e argilitos, na forma de bancos maciços. Exibem grandes variedades de estruturas sedimentares, caracterizadas pela presença de estratificação plano-paralelas e cruzada de pequeno porte. A formação é unidade de mais ampla distribuição na região, sendo encontrada nos níveis mais elevados do relevo, uma vez que foi totalmente erodida nos baixos vales dos principais rios. Suas rochas são, em geral, pouco alteradas, destacando-se pela coloração bege ou creme, às vezes amarronzada clara, sendo por isto de fácil distinção das demais unidades do Grupo Bauru. Sua espessura é da ordem de 180 m. (CETESB, 2007)

A Formação Marília (Km) é constituída predominantemente de arenitos médios a finos, com pelotas de argilas esparsas ou numerosas formando níveis conglomeráticos e muitos nódulos calcários, ás vezes concentrados em níveis. A cor é esbranquiçada a creme-clara. Essa formação apresenta elevada densidade de drenagem. O relevo mostra grandes desníveis, da ordem de 100 m, geralmente em escarpas bem delineadas e cobertura vegetal mais densa. Sua espessura é da ordem de 200 m e as relações entre as formações do Grupo Bauru são de

interdigitação. A geologia da região é caracterizada por rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná, unidade geológica que se estende pelos estados do Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país. A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica simétrica, com maior eixo aproximadamente na direção Norte-Sul, preenchida por sedimentos paleozoicos, mesozoicos, lavas basálticas, e, em alguns locais, formações cenozoicas.

A Tabela 1 a seguir apresenta o resumo da estratigrafia da região de Avaré.

Tabela 1: Unidades Estratigráficas.

FORMAÇÃO	SIMB	PERÍODO	AMBIENTE	LITOLOGIA
SEDIMENTOS ALUVIONARES	Qa	QUATERNÁRIO	FLUVIAL	AREIAS INCONSOLIDADAS, LÂMINAS DE ARGILAS
MARÍLIA	Km	CRETÁCEO	LEQUES ALUVIAIS	ARENITOS FINOS A GROSSOS CONGLOMERÁTICO CIMENTO CARBONÁTICO
ADAMANTINA	Ka	CRETÁCEO	FLUVIAL LACUSTRE	ARENITOS FINOS A MUITO FINOS LENTES DE ARGILITO LENTES DE SILTITOS
SERRA GERAL	JKsg	JURÁSSICO CRETÁCEO	VULCANISMO	BASALTO
BOTUCATU	JKb	JURÁSSICO CRETÁCEO	EÓLICO	ARENITOS FINOS A MÉDIOS
PIRAMBÓIA	T_RJp	TRIÁSSICO JURÁSSICO	FLUVIAIS	ARENITOS FINOS A MÉDIOS NÍVEIS DE FOLHELHOS NÍVEIS DE ARENITOS ARGILOSOS
ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE AVARÉ				
FONTE: MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO IPT - 1981 - ESCALA ORIGINAL 1:500.000				

Fonte: Relatório CETESB 2007

A litologia local é constituída predominantemente por arenitos seguidos de siltitos e argilitos. O tipo de solo predominante são os solos do tipo Latossolos Vermelhos, mais especificamente o LV56, que ocorre no município de Avaré ao Norte, Noroeste e Nordeste. No sul do município, observa-se uma faixa de direção Leste-Oeste constituída por Nitossolos Vermelhos (NV5).(CETESB, 2007)

Os solos Latossolos Vermelhos são solos distróficos associados com Latossolos Vermelho-amarelos, também distróficos, ambos com horizonte "A" moderado e com relevo plano suave e ondulado.

Solos distróficos são solos que apresentam saturação por bases inferior a 50%. A saturação por base é a proporção de cátions básicos trocáveis em relação à

capacidade de troca determinada a um pH igual 7,0. A porcentagem menor que 50% indica baixa capacidade de regeneração do solo em questão. (CETESB, 2007)

Referente à geomorfologia, o município de Avaré está situado no Planalto Residual de Botucatu, o qual se estende como uma estreita faixa na direção Leste-Oeste, tendo ao Norte o Planalto Centro ocidental e ao Sul a Depressão Paranapanema.

Esta unidade geomorfológica corresponde a um reverso de cuesta no interflúvio dos Rios Tiete e Paranapanema. (CETESB, 2007)

Na unidade do Planalto Residual de Botucatu predominam as formas de relevo denudacionais constituídos por colinas com topos amplos convexos e tabulares. As altimetrias estão entre 600,0 e 900,0 metros com as vertentes apresentando declividade entre 10,0 e 20,0%. Localmente, há um predomínio das formas tabulares, onde os vales apresentam entalhamento de 20,0 metros e as dimensões interfluviais estão entre 750,0 e 1750,0 metros. A área apresenta um potencial de erosão baixo devido às formas de dissecação baixas, vales pouco entalhados e densidade de drenagem baixa, com exceção das áreas de vertentes mais inclinadas, que são muito susceptíveis aos processos erosivos.

Hidro geologicamente, Avaré localiza-se na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, UGRHI 17. Com relação às águas subterrâneas, a região apresenta dois principais sistemas de aquífero: o aquífero Serra Geral (mais em profundidade) e o aquífero Marília, cujas características podem ser observadas na Tabela 2. O aquífero Serra Geral é de caráter fissural (movimentação das águas por fraturas, falhas e fissuras), considerado de extensão limitada, livre a semiconfinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico (características físicas diferentes). (CETESB, 2007)

Tabela 2 – Características hidrológicas

AQUÍFERO	GEOMETRIA			HIDRÁULICA					
	ÁREA	Em	Exsub	Q	PROF.	CE	T	K	S
	(Km²)	(m)	(Km²)	(m³/h)	(m)	(m³/h/m)	(m²/dia)	(m/d)	(adm)
MARÍLIA	---	180	---	8 a 30	100 a 200	---	---	---	---
ADAMANTINA	104 (Mil)	190	---	8 a 30	100 a 200	0,5 a 1,0	30,0 a 50,0	0,1 a 3,0	0,0001 a 0,01
SERRA GERAL	32 (Mil)	150	10,4 (Mil)	5 a 70	100 a 200	0,01 a 10,0	1,0 a 700	---	---
BOTUCATU (LIVRE)	16 (Mil)	250	---	10 a 100	50 a 250	3 a 17,0	---	0,2 a 4,0	0,001 a 0,2
BOTUCATU (CONFINADO)		500	136,8 (Mil)	50 a 600	300 a 1700	0,01 a 26,0	70,0 a 1300	0,5 a 4,6	1E-06 a 0,0001

Em Espessura Media — CE Capacidade Especifica Media
Exsub Extensão em Subsuperficie — T Transmissividade
Q Vazão — K Permeabilidade Aparente Media
PROF. Profundidade dos Poços — S Coef. de Armazenamento Medio

CARACTERÍSTICAS DOS AQUÍFEROS

Fonte: Relatório CETESB 2007

Ao Norte do Município, aparece o aquífero Adamantina, de extensão regional, granular (movimentação das águas por poros), livre a semiconfinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. O aquífero Botucatu (aquífero Guarani) está situado mais em profundidade, confinado pelo aquífero Serra Geral.

O aquífero Botucatu é considerado a maior e principal reserva de água subterrânea, devido às suas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas. Ocorre numa faixa de sentido SW-NE, com uma área de afloramento de cerca de 16.000 km² e a espessura pode alcançar valores de até 450 m nas áreas centrais da bacia, conforme mostra a figura 6. (CETESB, 2007)

Figura 6: Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema
Fonte: IBGE 2007

O município de Avaré, quanto à vulnerabilidade das águas subterrâneas, está inserido em uma região classificada de potencial "Baixo Alto" nas áreas de ocorrência da Formação Marília e ao norte como nas áreas de afloramento da Formação Serra Geral (basaltos). Esta classificação leva em consideração três aspectos distintos, que relacionados entre si determinam o potencial (CETESB, 2007):

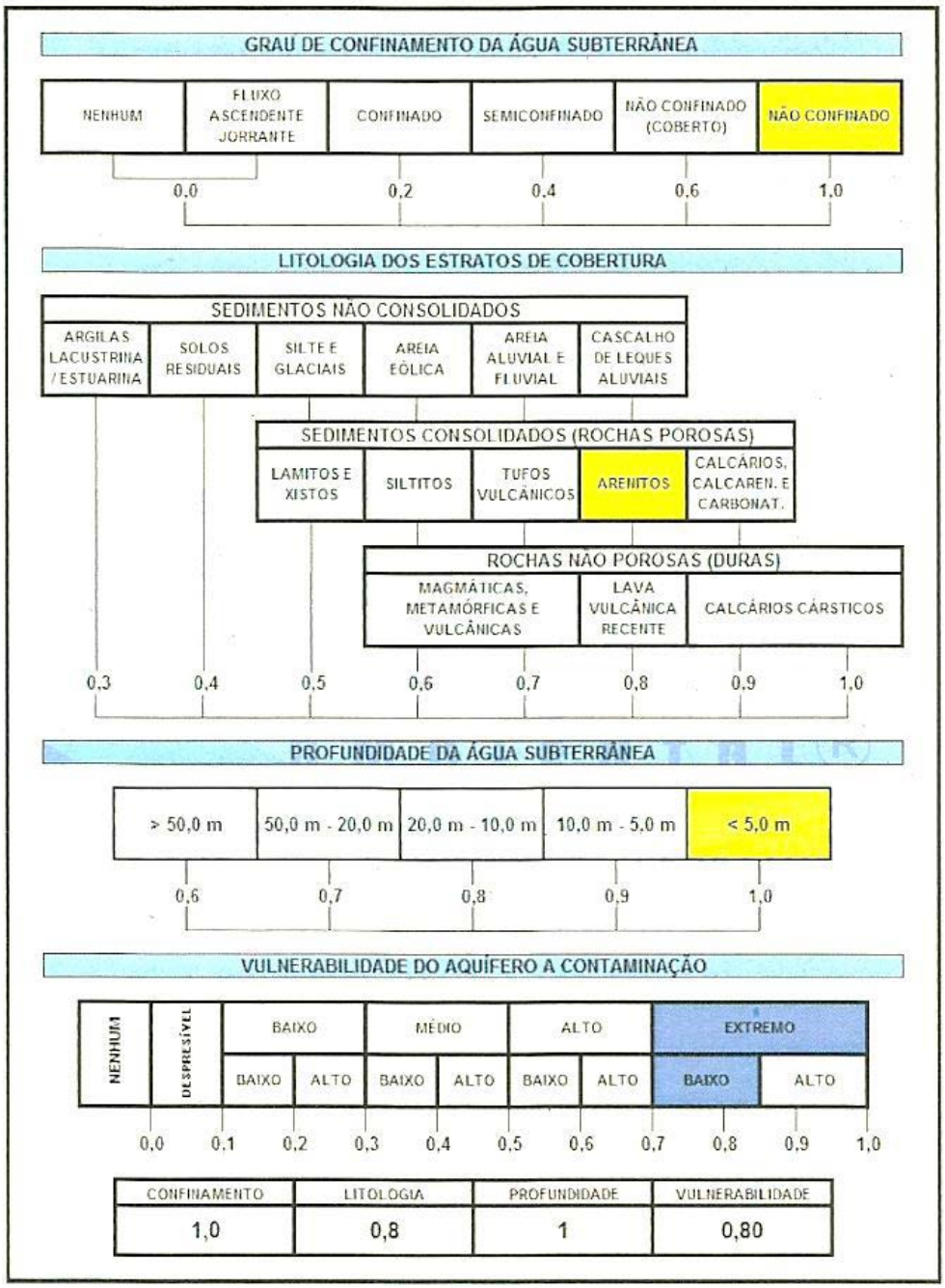
a) Tipo de ocorrência da água subterrânea (confinada, livre, semiconfinada etc.);

b) Especificação dos tipos litológicos acima da linha saturada do aquífero (arenitos, argilitos, folhelhos etc.) e,

c) Profundidade do nível de água.

A Tabela 3 apresenta um fluxograma do método de classificação da vulnerabilidade das águas subterrâneas de acordo com Foster e Hirata (1988).

Tabela 3: Método de classificação da vulnerabilidade das águas subterrâneas (Foster & Hirata)



Fonte: Relatório CETESB 2007

Características como ocorrência livre, litologia granular (arenitos) e pouca profundidade, aumentam a vulnerabilidade do aquífero. No caso em questão, a classificação como "Baixo alto" deve-se a maior profundidade do lençol freático em rochas granulares (Formação Marília) sotopostas as rochas basálticas (Formação Serra Geral), que agem como confinantes. (CETESB, 2007)

No local do Posto 1, o nível de vulnerabilidade é considerado como "Extremo baixo" segundo Foster e Hirata (1988), devido ao não confinamento de água subterrânea, ocorrência de arenitos como litologia dos estratos de cobertura e principalmente devido a pouca profundidade da água subterrânea no local, que apresenta média de 2,599 metros (tabela 3).

5.1.2 Histórico

Em janeiro de 2003, o Posto 1 passou por uma investigação confirmatória, sendo instalados seis poços de monitoramento, com a coleta de seis amostras de solo e de água subterrânea. Não foi constatada presença dos CQI's nas amostras do solo. O poço PM-04 apresentou concentrações de BTEX acima dos valores orientadores e o poço PM-02 apresentou concentrações de PAH abaixo dos valores orientadores utilizados.

As atividades de campo foram realizadas entre os dias 04 a 17 de setembro de 2007, e compreenderam a execução de 7 (sete) sondagens da trado manual (4'), instalação de 7 (sete) poços de monitoramento (2'), coleta de 7 (sete) amostras de solo e 13 (treze) amostras de água subterrânea, sendo coletado para o controle da qualidade laboratorial, para a análise dos parâmetros BTEX e PAH, além da coleta de amostras geotécnicas para análise das propriedades físicas complementares do solo. (CETESB, 2007)

Durante a execução das sondagens não foram observados indícios de produto absorvido no solo, e as concentrações de VOC obtidas *in situ* apontaram valores máximos de 1580 e 120 ppm ao longo dos perfis das sondagens S-05 e S-06, respectivamente.

Em agosto de 2007 foi realizado o teste de estanqueidade em todos os tanques do posto, onde se contatou que os tanques 09 e 12 apresentaram-se não estanque após o teste. Os produto armazenados no Posto 1 são Gasolina Comum (GC), Gasolina Aditivada (GA), Álcool Comum (AC), Diesel Comum (DC) e Óleo Queimado (OQ).(CETESB, 2007)

As tabelas 4, 5, 6 e 7 mostram as características dos tanques, das bombas do filtro e os equipamentos de controle e monitoramento ambiental bem como os equipamentos utilizados para controle ambiental no Posto 1 na época da investigação, em janeiro de 2003.

Tabela 4: Características dos tanques

Nº.	Tipo (AST/UST/ Tambor)	Produto	Ano de Instalação	Status	Compartimento	Material	Capacidade (L)
01	UST	DC DC	1993	Ativo	Bipartido	PDAF	30.000
02	UST	GC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
03	UST	GC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
04	UST	AC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
05	UST	GA	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
06	UST	DC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
07	UST	DC	1993	Removido	Simples	PDNM	15.000
08	UST	DC	1993	Removido	Simples	PDNM	15.000
09	UST	DC	1993	Removido	Simples	PDNM	15.000
10	UST	DC	1993	Removido	Simples	PDNM	15.000
11	UST	DC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
12	UST	DC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
13	UST	DC	1993	Ativo	Simples	PDNM	15.000
14	AST	OQ	2004	Ativo	Simples	Aço	1.000
Observação: PDAF- Parede Dupla de Aço e Fibra; PDNM - Parede dupla não metálica.							

Fonte: Relatório CETESB 2007

Tabela5: Características das Bombas

Nº.	Tipo	Ano de Instalação	Status	Nº de Controle dos Bicos	Tanque / Compartimento
01	Dupla	1993	Ativa	1 e 2	1
02	Dupla	1993	Ativa	3 e 4	1
03	Dupla	1993	Ativa	5 e 6	3 e 5
04	Dupla	1993	Ativa	7 e 8	2 e 5
05	Dupla	1993	Ativa	9 e 10	8 e 9
06	Dupla	1993	Ativa	11 e 12	10 e 11
07	Simples	1993	Removida	13	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13
08	Simples	1993	Removida	14	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13
09	Dupla	1993	Removida	15 e 16	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13
10	Dupla	1993	Removida	17 e 18	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13
Obs.: As bombas removidas serão reinstaladas após o término das obras de concretagem da pista.					

Fonte: Relatório CETESB 2007

Tabela6: Características do Filtro

Nº.	Tipo	Ano de Instalação	*Status*	Tanque	Condição
01	Prensa	1993	Ativo	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13	Boas
02	Prensa	1993	Ativo	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13	Boas
03	Prensa	1993	Ativo	1	Boas
04	Prensa	1993	Ativo	1	Boas
05	Prensa	2007	Inativo	-	Novos
06	Prensa	2007	Inativo	-	Novos

Fonte: Relatório CETESB 2007

Tabela7: Equipamentos de Controle e Monitoramento Ambiental

Equipamentos	S/N	Obs.: (Idade, volume, quantidade, tipo)
Caixa separadora de óleo/água	S	Localizada próximo a troca de óleo, tanque de óleo queimado e área de abastecimento
Canaletas perimetrais	S	Área de abastecimento
Coletor de Esgoto	S	Rede pública Sabesp
Poços de monitoramento preexistente	S	6 PM's instalados pela HAZTEC, 2003.

Fonte: Relatório CETESB 2007

As atividades de campo foram realizadas objetivando:

a) A investigação da(s) fonte(s) de contaminação existente(s);

b) A delimitação das plumas de fase livre e fase dissolvida;

c) A caracterização geológica / hidrogeológica local;

d) A avaliação da qualidade ambiental do solo e,

e) A análise de risco moldes RBCA *Tier* 2.

O RBCA é um método de criação de decisões baseadas no risco para áreas contaminadas e é feito com base nas normas ASTM E 1739-95 e ASTM E-2081 -00. O RBCA utiliza os elementos tradicionais para investigação e seleção de atividades corretivas além da determinação dos custos efetivos para proteção da saúde humana e meio ambiente contidos nos estudos de análise de risco do EPA. O RBCA compreende a coleta de dados no posto, avaliação das potenciais vias de contaminação receptoras, avaliação da toxicidade química de interesse e finalmente a caracterização do risco para a saúde humana e meio ambiente. O objetivo deste serviço é quantificar os riscos gerados pelas áreas contaminadas á saúde da população e ao meio ambiente. Essa quantificação é baseada em princípios de toxicologia, química e no conhecimento sobre o comportamento e transporte dos contaminantes. Os dados resultantes desta análise podem servir de base para a tomada de decisão quanto às ações que devem ser seguidas para promover a recuperação da área. (CETESB, 2007)

5.1.3 Métodos da Análise Investigativa

Foi utilizado, como método de sondagem, o Trado Manual com diâmetro 4", conforme a NBR 13.895/97 sendo construídos poços de monitoramento e amostragem e de acordo com o manual que orienta o procedimento para identificação de passivos ambientais em estabelecimentos com sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis. (CETESB, 2006)

Os anexos 1 e 2 mostram a localização das sondagens de reconhecimento e distribuição dos resultados analíticos em solo bem como os perfis litológicos das sondagens de reconhecimento e construtivos dos poços de monitoramento instalados.

A tabela 8 mostra as características da sondagem de reconhecimento da contaminação do Posto 1.

Tabela 8: Características das Sondagens de reconhecimento

Sondagem / Prof. da Amostra (m)	VOC máximo (ppm)	Prof. VOC máximo (m)	Prof. do N.A (m) na Sondagem	Produto no solo / FL (m)	Prof. Total (m)	Justificativa para Locação das Sondagens
S-01 (11,0)	*	*	12,0	-	14,8	Reinstalação do poço PM-02 destruído.
S-02 (11,0)	*	*	13,0	-	14,7	Sondagem para instalação do poço para avaliação do ambiente fechado
S-03 (11,0)	*	*	13,0	-	14,6	Delimitação da fase dissolvida a jusante da área de tancagem e da área de abastecimento de diesel
S-04 (11,0)	*	*	13,4	-	14,4	Delimitação a jusante da fase livre verificada no PM-04 e a jusante da área de tancagem
S-05 (11,0)	1580	13,0	13,5	-	14,4	Delimitação a jusante da fase livre verificada no PM-04 e a jusante da área de tancagem
S-06 (11,0)	120	12,0	12,9	-	14,3	Delimitação lateral da fase livre verificada no PM-04
S-07 (11,0)	40	11,0	12,7	-	14,2	Delimitação lateral da fase livre verificada no PM-04
Obs: N.A. Nível de Água F.L. Fase Livre				**Total:**	**101,4**	
Observação: (*): valores nulos de VOC ao longo dos perfis; (-) ausência de produto e/ou de fase livre.						

Fonte: Relatório CETESB (2007)

Foram coletadas amostras do solo (Tabela 9) conforme o procedimento aceito pela CETESB para a identificação de passivos ambientais em estabelecimentos com sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis, utilizando como parâmetros analíticos os produtos BTEX e PAH. (CETESB, 2006).

Tabela 9: Amostras de solo selecionadas

Sondagem / Amostra prof. (m)	Data e Hora da Coleta	Critério de Seleção da Amostra	Parâmetros Analíticos	
			BTEX	PAH
S-01 / SO-01 (11,0)	29/06/07 – 16:00	Franja capilar	X	X
S-02 / SO-02(11,0)	30/06/07 – 10:00	Franja capilar	X	X
S-03 / SO-03 (11,00)	30/06/07 – 12:00	Franja capilar	X	X
S-04 / SO-04(11,0)	30/06/07 – 15:00	Franja capilar	X	X
S-05 / SO-05(11,0)	02/07/07 – 10:00	Franja capilar	X	X
S-06 / SO-06 (11,0)	02/07/07 – 12:00	Franja capilar	X	X
S-07 / SO-07(11,0)	02/07/07 – 15:00	Franja capilar e maior medição de VOC	X	X
		Total de Amostras:	07	07

Fonte: Relatório CETESB (2007)

A Análise de Risco foi realizada no nível *Tier* 2, onde são consideradas as distâncias entre a fonte e os potenciais receptores, e onde se utilizam dados específicos do local para os parâmetros mais sensíveis.

Os níveis de Análise de Riscos são os seguintes:

a) Nível 1 (*Tier 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.

b) Nível 2 (*Tier 2*) – Vazamento de proporção intermediária, de abrangência regional, que requer o apoio de diferentes empresas e instituições, e agências governamentais.

c) Nível 3 (Tier 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. (CETESB, sd).

A Análise de Risco foi realizada com o objetivo de avaliar as concentrações dos compostos químicos de interesse analisados no solo e na água subterrânea da área investigada, através do cálculo dos níveis máximos de concentrações aceitáveis, de tal forma que não ofereçam risco tóxico e carcinogênico aos receptores considerados no modelo de exposição conceitual do local, de acordo com as vias de exposição, os CQIs e aos critérios de risco adotados. (CETESB, 2007)

Para o serviço de instalação de poços de monitoramento e levantamento topográfico foi utilizado o método determinado pela NBR 13.895/97, (ABNT, 1997) que orienta construção de poços de monitoramento e amostragem.

As duas opções de modelos de cálculo do programa foram utilizadas:

- Modelo Backward – calcula as concentrações máximas toleráveis individuais (SSTL) dos CQI, de modo que estes não representem risco aos receptores considerados.
- Modelo Forward – calcula os riscos cumulativos, tanto de toxicidade, como de risco carcinogênico, a partir das máximas concentrações dos CQI detectadas nas análises químicas das amostras de solo e de água subterrânea coletadas na área investigada.

No caso dos riscos calculados ultrapassarem os padrões adotados, os níveis-alvo para determinados compostos foram calculados, a fim de estabelecer valores a serem atingidos durante a fase da remediação para eliminação de tais riscos. (CETESB, 2007)

Os poços de monitoramento foram instalados conforme mostra o anexo 3.

A tabela 10 apresenta os dados para a elaboração das análises de risco.

Tabela10: Dados para elaboração da Análise de Risco

Parâmetro	Valor numérico	Justificativa / Fonte
Matéria Orgânica zona não saturada	2825 mg/kg (0,0016385)	Dado específico do local (amostra geotécnica)
Matéria Orgânica zona saturada	859 mg/ kg (0,00049822)	Dado específico do local (amostra geotécnica)
Porosidade	0,312 cm^3/cm^3	Dado específico do local (amostra geotécnica)
Densidade	2,81 g/cm^3	Dado específico do local (amostra geotécnica)
Umidade da zona seca	0,064	Dado específico do local (amostra geotécnica)
Umidade na zona da franja capilar	0,2808	Correspondente a 90% do valor da porosidade.
Condutividade hidráulica vertical	1e-6 m^2	Valor estimado para argilas arenosas (Fetter, 1994).
Permeabilidade de vapor	1e-16 m^2	Valor de *default* para argila arenosa.
Espessura da franja capilar	0,05 m	Valores recomendados pela CETESB.
Permeabilidade	1,47 x 10^{-4} cm/s	Ensaio realizado em campo, no PM-07
pH	4,68	Valor correspondente a média obtida durante a amostragem
Todos os parâmetros de ar	-	Valores de *default* do programa
Parâmetros de exposição	ACBR / EPA	Valores recomendados pela CETESB / *Default* do programa.

Fonte: Relatório CETESB (2007)

Uma vez que a via de inalação de vapores orgânicos por receptores off site não é considerada pelos cálculos utilizados, optou-se, em caráter restritivo e conservador a simulação de um cenário hipotético considerando a ocupação residencial *on site*, visto que a pluma de contaminação em fase dissolvida não encontra-se delimitada atualmente a jusante do empreendimento, conforme tabela 11.

Para a elaboração do modelo conceitual do site, considerou-se a ocupação atual (comercial). Caso ocorram mudanças em relação aos cenários considerados (ex: troca do tipo de ocupação, reforma no empreendimento com mudança de layout), nova avaliação de risco deverá ser realizada. (CETESB, 2007)

Foram utilizadas as máximas concentrações dos CQI detectados no solo e na água subterrânea. Para os compostos não detectados, a concentração utilizada no programa consistiu no valor correspondente à metade do limite de quantificação obtido por composto pelo laboratório. Uma vez que a via de contato dermal com a água subterrânea não é considerada no estudo realizado, optou-se pela comparação das concentrações dos CQI com os valores de referência de Nível Aceitável Baseado no Risco – NABR, conforme CETESB, 2006.

Tabela11: Modelo de Exposição Conceitual do Local — Receptores e Vias Consideradas

RECEPTORES		VIAS CONSIDERADAS
Tipo	Distância	
Trabalhadores Comerciais	*On site* (do empreendimento)	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes fechados e abertos; Ingestão de águas subterrâneas;
	Off site (20 m)	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos; Ingestão de águas subterrâneas;
Trabalhadores de Obras	*On site*	Contato dermal e eventual ingestão do solo superficial; Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos; Inalação de particulados provenientes do solo superficial em ambientes abertos.
Residentes	*Off site* (40 m)	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos; Ingestão de águas subterrâneas;
	On site	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes fechados;

Fonte: Relatório CETESB (2007)

A título de verificação, uma vez que não se tem o controle da utilização futura das águas subterrâneas nas áreas localizadas a jusante da área do posto, foi utilizado o modelo de transporte Domenico, a fim de verificar a possibilidade das concentrações dos CQI existentes na área atingirem um poço de produção (POE), hipoteticamente situado a 100 m de distância das atuais fontes de contaminação — para receptores residenciais, em valores superiores aos das referências utilizadas (Portaria 518 e SSTL calculados para ingestão das águas pelos receptores comerciais *on site*). (CETESB, 2007)

5.1.4 Métodos de Remediação para o Posto 1

Durante o período de remediação do Posto 1, os seguintes trabalhos foram executados:

Em Janeiro/03 foi feita a Investigação Confirmatória, sendo instalados 06 poços de monitoramento, com a coleta de 06 amostras de solo e 06 amostras de água subterrânea. Não foi constatada presença dos Compostos Químicos de Interesses (CQI) nas amostras de solo, o poço PM-04 apresentou concentrações de BTEX acima dos valores orientadores.

Em Agosto/2007 – foi realizado o teste de estanqueidade em todos os tanques do empreendimento onde se constatou que os tanques 09 e 12 se apresentaram não estanques após o teste.

Em Outubro/2007 – foi realizada a Investigação Ambiental Detalhada e Análise de Risco RBCA *Tier* 2, com a execução de sondagens e instalação de 07 poços de monitoramento e coleta de 13 amostras de águas subterrânea. Constatando a presença de produto em fase livre no poço PM-04, com 0,36 m de espessura, os resultados analíticos das amostras de água subterrânea indicaram a presença de pluma de fase dissolvida de BTEX na área.

Na data, as concentrações de Benzeno, detectadas nos poços PM-05, PM-07 e PM-10 ultrapassaram os valores de SSTL - *Site-specific target level* (Nível Específico do Local de Destino) calculados para as vias de ingestão e inalação de vapores orgânicos provenientes das águas subterrâneas em ambientes fechados por receptores comerciais considerados *on site* e, os valores de NABR estabelecidos para o contado dermal com a água subterrânea contaminada por receptores

comerciais, as concentrações de Tolueno, detectadas nas amostras provenientes dos poços PM-05 e PM-09 ultrapassaram o valor de SSTL calculados para o posto.

Julho/08 – no Relatório de Investigação Ambiental Complementar, os serviços executados compreenderam a revisão do formulário de Avaliação Ambiental Fase I sondagem e instalação de 07 poços de monitoramento e a coleta de 16 amostras de água subterrânea dos poços existentes e instalados nesta campanha.

Na época, constatou-se a presença de produto em fase livre no poço PM-14, instalado no mesmo local do antigo PM-04 que foi destruído durante as obras de remoção de tanques, com 0,03 m de espessura, as concentrações de Benzeno detectadas nos poços PME-09, PME-12 e PME-20 ultrapassaram os valores de SSTL calculados para as via de inalação de vapores orgânicos provenientes das águas subterrâneas em ambientes fechados por receptores comerciais considerados *on site*.

Agosto/08 - Relatório de Remoção Emergencial de Fase Livre, reporte do trabalho de remoção manual de fase livre elaborado para o posto em que foram realizadas duas visitas para monitoramento de nível d'água e nível de óleo e VOC nos poços da área e a retirada de produto (1,14 litros) em fase livre do PM-14.

Abril/09 – Confecção do Relatório de Instalação e início da Operação do Sistema de Remediação Ambiental, trabalho que compreendeu a realização de 05 sondagens a trado manual (06") para instalação de 04 poços de extração de vapores do solo e um poço de bombeamento, 05 sondagens a trado manual de 04" para instalação de 05 poços de injeção de ar comprimido, 01 sondagem a trado manual (4") para reinstalação do poço de monitoramento PM-17 que havia sido destruído, a utilização do poço PM-12 como um poço de extração de vapores do solo (SVE-05) e a coleta de 09 amostras de solo.

Simultaneamente às atividades de instalação dos poços para o sistema de remediação do posto, foram conduzidas atividades de instalação de linhas subterrâneas, onde foram colocadas as mangueiras que ligam os poços de injeção de ar, as de extração de vapor e ainda as mangueiras de extração de água com contaminante.

Abril e Maio/09 – apresentados os Relatórios de Monitoramento de Remediação Ambiental, relatórios onde foram apresentados os resultados do

monitoramento da operação do sistema de remediação ambiental e reportado o decréscimo da espessura de fase livre e dos valores dos VOC presentes na área.

Estes relatórios recomendaram a continuidade da operação do sistema até que ocorresse a ausência de fase livre nos poços e as concentrações dos compostos de interesse na área até se atingir as metas de risco estabelecidas.

Junho/09 – apresentado o Relatório de Monitoramento de Remediação Ambiental trabalho em que foi relatado o monitoramento do nível d'água e fase livre, o monitoramento do sistema e o resultado analítico da coleta de 08 amostras de água subterrânea provenientes dos poços de monitoramento: PM-05, PM-O7, PM-09, PM -11 PM-12/SVE-05, PM-13, PM-16 e PM-19 para avaliação da evolução do processo e remediação ambiental.

Setembro/09 – Relatório de Monitoramento de Sistema de Remediação Ambiental, Relatório que apresentou os resultados do monitoramento do sexto mês de operação do sistema implantado pela Empresa A com serviços que compreenderam a medição do Nivel de Água – NA, Fase Livre – FL e Compostos Orgânicos Voláteis – VOC, dos dados do sistema instalado no posto; manutenção do sistema de remediação; amostragem dos poços de monitoramento e de bombeamento existentes e da Entrada e da Saída do sistema. (CETESB, 2009).

Os resultados analíticos das amostras coletadas para análise do parâmetro BTEX indicaram que no poço PM-05 foi ultrapassado o valor de SSTL referente a via de inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais *on site* (510,0 µg/L) com valor obtido de 611,2 µg/L .

Todas as amostras de água subterrânea foram devidamente identificadas com as informações pertinentes para análise como nome e número do projeto, identificação da amostra, técnico responsável, data e hora de coleta e análise desejada. As amostras foram ainda envasadas em frascaria laboratorial adequada as análises requeridas, acondicionadas em ambiente com temperatura de 4±2°C e enviadas ao Laboratório A.

A tabela 12 apresenta a relação de equipamentos que operam no sistema de remediação instalado no Posto 1.

Tabela 12: Equipamentos do sistema de remediação

Sistema	*Sistema de Remediação Ambiental -*
Tipo de sistema	*DPE - AS - SVE*
Início da operação	Abril de 2009
Ponto(s) de atuação	SVE-01 a SVE-03, AS-01 a AS-05, PB-01/SVE-04 e PM-12/SVE-05
Profundidade média do NA	10,96 metros
Equipamentos	01 Painel Elétrico
	01 Bomba Pneumática
	01 Condensador
	01 Bomba de transferência
	01 Caixa Separadora água / óleo
	01 Bóia Eletrônica
	01 Bóia de Emergência
	02 Filtros de ar com carvão ativado
	01 Filtro de água com carvão ativado
	02 Compressores de ar
	01 Compressor radial
Ponto de descarte de efluentes líquidos	Caixa Separadora do Posto
Ponto de descarte de efluentes gasosos	Atmosfera

Fonte: Relatório CETESB 2009.

5.1.4.1 Período 01 – abril de 2009

Este relatório apresenta os resultados do monitoramento do primeiro mês de operação do sistema de remediação ambiental implantado pela empresa A que atua na área do Posto 1, localizado na cidade de Avaré, SP, no período de 04 de abril a 31 de Abril/2009.

Os serviços compreenderam:

• Monitoramento de Nível d'Água (NA), Fase Livres (FL) e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) nos poços de monitoramento e de remediação existentes.

• Monitoramento dos dados do sistema de remediação instalado no posto.

Durante este período a empresa A realizou o monitoramento do nível d'água, vácuo e concentração de VOC's nos poços de monitoramento e extração, além das medições realizadas no sistema de remediação. (CETESB, 2009)

5.1.4.2 Período 02 – maio de 2009

Os serviços executados compreenderam:

• Monitoramento de Nível d'Água (NA), Fase Livre (FL) e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) nos poços de monitoramento e de remediação existentes;

• Monitoramento do sistema de remediação instalado no posto.

No dia 29 de maio de 2009 foi realizada uma visita técnica ao local, para monitoramento ambiental em todos os poços de monitoramento e de remediação existentes na área do posto e coleta de dados do sistema em operação desde 03 de abril. (CETESB, 2009)

5.1.4.3 Período 03 – junho 2009

Este período compreende o terceiro mês de operação do sistema de remediação ambiental implantado pela Empresa A e apresenta os dados de evolução da remediação na área através do monitoramento dos parâmetros do sistema de remediação da água subterrânea e solo, no período de 01 a 30 de junho de 2009. (CETESB, 2009)

Durante o período de operação foram realizadas 02 (duas) visitas ao local, uma no dia 21 e outra entre os dias 26 e 27 de junho de 2009. Os serviços executados compreenderam:

• Monitoramento de Nível d'Água (NA), Fase Livre (FL) e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) nos poços de monitoramento e de remediação existentes;

• Monitoramento dos dados do sistema de remediação instalado no posto;

• Monitoramento analítico dos poços localizados dentro da pluma de fase livre e fase dissolvida.

Nos dias 21 e 27 de junho foram realizadas medições de profundidade do nível d'água, nível de óleo e VOC em todos os poços de monitoramento e de remediações existentes na área, utilizando um equipamento eletrônico de medição de nível de água e nível de óleo e um medidor eletrônico de gases voláteis *Gastech*.

A fim de verificar a eficiência do sistema ai instalado, entre os dias 26 e 27 de junho foram coletadas 10 amostras de água, sendo duas amostras do sistema de remediação instalado e 08 amostras da água subterrânea provenientes dos poços de monitoramento: PM-05, PM-07, PM-09, PM-11, PM-12/SVE-05, PM-13, PM-16 e PM-19.

Para a escolha dos poços amostrados levou-se em consideração a sua localização dentro da pluma de fase livre e dissolvida, a exceção do poço de monitoramento PM-19 que foi amostrado para se avaliar, juntamente com o PM-07, uma possível dispersão de contaminantes nas proximidades do restaurante localizado no empreendimento.

O procedimento para amostragem de água subterrânea seguiu as orientações sugeridas pela NBR 13.895/97 – Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem – e diretrizes da CETESB.

As amostras coletadas nos poços de monitoramento foram analisadas para o parâmetro BTEX e foram efetuadas com amostradores descartáveis do tipo *bailer* , com purgeamento prévio de três vezes o volume de água nos poços amostrados. As amostras da entrada e da saída do sistema foram analisadas para os parâmetros PAH e BTEX.

Todas as amostras foram envasadas em frascaria laboratorial adequada ás análises requeridas e acondicionadas em ambientes de temperatura inferior a 6ºC, sendo enviadas ao Laboratório A. (CETESB, 2009).

5.1.4.4 Período 04 - setembro de 2009

Durante o período de execução foram realizadas duas visitas pela Empresa A ao local, (CETESB, 2009) ocorridas entre os dias 14 e 17 de setembro e no dia 24 de setembro de 2009 e os serviços executados compreenderam:

- Monitoramento de Nível D'Água (NA), Fase Livre (FL), Compostos Orgânicos Voláteis (VOC);
- Monitoramento dos dados do sistema de remediação instalado no posto
- Manutenção do sistema de remediação;
- Monitoramento analítico dos poços de monitoramento e de bombeamento existentes e da entrada e saída do sistema de remediação.

Entre os dias 15 e 16 de setembro de 2009 foram realizadas medições de profundidade do nível d'água com equipamento de medição de interface água e óleo nos 13 poços de monitoramento, no poço de bombeamento (PB-01/SVE-04) e nos poços de remediação (AS-01 a AS-05; SVE-01 a SVE-03 e; PM-12/SVE-05) locados na área do posto e verificação de fase livre nos mesmos.

A partir das cotas topográficas e dos valores de nível d'água nos poços de monitoramento existentes foram calculadas as cargas hidráulicas e elaborado o mapa potenciométrico, em que é indicado o sentido e direção do fluxo das águas subterrâneas na área. (CETESB, 2010)

A profundidade média do nível d'água nesta época do ano foi de 11,14 m e o sentido geral de fluxo das águas subterrâneas se apresenta de Oeste (0) para Leste

(L) e a direção é Nordeste (NE). O mapa potenciométrico atual, com o sentido e direção do fluxo, pode ser observado na Figura 7.

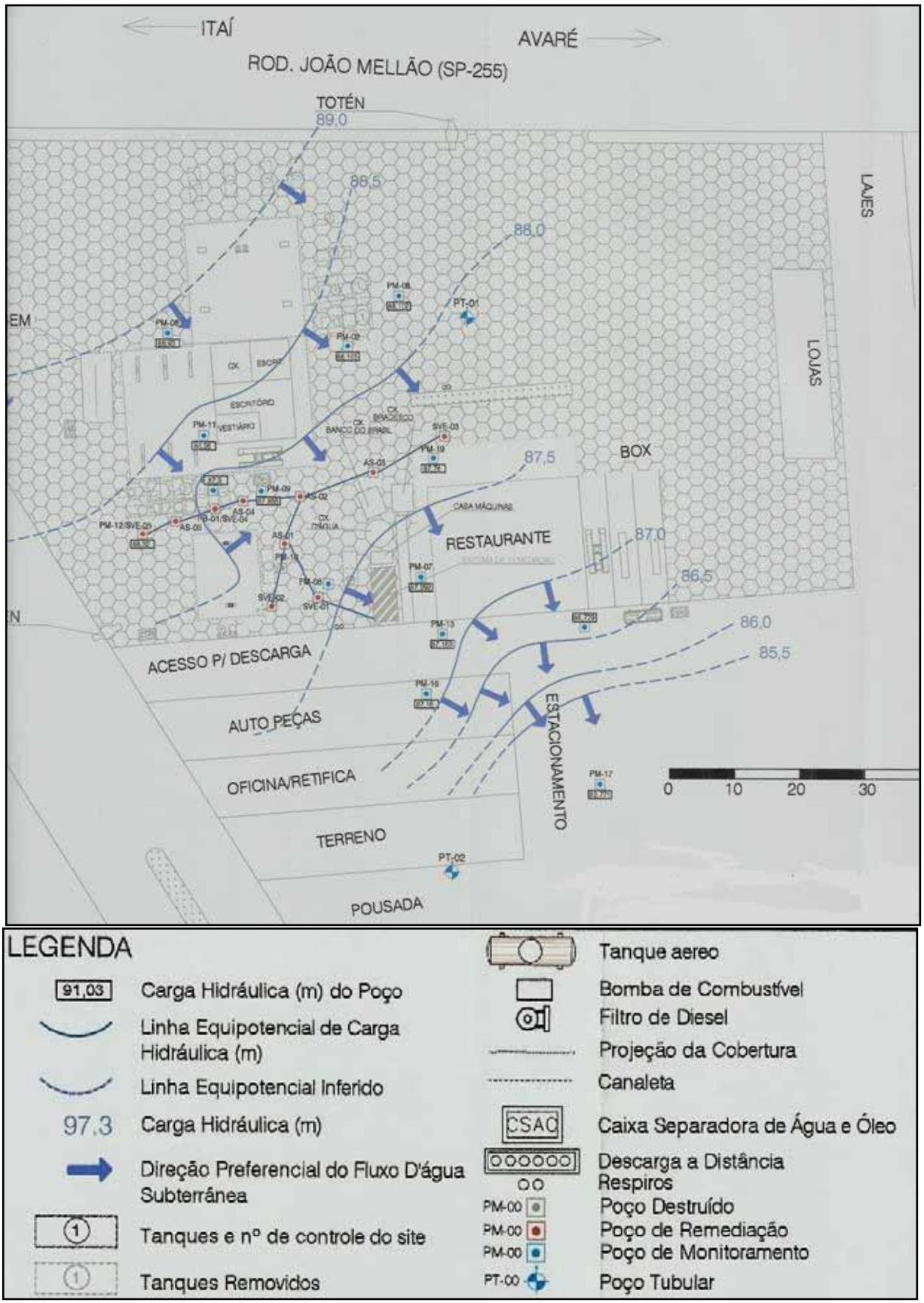


Figura 7: Mapa Potenciométrico
Fonte: Relatório CETESB 2009.

No dia 17 de setembro foi efetuado o monitoramento do sistema de remediação que opera no posto e os dados obtidos estão na tabela 13:

Tabela 13: Medições do sistema de remediação

VOC saída do Compressor Radial (ppm)	0,0	
VOC 1ª. Torre (ppm)	0,0	
VOC 2ª. Torre (ppm)	0,0	
VOC 3ª. Torre (ppm)	0,0	
Hidrômetro (m³)	257,75	
Kilowatimetro (watts)	22601	
Horímetro (H)*	822,34	
Pressão na Saída Radial 7,5 HP (pol H_2O)	-	
Equipamento	**Operação**	**Estado**
Compressor de Ar 20 Pés	AutoPump e 02 Air Sparging	Operando
Compressor de Ar 20 Pés	03 Air Sparging	Operando
Bomba de Transferência 1 HP		Operando
Caixa Separadora		Operando
Volume de água bombeada no período (L):		2.334,20
Volume de água bombeada acumulada (L):		5.749,80
Tempo de operação:		06 meses
Volume de produto recuperado no período:		-
Volume de produto recuperado acumulado:		-
Tipo de produto recuperado:		-
Coloração do produto:		-
Volume de produto destinado:		-

Fonte: Relatório CETESB 2009.

Nos dias 16, 17 e 24 de setembro foi realizada, simultaneamente a campanha de amostragem da água subterrânea e dos efluentes do sistema de remediação, o monitoramento dos parâmetros físico-químicos: Total de Sólidos Dissolvidos (ppm), pH, temperatura (°C), Condutividade Elétrica (µg/cm^2), Oxigênio Dissolvido (mg/L) e Eh (mV).

Entre os dias 16, 17 e 24 de setembro de 2009, foram coletadas 17 amostras de água subterrânea provenientes dos poços de monitoramento PM-02. PM-05, PM-06, PM-07, PM-08, PM-09, PM-11, PM-13, PM-14, PM-16, PM-17, PM-18, PM-19, do

poço de bombeamento PB-01/SVE-04, do poço de remediação PM-12/SVE-05, do poço tubular PT-01 localizado na área do posto e do poço tubular PT-02 que está localizado no entorno do empreendimento.

A amostragem de água subterrânea foi realizada de acordo com os procedimentos preconizados no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB. As amostras de água subterrânea foram analisadas para os parâmetros BTEX.

Todo o procedimento de coleta foi realizado utilizando-se luvas de procedimento descartáveis. As amostras foram devidamente identificadas com etiquetas constando informações como nome e número do projeto, identificação da amostra, técnico responsável, data e hora de coleta e análise desejada.

Todas as amostras foram envasadas em frascaria laboratorial adequada às análises requeridas, e acondicionadas em ambiente com temperatura de 4±2°C sendo enviadas ao Laboratório A.

Com intuito de promover a retirada de água possivelmente estagnada nos poços amostrados, foi efetuada a purga prévio de três vezes o volume de água dos poços de monitoramento, assim como foi promovida a retirada de volume de água dos poços tubulares amostrados.

5.1.4.5 Período 05 – janeiro a fevereiro de 2010

Os serviços de campo foram realizados entre os períodos janeiro e fevereiro de 2010 (CETESB, 2010) e compreenderam:

- Monitoramento de Nível D’água (NA), Fase Livre (FL), Compostos Orgânicas Voláteis (VOC);
- Monitoramento dos parâmetros físico-químicos dos poços da érea e entorno;
- Monitoramento analítico dos poços de monitoramento, de bombeamento e tubulares existentes na área;
- Desmobilização do sistema de remediação instalado;

A partir das cotas topográficas e dos valores de nível d'água obtidos no monitoramento do dia 22 de fevereiro de 2010 nos poços de monitoramento existentes foram calculadas as cargas hidráulicas e elaborado o mapa potenciométrico, em que é indicado o sentido e direção do fluxo das águas subterrâneas na área (Tabela 14).

O sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas se apresenta e Oeste (O) para Leste (L) e a direção é nordeste (NE), confirmando o apresentado nos estudos anteriores.

Tabela14: Medições de Nível D'Água, Fase Livre e Cálculo das Cargas hidráulicas (m)

Poço	Cota Relativa*	Prof. NA	Esp. de FL	Carga Hidráulica
PM-02	99,94	10,57	0,0	89,37
PM-05	-	10,77	0,0	-
PM-06	99,96	9,74	0,0	90,22
PM-07	99,53	11,71	0,0	87,82
PM-08	99,79	10,43	0,0	89,36
PM-09	99,57	10,57	0,0	89,00
PM-11	99,66	10,27	0,0	89,39
PM-12/SVE-05	99,32	9,82	0,0	89,50
PM-13	96,57	8,42	0,0	88,15
PM-14	99,60	10,47	0,0	89,13
PM-16	95,96	7,91	0,0	88,05
PM-17	93,65	8,985	0,0	84,665
PM-18	96,19	8,44	0,0	87,75
PM-19	99,80	10,90	0,0	88,90

Fonte: Relatório CETESB 2010

Durante o monitoramento realizado no dia 22 de fevereiro, foi observada a presença de iridescência no PM-14. A **iridescência** é um fenômeno óptico que faz certos tipos de superfícies refletirem as cores do arco íris e que ocorre quando a presença de óleo na água. (Figura 08).

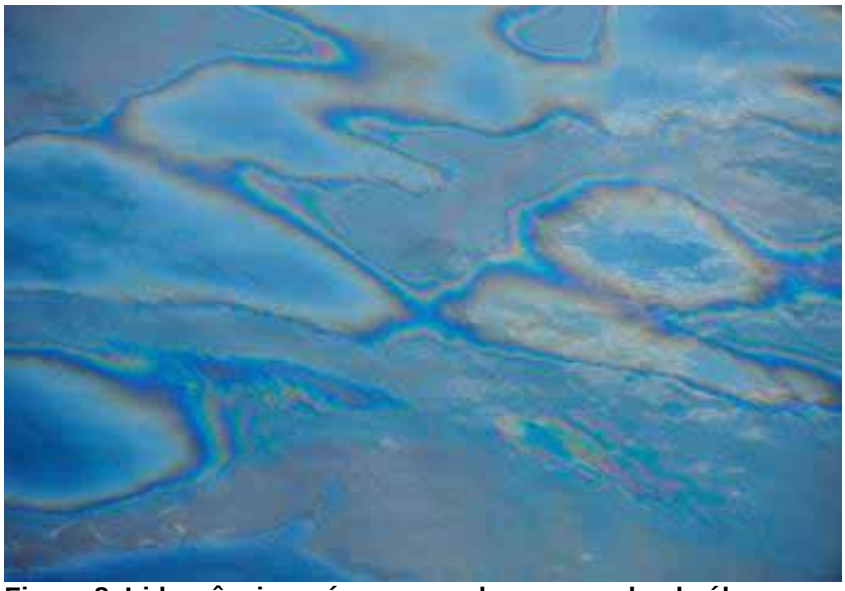


Figura 8: Iridescência na água causada por mancha de óleo.
Fonte: http://portalmaritimo.com/tag/vazamento/

Simultaneamente a campanha de amostragem da água subterrânea foi realizado no dia 25 de fevereiro o monitoramento dos parâmetros fisico-químicos: pH, Temperatura (°C), Condutividade Elétrica (pS/cm), Oxigênio Dissolvido (mg/L) e Eh (mV).

Visando avaliar a qualidade do aquífero local com a interrupção da operação do sistema de remediação ambiental instalado na área do Posto 1, no dia 25 de fevereiro foram coletadas 17 amostras de água subterrânea, provenientes dos poços: PM-02, PM-05, PM-06, PM-07, PM-08, PM-09, PM-11, PM-12/SVE-05, PM-13, PM-14, PM-16, PM-17, PM-18, PM-19, PB-01/SVE-04, PT-01 e P1-02, para análise dos parâmetros BTEX e PAH.

A coleta das amostras de água subterrânea foi realizada com amostradores descartáveis do tipo *Bailer* , seguindo os procedimentos preconizados no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB. Com intuito de promover a retirada de água possivelmente estagnada nos poços amostrados, foi efetuado o purgeamento previa de três vezes o volume de água dos poços, assim como foi efetuada a retirada de volume de água dos poços tubulares amostrados. Todo o procedimento de coleta foi realizado utilizando-se luvas descartáveis por parte dos técnicos envolvidos.

O sistema de remediação implantado pela Empresa A operou de 03 de abril de 2009 ate 26 de janeiro de 2010, simultaneamente com as técnicas de DPE (*Dual Phase Extraction*). SVE (*Soil Vapor Extraction*) e *Air Sparging* na área impactada por hidrocarbonetos no posto.

No dia 22 de dezembro de 2009 foi paralisado o bombeamento de água a fim de avaliar o comportamento das técnicas de SVE e AS que operavam simultaneamente na área e visando o alcance das metas de remediação calculadas pela Empresa A. Contudo, para a reavaliação do projeto, no dia 26 de janeiro de 2010 o sistema de remediação ambiental foi paralisado por completo.

Nos dias 11 a 13 de janeiro e 22 a 25 de fevereiro de 2010 foram realizadas visitas ao local para monitoramento de NA, FL e VOC, monitoramento analítico dos poços e desmobilização do sistema de remediação instalado na área e em operação desde 03 de abril de 2009 e desligado em 26 de janeiro de 2010.

Entre os dias 22 e 25 de fevereiro de 2010 foi efetuada a desmobilização do container instalado na área do posto e elaborada a completa retirada de todos os equipamentos de remediação do empreendimento.

5.2 POSTO 2 – Tanque Aéreo

O Posto 2 encontra-se em plena atividade, funcionando 24 horas por dia. Situado na, Rodovia Itaí-Itapeva, km 12, na Zona Rural do município de Itaí, é considerado Posto de Abastecimento da frota de veículos do empreendimento onde está implantado. Sua principal atividade é a fabricação de álcool, entretanto, na área do empreendimento também funcionam as seguintes atividades:

a) Troca de óleo com presença- de duas caixas separadoras de água e óleo (SAO). O óleo usado é armazenado em bombonas com capacidade de 200 litros. A destinação é realizada através da empresa recomendada.

b) Abastecimento de veículos da própria frota (Diesel).

c) Área de lavagem de veículos, temporariamente desativada para reforma com média de 10 veículos (tratores e colhedeiras)/dia;

d) Borracharia e funilaria

Entre os anos de 2008 e 2009 houve a substituição dos tanques de armazenamento subterrâneos de diesel, dos quais um deles apresentou vazamento, pelos tanques de armazenamento aéreos presentes hoje no local. (Figura 09).

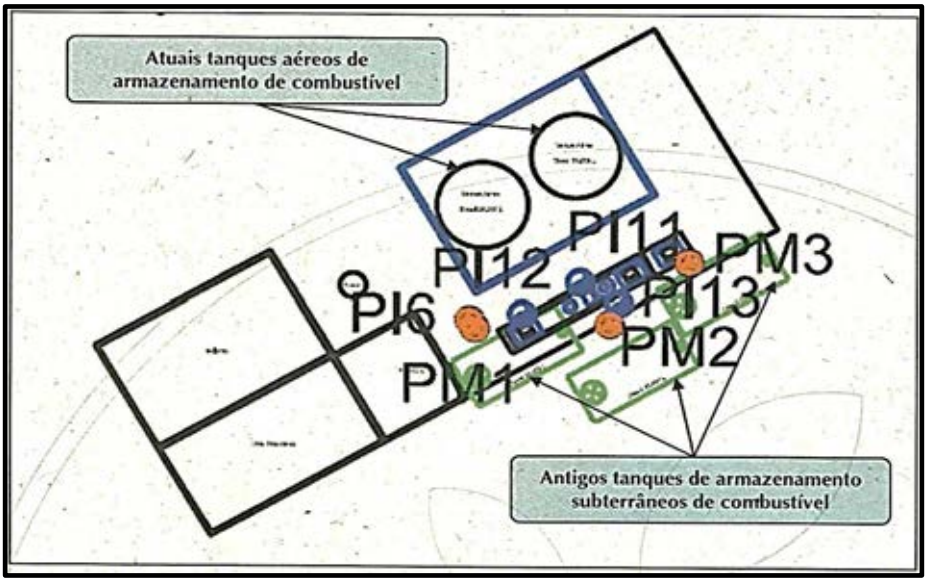


Figura 9:Visualização dos antigos e atuais tanques de armazenamento de combustível.
Fonte: Relatório CETESB 2011.

Ainda, de acordo com o funcionário responsável pelo empreendimento, existem no local 06 poços de monitoramento, os quais foram construídos durante o estudo de Investigação Detalhada. A movimentação média mensal de combustíveis é de 60.000 litros de diesel e o método de detecção de vazamento é visual em função da presença de tanques aéreos. O sistema de armazenamento aéreo de combustível (SAAC) do Posto 2 é constituído conforme a tabela 15.

Tabela15: Sistema de armazenamento aéreo de combustível (SAAC)

Tanque	Tipo	Combustível	Volume (L)	Ano de instalação	Vazamento	Em operação?
01	Bipartido	Diesel	26.000	2008/09	Não	Sim
02	Bipartido	Diesel	26.000	2008/09	Não	Sim

Fonte: Relatório CETESB 2011.

Além dos tanques de armazenamento de diesel, existe no local uma bomba simples para abastecimento e um filtro de diesel. Na área do empreendimento ainda podem ser encontrados 04 tanques aéreos, os quais são utilizados como reservatórios de álcool, armazenando um total de 71 milhões de litros/ano do combustível que é destinado à venda.

5.2.1 Caracterização da área

O Posto 2 está localizado no município de Itaí, no vale do Paranapanema, sudoeste do estado de São Paulo. Seu relevo tem aspecto montanhoso no centro de Oeste a Leste e de pequena ondulação de Norte a Sul. Sua maior atitude em relação ao nível do mar é de 718 metros, localizada na zona rural próximo ao município de Taquarituba. Seu clima é subtropical, pois o município é cortado pelo Trópico de Capricórnio e possui uma área de 1.112,267 km². Sua localização pode melhor ser observada no mapa da figura 10.

Figura 10: Localização do município de Itaí
Fonte: http://www.cidades.ibge.gov.br

Em termos geológicos, a obra localiza-se em região da Formação Serra geral, do Grupo São Bento, com origem no período Mesozoico. Essa formação caracteriza-se pela ocorrência de rochas vulcânicas toleíticas em derrames basálticos de coloração cinza negra, textura analítica, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis votrofiricos não individualizados. (CETESB, 2011).

O solo local apresenta-se superficialmente até 1,10m, como aterro de argila pouco siltosa marrom escuro; na seqüência, como argila pouco arenosa marrom avermelhada, até 4,80 m. Subjacente a esta cota, apresenta-se como argila plástica marrom clara com veios cinza e amarelos, até 6,30 m, onde as sondagens foram finalizadas.

O entorno do posto de abastecimento, num raio de 100m, é caracterizado predominantemente por área industrial, tendo como coordenadas geográficas 22 K 7.399.792 N e 700.445 E, em UTM, com elevação aproximada de 620m, utilizando-se como referência o Datum Horizontal SAD 69. (CETESB, 2011).

O local é servido por rede própria de abastecimento por meio de captação de água subterrânea, sendo o posto classificado como Classe 3, devido as atividades industriais de risco no seu entorno.

Com o objetivo de delimitar as eventuais plumas de contaminação, as prospecções ambientais foram locadas sempre observando eventuais interferências em tubulações de rede elétrica, de combustível, água e equipamentos subterrâneos.

Foram executadas quatro sondagens de passivos ambientais, os quais encontra-se a descrição litológica, posição do nível d'água, profundidade de camada e identificação das amostras coletadas. (CETESB, 2011).

Quanto à hidrogeologia, a formação caracteriza-se por aquífero com percolação predominante através de interfacies e de canalículos. Esse fato é decorrência do baixo coeficiente de permeabilidade, o qual é da ordem de 10^{-5} a 10^{-7} cm/seg.

O nível d'água foi detectado na profundidade em torno de 5,40 m, e de acordo com as linhas potenciométricas, o fluxo do lençol freático está predominantemente para a direção Nordeste. (CETESB, 2011).

5.2.2 Histórico

Em novembro de 2009 a empresa B. iniciou o estudo de Investigação Confirmatória na área do Posto 2 durante o qual foram realizadas 03 sondagens, e instalados 03 poços de monitoramento (PM1, PM2 e PM3). Na ocasião foi detectada a presença de fase livre na área investigada, a qual fora informada ao órgão ambiental competente e ao proprietário do empreendimento, tornando-se necessária a realização de uma Investigação Detalhada no local. (CETESB, 2010).

De acordo com as informações disponibilizadas para o empreendimento em questão, consta no histórico das investigações ambientais deste, uma investigação confirmatória realizada pela Consultoria X com a execução de três sondagens ambientais e instalação de três poços de monitoramento, finalizados no período de Novembro de 2009. Concluiu-se a necessidade da realização da Investigação Detalhada e Plana de Intervenção, devido à presença de fase livre na água subterrânea. (CETESB, 2011).

5.2.3 Métodos da Análise Investigativa

Foram executadas, pela empresa B, quatro sondagens de passivos ambientais, de SPA-04 a SPA-07, que podem ser visualizadas nas tabelas 16 a 19 onde constam os perfis de sondagens com a descrição litológica, posição do nível d'água, profundidade de camadas e identificação das amostras coletadas. (CETESB, 2010).

Tabela16: Perfil de sondagem ambiental SPA-04

PROFUNDIDADE DA CAMADA	NÍVEL D'ÁGUA	DIÂMETRO DO FURO 2 1/2"	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DOS MATERIAIS	AMOSTRAS	MÉTODO DE COLETA	TEMP. (ºC)	MEDIÇÃO DE GASES (PPM)	OBS.
1,10				ATERRO DE ARGILA POUCO SILTOSA MARROM ESCURO (COM RACHÃO)	01	TL	24	0	
				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM AVERMELHADA	02	TL	24	0	
					03	TL	24	0	
					04	TL	25	100	
4,80					05	TL	25	160	AMOSTRA COLETADA
6,30				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO		TL	25	80	
8,00				ARGILA PLÁSTICA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO					

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Tabela 17: Perfil de sondagem ambiental SPA-05

PROFUNDIDADE DA CAMADA	NÍVEL D'ÁGUA	DIÂMETRO DO FURO 2 1/2"	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DOS MATERIAIS	AMOSTRAS	MÉTODO DE COLETA	TEMP. (ºC)	MEDIÇÃO DE GASES (PPM)	OBS.
0,50				ATERRO DE ARGILA POUCO SILTOSA MARROM ESCURO (COM RACHÃO)	01	TL	20	0	
				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM AVERMELHADA	02	TL	20	0	
					03	TL	20	0	
					04	TL	20	100	
4,70					05	TL	20	640	AMOSTRA COLETADA
6,15				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO		TL	20	540	
8,00				ARGILA PLÁSTICA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO					

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Tabela18: Perfil de sondagem ambiental SPA-06

PROFUNDIDADE DA CAMADA	NÍVEL D'ÁGUA	DIÂMETRO DO FURO 2 1/2"	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DOS MATERIAIS	AMOSTRAS	MÉTODO DE COLETA	TEMP. (ºC)	MEDIÇÃO DE GASES (PPM)	OBS.
0,30				CAMADA DE RACHÃO					
				ATERRO DE ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM CLARO	01	TL	20	0	
					02	TL	20	0	
2,60					03	TL	20	0	
				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM AVERMELHADO	04	TL	20	0	
					05	TL	20	0	
5,30						TL	20	100	AMOSTRA COLETADA
				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO					
6,15									
				ARGILA PLÁSTICA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO					
8,00									

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Tabela19: Perfil de sondagem ambiental SPA-07

PROFUNDIDADE DA CAMADA	NÍVEL D'ÁGUA	DIÂMETRO DO FURO 2 1/2"	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DOS MATERIAIS	AMOSTRAS	MÉTODO DE COLETA	TEMP. (ºC)	MEDIÇÃO DE GASES (PPM)	OBS.
0,50				CAMADA DE RACHÃO					
				ATERRO DE ARGILA POUCO SILTOSA MARROM AVERMELHADO	01	TL	21	0	
1,40					02	TL	21	0	
					03	TL	21	0	
				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM AVERMELHADO	04	TL	21	0	
					05	TL	21	20	
5,40						TL	21	60	AMOSTRA COLETADA
				ARGILA POUCO SILTOSA POUCO ARENOSA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO					
6,50									
				ARGILA PLÁSTICA MARROM CLARO COM VEIOS CINZA E AMARELO					
8,00									

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Para amostragem de solo foi utilizado equipamento padrão para sondagens geotécnicas, dotado de tripé, tubos de revestimento metálico de 63 mm de diâmetro e composição de hastes de aço com 25 mm de diâmetro. (CETESB, 2010).

Para coleta de amostras, foi utilizado amostrador específico que possibilita a colocação de tubo "*liner*" interno com 44 mm de diâmetro e comprimento de 550 mm. Esse comprimento foi determinado experimentalmente para que houvesse

amostragem total da extensão de 1,00 m quando da cravação do amostrador, considerando-se que o solo seria compactado no processo e dessa forma a amostragem seria total e não restariam espaços vazios no tubo "*liner*".

Sempre que por alguma característica do subsolo não houve o preenchimento total do tubo, o mesmo foi cortado posteriormente, de modo a restar dentro do mesmo apenas solo, sem presença de vazios. (CETESB, 2010).

Coletada a amostra, a mesma foi fracionada em duas alíquotas, sendo que uma foi utilizada no procedimento de detecção de gases em saco auto-selante e a segunda tampada com tampões herméticos e mantida sob-refrigeração abaixo de 4° C.

Para a realização da medição de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), a alíquota destinada à medição de gases foi transferida para saco plástico auto-selante, destorroada e mantida em repouso por cerca de 10 minutos.

Em seguida, foi efetuada a detecção de gases, utilizando-se um Detector modelo INNOVA SV, fabricado pela TERMO GASTECH, o qual utiliza tecnologia de oxidação catalítica.

Para a amostragem da água, foram instalados mais três poços de monitoramento, além dos três já existentes, com objetivo de delimitar as plumas de contaminação nas fases livre e dissolvida. (CETESB, 2010).

Após a conclusão da sondagem, o furo foi alargado para 100 mm de diâmetro, e aprofundado, utilizando-se processo de retro-lavagem, possibilitando a instalação do poço de monitoramento para coleta de água, o qual foi executado de acordo com as especificações contidas na NBR15495-1 e NBR15495-2.

O trecho filtrante do poço foi localizado de cerca de 2 m abaixo e 1m acima do nível d'água identificado nas sondagens, com objetivo de monitorar eventual fase livre. (CETESB, 2010).

Para coleta de amostras foram utilizados amostradores tipo "*bailer*" de polietileno de alta densidade, produzidos pela ZW Ltda.

Observando procedimentos para evitar-se a contaminação prévia, os *bailer* s foram mantidos em sua embalagem original até o momento da utilização, sendo descartados a seguir. Foi utilizado um *bailer* por amostragem por poço. (CETESB, 2010).

Para a determinação do fluxo subterrâneo, foram desenvolvidos testes de recuperação para determinação do coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (K), através do método de Hvorslev, a partir da equação:

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

Nessa equação K = coeficiente de permeabilidade (cm/s), r = raio do revestimento do poço (tubo geomecânico), R = raio da perfuração, L = comprimento do filtro (m), T_0 = tempo decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial (H).

Através do coeficiente de permeabilidade obtido, a porosidade do solo local e o gradiente hidráulico entre os poços de monitoramento, pode-se determinar a velocidade de fluxo do lençol freático, através da fórmula:

$$V = K.i / Ne$$

Nessa equação, V = velocidade do fluxo (cm/s); K = coeficiente de permeabilidade (cm/s) e Ne = porosidade efetiva do solo. (CETESB, 2010).

Conforme pode ser verificado nos ensaios de campo, os valores do coeficiente de permeabilidade (K), permaneceram com valores entre 5,2 x 10^{-5} cm/s e 9,14 x 10^{-5} cm/s, característicos do subsolo da área sob investigação, sendo considerado um solo de baixa permeabilidade (vide Tabela 20).

Tabela 20: Coeficientes de permeabilidade

PERMEABILIDADE		TIPO DE SOLO	K (cm/s)
Solos Permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	Siltes e Argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Solos Impermeáveis	Muito Baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Cabe ressaltar que não foi executado o ensaio de permeabilidade no poço PM-01 devido à presença de fase livre sobrenadante.

Utilizando-se valores de K, o gradiente hidráulico e a porosidade da argila em 48,8%, foram determinadas as velocidades de escoamento do lençol freático entre os poços de monitoramento PM-05 e PM-07, resultando num valor médio de 1,56m/ano. (CETESB, 2010).

Conforme pode ser visualizado na tabela 21, somente no PM-01 foi detectada a presença de fase livre.

Tabela 21: Espessura de fase livre

POÇO DE MONITORAMENTO	ESPESSURA FASE LIVRE (cm)
PM-01 (EXISTENTE)	16,0
PM-02 (EXISTENTE)	0
PM-03 (EXISTENTE)	0
PM-05 (NOVO)	0
PM-06 (NOVO)	0
PM-07 (NOVO)	0

Fonte: Relatório CETESB 2010..

A planta com a localização dos poços e plumas é apresentada na figura 11

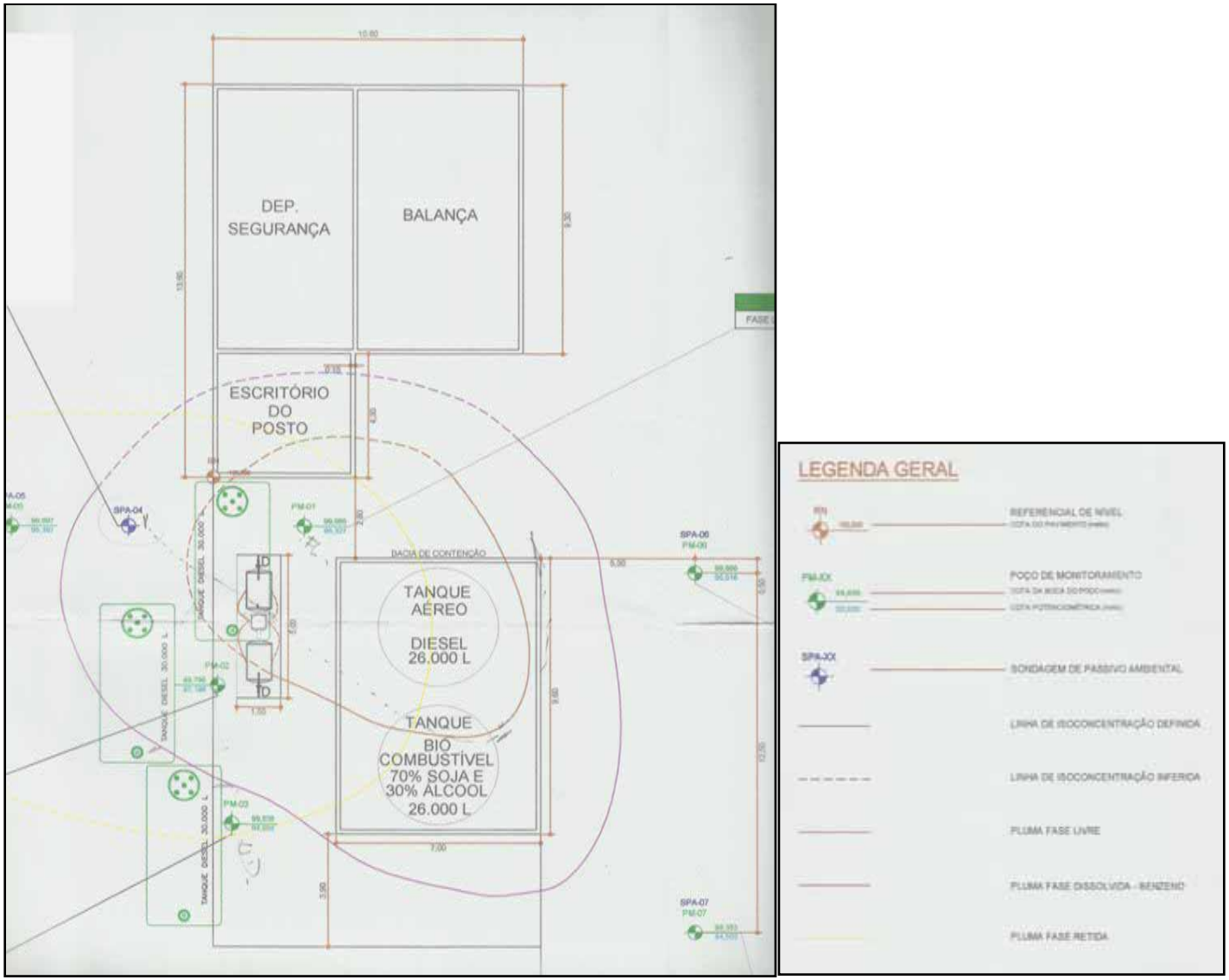


Figura 11: Mapa de Plumas de Contaminação
Fonte: Relatório CETESB 2010.

5.2.4 Métodos de Remediação do Posto 2

O plano de intervenção adotado para o Posto 2., foi composto por 03 medidas:

• Medidas de Remediação;

• Medidas de Controle de Engenharia e,

• Medidas de Controle Institucional.

O processo de remediação ocorre através de um sistema integrado que envolve técnicas de bombeamento, separação de material na fase livre, injeção de ar *(Air Sparging),* sistema de filtragem; associados com biorremediação. (CETESB, 2010).

O Sistema de Remediação foi projetado sob a supervisão do Engenheiro Civil de Segurança do Trabalho da Empresa B, de forma a assegurar boas condições de trabalho para os profissionais envolvidos, além de prevenir quanto ao risco de acidentes. Assim, foram adotadas as seguintes medidas:

• O tratamento ocorreu em local não confinado, dentro de um container de zinco com ventilação, de forma a prevenir intoxicação e risco de incêndio (através da emissão de voláteis);

• O container de zinco foi aterrado, prevenindo o risco de incêndios, curto circuitos e choques;

• A Estação de Tratamento possuía uma chave geral, a qual poderia ser acionada a qualquer momento, desligando o sistema, por completo e,

• O Container foi sinalizado com placas luminosas e de avisos de segurança. (CETESB, 2010).

O contêiner de zinco (Figura 12) teve a função de “abrigar” unidade dos equipamentos de Remediação garantindo o isolamento necessário ao bom funcionamento do sistema, bem como, a segurança dos clientes e funcionários do local.

Figura 12: Container de zinco utilizado pela empresa B
Fonte: Relatório CETESB 2010.

As caixas controladoras de fluxo (figura 13) foram responsáveis pelo controle da quantidade, bem como, da pressão de ar injetada em cada uma das bombas dos respectivos poços de monitoramento. Foram manuseadas e inspecionadas pelo responsável técnico da Empresa B, sendo mantidas trancadas. (CETESB, 2010)

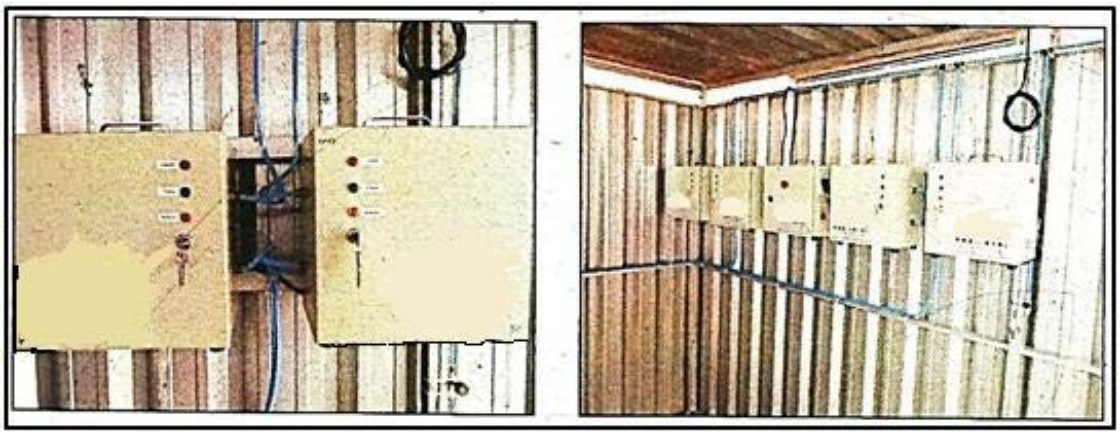


Figura 13: Caixas controladoras de fluxo
Fonte: Relatório CETESB 2010.

A caixa separadora de água e óleo (caixa SAO) (figura 14) utilizada pela Empresa B tem vazão de 800 litros/hora, O material sobrenadante (fase livre) é acumulado na parte superior e escoado para, um tambor, sendo, posteriormente, separado e armazenado pelo operador do sistema para posterior destinação por empresa especializada. Nas visitas técnicas, todos os poços foram inspecionados, para desta forma, verificar um possível surgimento de material sobrenadante nos poços de monitoramento onde não havia sido identificado anteriormente, já que o bombeamento realizado teve a função de deslocar possíveis bolsões de fase livre para a área de interesse.

Figura 14: Caixa separadora de água e óleo
Fonte: Relatório CETESB 2010.

O responsável do sistema deve verificar a existência de possível formação de fase livre em excesso e se a mesma está passando da caixa separadora para o tambor seguinte. Caso esse fato venha a ocorrer, o operador deverá coletar excesso com um recipiente e ajustar os *skimmers* (vertedouros). (CETESB, 2010).

O compressor é o equipamento utilizado para a, injeção de ar nas bombas, cujo fluxo é regulado por caixas controladoras. A bomba pneumática de captação superior (figura 15) é de metal aço inoxidável, com 4,2 cm de diâmetro e 74,5 cm de comprimento, localizando-se abaixo do nível de água (submersa). Essa bomba possui a entrada e a saída na parte superior, podendo ficar mais próxima do nível de água. É muito eficiente para retirada de fase livre, já que esta, por ser menos densa, concentra-se na parte superior do nível d'água.

À medida que a válvula de distribuição direciona ar para a bomba, a válvula situada na parte superior é fechada e a água que está no seu interior é empurrada para fora, ou seja, entra em funcionamento um mecanismo de descarga que força o líquido da câmara, através de uma válvula aberta, a sair do sistema. Este ar é acionado através de um temporizador que, quando desativado, faz com que a válvula de saída da bomba se abra, deixando a água entrar novamente dando início à um novo ciclo de bombeamento.

A bomba pneumática de captação inferior (figura 15) é constituída de metal aço inoxidável, com 4,0 cm de diâmetro e 69,0 cm de comprimento, localizada abaixo do nível de água (submersa). Possui o mesmo princípio da bomba pneumática de captação superior, tendo como diferencial a entrada da água situada na parte inferior da bomba. (CETESB, 2010)

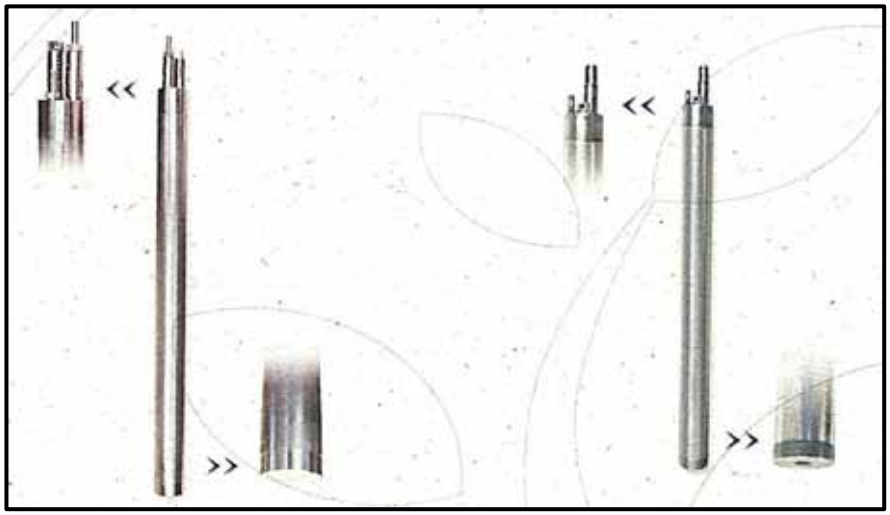


Figura 15: Bombas pneumáticas de captação superior e inferior.
Fonte: Relatório CETESB 2010.

Durante o processo de remediação até este momento foram bombeados os poços de monitoramento P16, PM2 e PM5. Após a completa remoção da fase livre, periodicamente, foram realizadas amostragens nos poços de monitoramento para verificar a eficiência e eficácia do tratamento para a fase dissolvida. (CETESB, 2010).

A central de comando, responsável pelo funcionamento de sistema de remediação, operou através do bombeamento dos poços de monitoramento P16, PM2 e PM5 direcionando o efluente bruto para os 05 estágios de tratamento, conforme esquematizado na Figura 16:

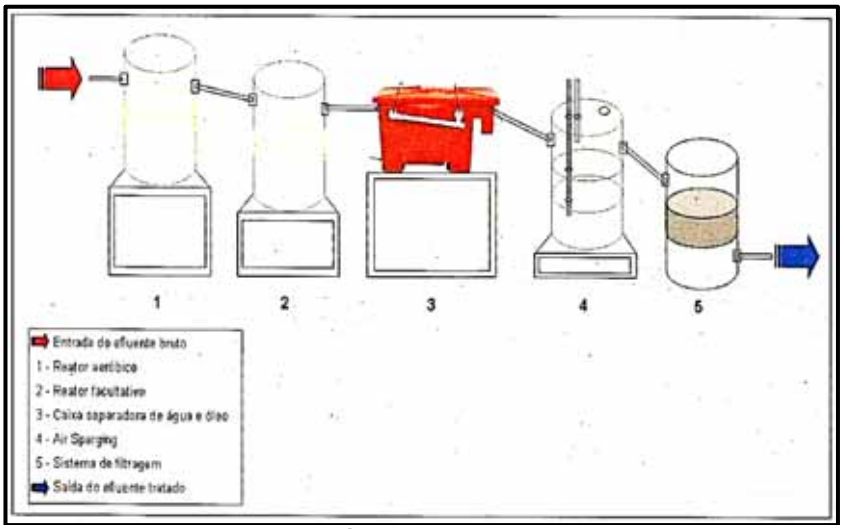


Figura 16: Modelo esquemático do sistema de remediação
Fonte: Relatório CETESB 2010.

No primeiro estágio, ocorre à entrada de efluente bruto (Figura 17), através de tubulações concentradas nos poços em bombeamento.

Nessa etapa, são criadas condições para a formação de colônia de bactérias aeróbicas, formadas a partir da entrada de oxigênio que chega ao sistema através da pressão de ar exercida. (CETESB, 2010).

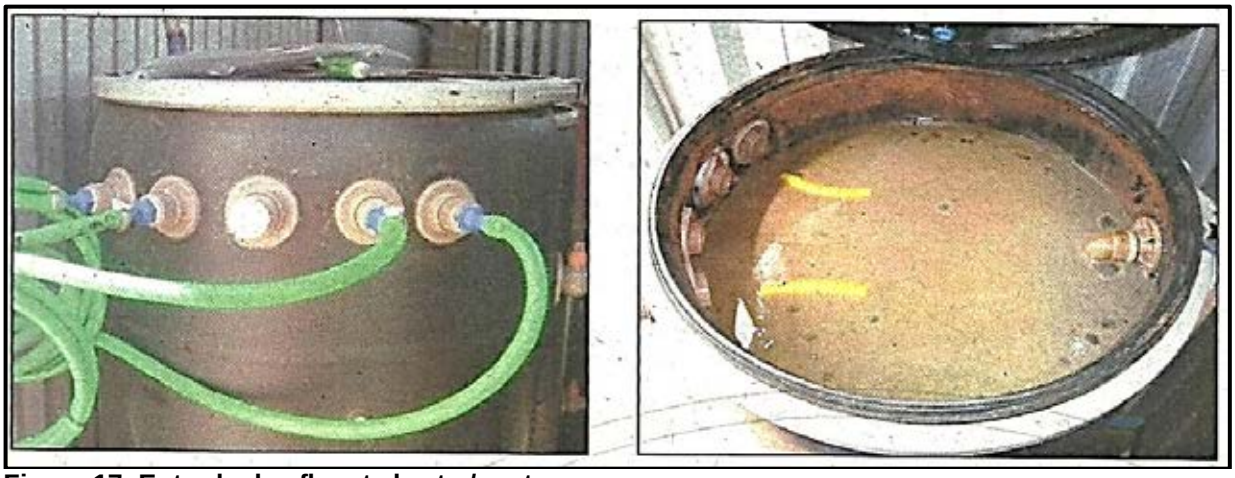


Figura 17: Entrada de efluente bruto / reator
Fonte: Relatório CETESB 2010

O segundo estágio é chamado de reator “facultativo”, pois envolve a junção de condições aeróbias e anaeróbias presentes no sistema.

O próximo estágio acontece na caixa separadora de água e óleo onde os separadores são aplicados na remoção física da fase livre não emulsionada, em efluentes aquosos com baixo conteúdo de sólidos. A separação física da água e fase livre é proporcionada pelas placas oleofílicas coalescentes, estimulando a aglutinação natural das partículas oleosas dispersas no efluente. (CETESB, 2010).

O estágio seguinte é o *Air Sparging*, que é uma tecnologia que introduz ar no sistema para produzir borbulhamento na água (Figura 18). As bolhas de ar são atravessadas verticalmente dentro do tambor, criando uma aeração que removerá os contaminantes por volatilização. Os grupos contaminantes alvo do *Air Sparging* são os combustíveis derivados de petróleo, principalmente os mais voláteis, como o parâmetro Benzeno.

Figura 18: Sistema de Borbulhamento *Air Sparging*
Fonte: Relatório CETESB 2010.

Quando as partículas presentes na água estão em fase dissolvida, recorre-se à adsorção, que consiste comumente no emprego de um sistema de filtragem por carvão ativado, o qual retira substâncias que conferem odor à água e outras substâncias indesejáveis, como os hidrocarbonetos (Figura 19). Nesta etapa periodicamente, foi realizada coleta de água na saída do sistema para demonstrar sua eficiência. (CETESB, 2010).

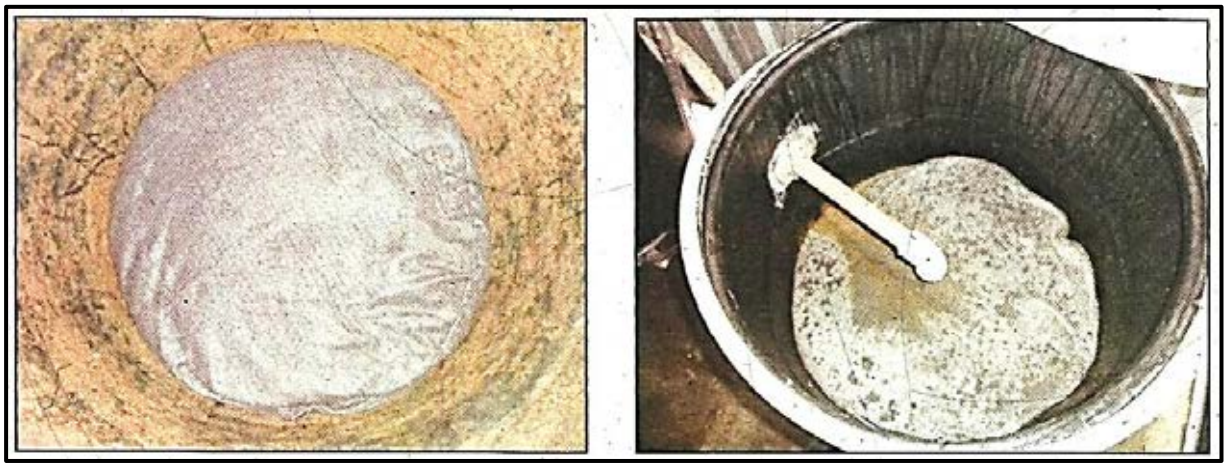


Figura 19: Sistema de filtragem.
Fonte: Relatório CETESB 2010.

Quando a quantidade de oxigênio diminui e nitrato está presente (ou outras formas oxidadas de nitrogênio), alguns microrganismos anaeróbios facultativos utilizam nitrato (NO3-) ao invés de oxigênio como aceptor final de elétrons. (MARIANO, 2007).

Após a montagem e instalação da Estação de Tratamento, um funcionário do Posto 2 foi treinado para operar o sistema. Durante o período da execução do projeto houve, segundo cronograma pré-estabelecido, visitas periódicas de um

técnico da Empresa B para fazer as manutenções e ajustes necessários ao bom funcionamento do sistema e realizar coletas de amostras de água dos poços de monitoramento e saída do Sistema de Remediação, para verificar sua eficácia. (CETESB, 2010).

O tratamento está concentrado na eliminação de fase livre, através de constante bombeamento dos poços de monitoramento P16, PM2 e PM5. Na ocasião das visitas, o técnico e o operador realizaram medições do nível de água de todos os poços de monitoramento localizados na área para verificar o comportamento do lençol freático, bem como, medições de parâmetros físico químicos como pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura em amostras coletadas na entrada e saída da Estação de Tratamento. Em períodos pré-determinados, de acordo com a evolução do tratamento, foram realizadas campanhas de coleta de água, para desta forma, melhor direcionar o processo de remediação na área do Posto 2. (CETESB, 2010).

As visitas técnicas foram realizadas no prazo aproximado de 45 dias, em função do andamento do processo. Como a estação de tratamento é auto funcional, seu funcionamento não foi interrompido pela eventual não realização de uma visita técnica programada.

Os dados levantados na ocasião dessas visitas foram registrados nos relatórios técnicos, sendo transcritos em relatórios periódicos de monitoramento da eficiência e eficácia e enviados à CETESB, em cumprimento à norma de Procedimentos para gerenciamento de Áreas Contaminadas. (CETESB, 2010).

As medidas de controle de engenharia têm como objetivo a prevenção da exposição dos profissionais envolvidos na operação do sistema, através do desenvolvimento de métodos alternativos e o uso da tecnologia.

Para o Sistema de Remediação implantado no Posto 2 foram adotadas medidas de controle de engenharia quanto à segurança do trabalho, à durabilidade dos equipamentos e à segurança ambiental. (CETESB, 2010).

A durabilidade dos equipamentos utilizados no sistema está diretamente relacionada aos cuidados que os mesmos devem receber como limpeza, verificação e manutenção. Para tanto o operador do sistema recebeu um treinamento sobre os cuidados que deverá ter com os equipamentos, orientado sempre pelo responsável

técnico, na ocasião das visitas periódicas, realizando as seguintes atividades de inspeção:

a) Verificação do óleo do compressor;
b) Verificação de possíveis entupimentos das bombas;
c) Verificação da qualidade das mangueiras;
d) Verificação das caixas controladoras de fluxo;
e) Verificação dos estágios do Sistema de Remediação e,
f) Limpeza e manutenção geral dos equipamentos

Medidas simples como essas evitam trocas constantes de equipamentos, evitando que o sistema fique paralisado sem necessidade.

A Empresa B possui um Sistema de Gestão Ambiental certificado pela ISO 14001/2004 e, como tal, possui o controle operacional de todos seus aspectos ambientais. Sendo assim, no Sistema de Remediação são adotadas medidas quanto ao gerenciamento de resíduos, preparação e resposta à emergências. No quesito gerenciamento de resíduos, o papel da Empresa B é o de orientar o cliente quanto ao armazenamento e destinação correta dos mesmos. (CETESB, 2010).

O armazenamento desses resíduos poderá ocorrer da seguinte forma (Tabela 22):

Tabela 22: Armazenamento dos resíduos.

RESÍDUOS	LOCAL
Material recuperado (fase livre sobrenadante de hidrocarbonetos) extraído do lençol freático.	Bombonas com identificação **(Empresa B)** armazenadas em local impermeabilizado, ao abrigo das condições do tempo com barreira de contenção (bandejas ou bacias).
Mangueiras, conduítes, manta geotêxtil, unidades filtrantes.	Tambores ou *big bags* armazenados em local impermeabilizado, ao abrigo das condições do tempo.
Óleo do compressor.	Bombonas ou garrafas plásticas armazenadas em local impermeabilizado, ao abrigo das condições do tempo, com barreira de contenção.

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Uma vez que os resíduos gerados são classificados como CLASSE 1, estes necessitam de uma destinação especial, visto que sua disposição inadequada pode

contaminar o meio ambiente e trazer riscos para a saúde humana, colocando a perder todo o serviço de descontam inação do local. os resíduos Classe 1 podem ser destinados através de uma empresa especializada m coleta e transporte, para aterros industriais ou tratamento. (CETESB, 2010).

As medidas de controle institucional compõem a delimitação da área onde foi detectada a contaminação, restringindo seu uso.

A Decisão de Diretoria exige que a zona de restrição de uso de água subterrânea seja definida com base na SQI que gerou a maior pluma de contaminação em fase dissolvida, entretanto, no caso da área do Posto 2 como a única fonte de contaminação detectada foi a presença de fase livre, a delimitação da zona de restrição de uso foi baseada no limite da pluma de contaminação da fase livre. (CETESB, 2010).

Segundo a Decisão de Diretoria n°263/2009/P, de 20 de outubro de 2009, quando a distância entre o *hot spot* e o limite da área onde a CMA — POE ou PLA foi ultrapassada for menor que 100 metros, a área de restrição deverá ser expandida em função da maior distância do intervalo de distâncias, no qual a concentração da SQI no *hot spot,* indicada no quadro de intervenção, é menor que a concentração da CMA — HS ou até encontrar um corpo d'água superficial, se este estiver dentro da referida distância.

Na figura 20 é possível observar a zona de restrição de uso (ZRU) definida para o local do Posto 2, a qual abrange toda área da pluma de contaminação de fase livre, bem como, a área do empreendimento.

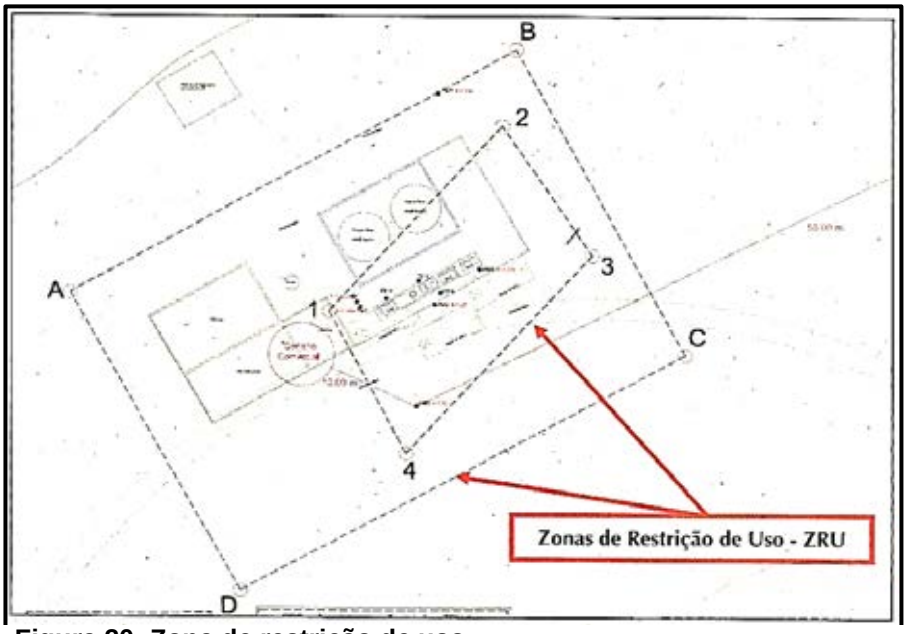


Figura 20: Zona de restrição de uso.
Fonte: Relatório CETESB 2010.

A ZRU 1 está delimitada pelos vértices 1, 2, 3 e 4 estando ela locada dentre as coordenadas UTM 7.399.780,523 (N) e 700.433,832 (E) no vértice 1; 7.399.796,746 (N)e 700.448,428 (E) no vértice 2; 7.399.785,390 (N) e 700.456,043 (E) no vértice 3 e 7.399.7680Q5 (N) e 700.440,358 (E) no vértice 4.

A ZRU 2 está delimitada pelos vértices A, B, C e D estando ela locada dentre as coordenadas •UTM 7.399.782,083 (N) e 700411,990 (E) no vértice A; 7.399.803,476 (N) e 7Oc.449,61 1(E) no vértice B; 7.399.776,649 (N)e 700.463.889 (E) no vértice C e 7.399.755,935 (N) e 700.426,381 (E) no vértice D.

A meta inicial do Sistema de Remediação da Empresa B foi remover a fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1 (0,8 cm), PM2 (9,0 cm),PM3 (1,2 cm) e PM5 (51,9 cm) em um prazo estimado de 06 meses, contados a partir da instalação do sistema. Para esta, a meta estabelecida foi a sua completa remoção.

Assim, depois de atingida a meta de remediação estabelecida para o local, foi realizada uma campanha de amostragem de água subterrânea a fim de verificar a existência de uma possível fase dissolvida remanescente. Nesse caso, foram estabelecidas novas metas de remediação baseadas nos valores de CMA's estabelecidas através da Decisão de Diretoria n° 263-2009-P (CETESB, 2009), a qual é obtida através das distâncias entre os *Hot Spots* para cada parâmetro acima o valor de Intervenção da CETESB (2006) e os receptores comercial e residencial mais próximos.

No caso do Posto 2., o *Hot Spot* foi determinado baseado na presença de fase livre, ou seja, o poço de monitoramento PM5, e em função de não haver nenhum outro empreendimento ou residência no entorno do local, cuja distância seja' menor que 1 00 metros (limite máximo para o qual os Valores CMA's foram estabelecidos), foi determinado o escritório como, receptor comercial e a portaria/RH como receptor residencial, sendo assim foram estabelecidas as distâncias de 10,0 metros e de 55,0 metros para os receptores comercial e residencial, respectivamente.

A Empresa B teve a responsabilidade de recuperar a área degradada eliminando a fase livre e diminuindo uma possível concentração de fase dissolvida remanescente, até que se atinjam as metas de remediação estabelecidas. Assim, foi elaborado um cronograma para um período de 24 meses sendo a meta principal a remoção total da fase livre num período de 06 meses, uma vez que a concentração dos contaminantes pode ser variável em função do tipo e período de bombeamento e das características hidrogeológicas do local.

6 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos das análises investigativas referentes aos dois postos analisados.

6.1 POSTO 1

6.1.1 Resultados da Análise Investigativa

São apresentados a seguir os resultados de Investigação Detalhada e Análise de Risco RBCA *Tier 2* realizada pela Empresa A, na área do Posto 1 localizado em Avaré/SP.

As concentrações de BTEX e PAH permanecem abaixo dos valores de SSTL calculados pela análise de risco para todas as vias e receptores considerados no Modelo de Exposição Conceitual do Local –MECL.

O nível de água médio é de 12,20 m, a direção preferencial do fluxo da água subterrânea se dá para Leste/Nordeste (E/NE) e a velocidade de fluxo atinge, aproximadamente, 41,0 m/ano.

Após instalação e purga de todos os poços preexistentes, constatou-se a presença de produto em fase livre no poço PM-04, com 0,36 m de espessura. Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea indicam a presença de pluma de fase dissolvida de BTEX, abrangendo a área de abastecimento, a qual não se encontra delimitada atualmente, extrapolando os limites do empreendimento.

As concentrações de Benzeno, detectadas nos poços PM-05, PM-07 e PM-10, ultrapassaram os valores de SSTL calculados para as vias de ingestão e inalação de vapores orgânicos provenientes das águas subterrâneas em ambientes fechados por receptores comerciais considerados *on site*, e, os valores de NABR estabelecidos para o contato dermal com água subterrânea contaminada por receptores comerciais. Já as concentrações de Tolueno, detectadas nas amostras provenientes dos poços PM-05 e PM-09 ultrapassaram o valor de SSTL referente a via de ingestão de águas subterrâneas contaminadas por receptores comerciais considerados *on site*. As demais concentrações de BTEX e PAH permanecem abaixo dos SSTL calculados pela análise de risco para quaisquer que sejam as vias e os receptores considerados no MECL.

Os resultados obtidos na análise de risco RBCA *Tier 2* indicam que a água subterrânea de alguns dos pontos avaliados representa risco para as vias de

ingestão e inalação de vapores orgânicos em ambientes fechados por receptores comerciais considerados *on site*. No entanto, estas vias de exposição foram consideradas de modo hipotético, não sendo aplicável ao local, visto que não existem ambientes fechados nas proximidades dos poços PM-05, PM-07 e PM-09, e, uma vez que as concentrações dos CQI no ponto de exposição (poços de produção) estão abaixo dos valores de referência adotados (SSTL).

Para os demais caminhos de exposição e receptores considerados, nenhum outro risco foi apontado.

A qualidade da água do aquífero local encontra-se inadequada para eventual ingestão (cenário hipotético), uma vez que a concentração de Benzeno ultrapassa o valor de referência adotado.

Em função dos resultados obtidos, a Empresa A recomenda:

- Delimitação total da pluma de fase dissolvida existente no empreendimento;
- Apresentação de um Plano de intervenção para o local, contemplando estudo para a implementação de um sistema de remediação para as águas subterrâneas que encontram-se impactadas por fase livre e fase dissolvida.
- Não permitir a utilização de águas subterrâneas para consumo humano no local, principalmente ingestão. Caso haja interesse na sua utilização, proceder a sua análise antes do consumo incluindo os parâmetros da portaria 518.
- Preventivamente, o uso de EPI's para os trabalhadores de eventuais obras, uma vez que a via de exposição contato dermal com a água subterrânea por estes receptores é relevante (nível d'água médio de 1,16 m).

Caso haja mudança no *lay out* do empreendimento, bem como nos cenários avaliados e após remediação ambiental do local, através da Análise de Risco *Tier 2*, nova avaliação deverá ser realizada.

6.1.2 Resultado da Remediação

A seguir, apresentam-se os resultados do monitoramento do sistema de remediação ambiental implantado pela Empresa A, onde se percebe os dados de evolução da remediação na área através do monitoramento dos parâmetros do sistema de remediação da água subterrânea e do solo.

6.1.2.1 Período 01 – abril de 2009

Foi realizado o monitoramento de Nível D´água, Fase Livre e VOC's e os resultados estão apresentados na tabela 23. (CETESB, 2009).

Tabela 23: Medições do Sistema de Remediação

Poços	FL (m)	NA (m)	Espessura de Fase Livre (m)	VOC (ppm)
AS-01	Ausente	11,45	0,00	0
AS-02	Ausente	11,47	0,00	0
AS-03	-	-	-	-
AS-04	-	-	-	-
AS-05	Ausente	10,98	0,00	0
PB-01/SVE-04	11,36	11,37	0,01	820
PM-02	Ausente	11,69	0,00	0
PM-05	-	-	-	-
PM-06	Ausente	10,86	0,00	0
PM-07	Ausente	11,63	0,00	0
PM-08	Ausente	11,61	0,00	0
PM-09	Ausente	11,67	0,00	0
PM-11	Ausente	11,3	0,00	2100
PM-12/SVE-05	-	-	-	-
PM-13	Ausente	9,39	0,00	0
PM-14	Ausente	11,47	0,00	580
PM-16	Ausente	9,27	0,00	0
PM-17	Ausente	9,9	0,00	0
PM-18	Ausente	9,42	0,00	0
PM-19	Ausente	11,79	0,00	0
SVE-02	Seco	Seco	-	0
SVE-03	Seco	Seco	-	0

- = Não mensurado.

Fonte: CETESB 2009

A tabela 24 representa os resultados das medições obtidas com equipamentos instalados no Posto 1.

Tabela 24: Medições do sistema de remediação

VOC saída do Compressor Radial (ppm)	480	
VOC 1ª. Torre	220,0	
VOC 2ª. Torre	80,0	
VOC 3ª. Torre	0,0	
Hidrômetro (m³)	252	
Kilowatímetro (watts)	162	
Equipamento	Pressão	Estado
Compressor radial 7,5 HP	200 mmHG	Operando
Equipamento	Operação	Estado
Compressor de Ar 20 Pés	Pump e 02 Air Sparging	Operando
Compressor de Ar 20 Pés	03 Air Sparging	Operando
Bomba de Transferência 1 HP		Operando
03 torres de Carvão para filtro de ar		Operando
Caixa Separadora		Operando
Volume de água bombeada no período:		-
Volume de água bombeada acumulada:		-
Vazão média de bombeamento:		-
Tempo de operação:		1 mês
Volume de produto recuperado no período:		-
Volume de produto recuperado acumulado:		-
Tipo de produto recuperado:		-
Coloração do produto:		-

Fonte: CETESB 2009

No dia 25 de abril de 2009 foi realizada uma visita técnica ao local, para monitoramento ambiental nos os poços de monitoramento e de remediação existentes na área do posto e coleta de dados do sistema em operação desde 03 de abril. (CETESB, 2009).

O nível d'água médio do aquífero local se apresentou em 10,96 m de profundidade, com valor máximo equivalente a 11,79 m para o poço de monitoramento PM-19 e, valor mínimo de 9,27 m para o poço de monitoramento PM-16. As medições das concentrações de VOC's obtidas no monitoramento realizado indicaram compostos orgânicos voláteis em três poços (PB-01/SVE-04, PM-11. PM-14) tendo como valor máximo 2100 ppm no poço PM-11. Durante a visita técnica realizada no local, foi verificada a presença de produto na forma livre (FL) no poço PB-01/SVE-04, com espessura de 1,0 cm, no monitoramento realizado no dia 25 de Abril de 2009. Ressalta-se que em nenhum outro poço presente na área houve presença de fase livre. Devido ao pequeno volume de produto acumulado neste período não foi efetuada operação de separação de produto na Caixa Separadora do sistema. Dando prosseguimento ao processo de remediação ambiental, o sistema continuará operando com o objetivo de reduzir espessuras dos contaminantes em fase livre e concentrações em fase dissolvida na água subterrânea presente na área do posto. A Empresa A continuou a realizar monitoramento periódico dos níveis

d'água, espessura de fase livre, concentrações de VOC's e vácuo nos poços de monitoramento e de remediação, além de monitorar o sistema ali instalado.

Recomendou-se que o sistema continuasse em operação até que ocorresse a ausência de fase livre nos poços e as concentrações de compostos de interesse na área atinjam as metas de risco estabelecidas.

6.1.2.2 Período 2 – maio de 2009

Este período compreende os dias 01 a 31 de maio de 2009 e apresenta os resultados do monitoramento do segundo mês de operação do sistema de remediação ambiental implantado pela Empresa A apresentando os dados de evolução da remediação na área através do monitoramento dos parâmetros do sistema de remediação da água subterrânea e solo. Nesse período de operação a empresa A realizou 01 (uma) visita ao local, no dia 29 de maio de 2009. A tabela 25 apresenta os resultados do monitoramento de nível d'água, nível d'óleo e VOC no Posto 1.

O nível d'água médio do aquífero local se apresentou em 11,11 m de profundidade, com valor máximo equivalente a 11,80 m para o poço de monitoramento PM-19 e, valor mínimo de 9,28 m para o poço de monitoramento PM-16. (CETESB, 2009).

Tabela 25: Monitoramento Nível D'Água, Fase Livre e VOC's.

Poços	FL (m)	NA (m)	Espessura de Fase Livre (m)	VOC (ppm)
AS-01	Ausente	11,48	-	0,0
AS-02	Ausente	11,48	-	0,0
AS-03	-	-	-	-
AS-04	-	-	-	-
AS-05	Ausente	11,05	-	0,0
PB-01/SVE-04	11,51	11,52	0,01	5860
PM-02	Ausente	11,67	-	0,0
PM-05	Ausente	11,61	-	0,0
PM-06	Ausente	10,86	-	0,0
PM-07	Ausente	11,62	-	0,0
PM-08	Ausente	11,63	-	0,0
PM-09	Ausente	11,50	-	740
PM-10	Ausente	11,64	-	0,0
PM-11	Ausente	11,64	-	0,0
PM-12/SVE-05	Ausente	11,45	-	0,0
PM-13	Ausente	9,38	-	0,0
PM-14	11,50	11,52	0,02	5700
PM-16	Ausente	9,28	-	0,0
PM-17	Ausente	10,00	-	0,0
PM-18	Ausente	10,02	-	0,0
PM-19	Ausente	11,80	-	0,0
SVE-02	Ausente	*	*	0,0
SVE-03	Ausente	*	*	0,0

Fonte: Relatório CETESB 2009

As medições das concentrações de VOC's obtidas no monitoramento realizado indicaram compostos orgânicos voláteis em três poços (PB-01/SVE-04, PM-09 e PM-14) tendo como valor máximo 5860 ppm no poço PB-01/SVE-04. (Tabela 26)

Tabela 26: Medições do sistema de remediação

VOC saída do Compressor Radial (ppm)	1440	
VOC 1ª. Torre	1060	
VOC 2ª. Torre	440	
VOC 3ª. Torre	0,0	
Hidrômetro (m³)		252,8823
Kilowatimetro (watts)		10594
Equipamento	Pressão	Estado
Compressor radial 7,5 HP	200 mmHG	Operando
Compressor de Ar 20 Pés	Pump e 05 Air Sparging	Operando
Bomba de Transferência 1 HP		Operando
03 torres de Carvão para filtro de ar		Operando
Caixa Separadora		Operando
Volume de água bombeada no período:		-
Volume de água bombeada acumulada:		-
Vazão média de bombeamento:		-
Tempo de operação:		2 meses
Volume de produto recuperado no período:		-
Volume de produto recuperado acumulado:		-
Tipo de produto recuperado:		-
Coloração do produto:		-

Fonte: Relatório CETESB 2009.

Durante a visita técnica realizada no local, foi verificada a presença de produto na forma livre (FL) nos poços PB-01/SVE-04 e PM-14, com espessura de 1,0 e 2,0 cm respectivamente. Ressalta-se que em nenhum outro poço presente na área houve presença de fase livre. (CETESB, 2009)

As figuras 21, 22 e 23 demonstram os resultados do monitoramento de Nível D'água, Fase Livre e VOC's, respectivamente.

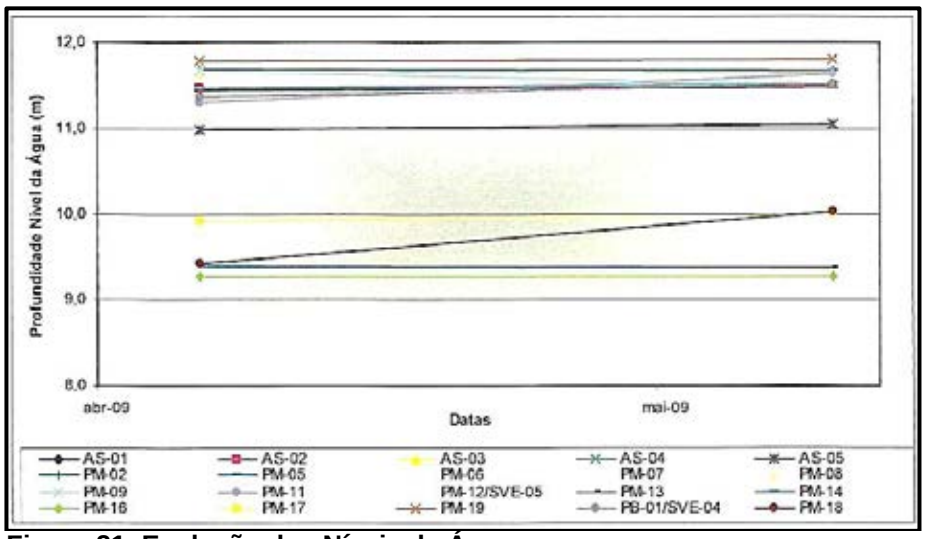


Figura 21: Evolução dos Níveis de Água
Fonte: Relatório CETESB 2009

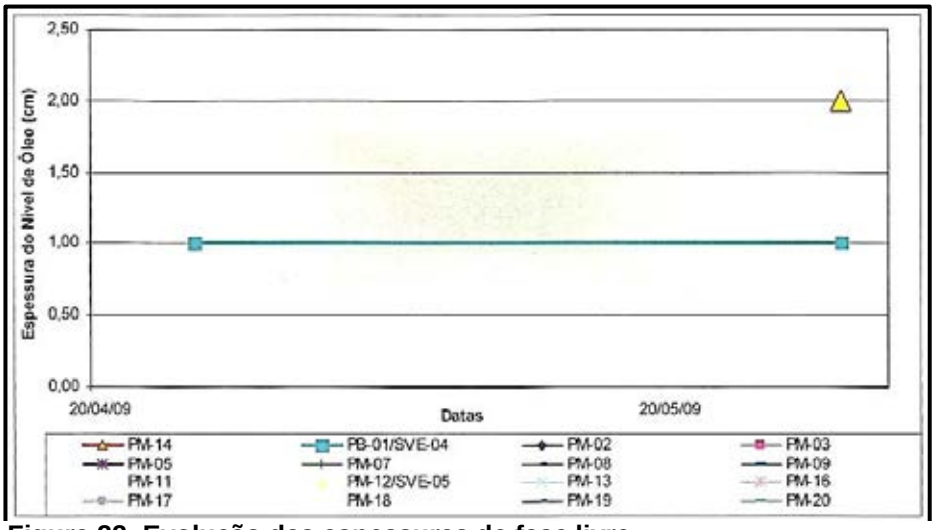


Figura 22: Evolução das espessuras de fase livre
Fonte: Relatório CETESB 2009

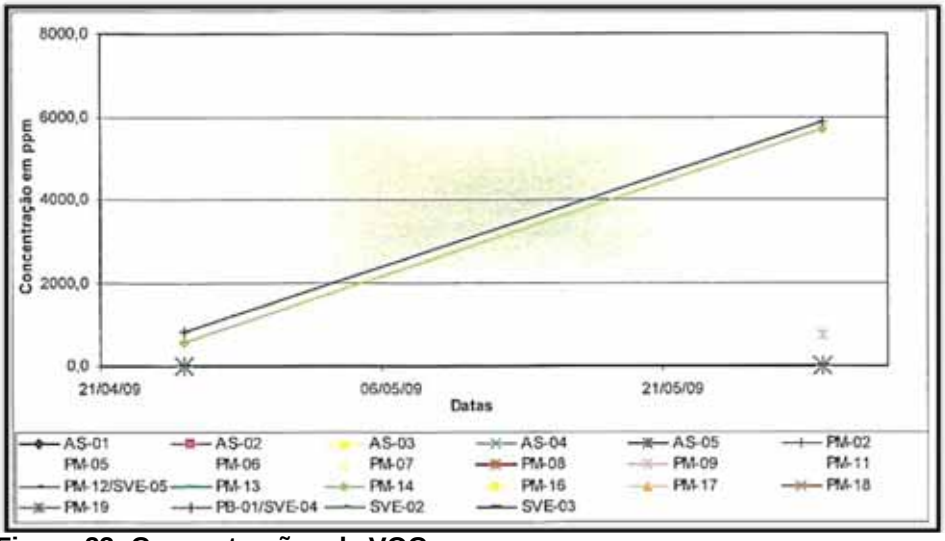


Figura 23: Concentrações de VOC
Fonte: Relatório CETESB 2009

Com base nos dados coletados a Empresa A recomenda que o sistema continue em operação até que ocorra a ausência de fase livre nos poços e as concentrações de compostos de interesse na área atinjam as metas de risco estabelecidas. (CETESB, 2009)

6.1.2.3 Período 3 – junho de 2009

Os resultados das medições podem ser observados na tabela 27.

Tabela 27: Resultados do monitoramento de do nível d'água, nível d'óleo e VOC

Poços	FL (m) 21/06	FL (m) 27/06	NA (m) 21/06	NA (m) 27/06	Esp. de FL (m) 21/06	Esp. de FL (m) 27/06	VOC (ppm) 21/06	VOC (ppm 27/06
AS-01	Ausente	Ausente	11,517	11,38	0,00	0,00	0,0	0,0
AS-02	Ausente	Ausente	11,57	11,41	0,00	0,00	0,0	0,0
AS-03	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-04	-	-	-	-	-	-	-	-
AS-05	Ausente	Ausente	11,065	10,99	0,00	0,00	0,0	0,0
PB-01/SVE-04	Ausente	11,38	11,43	11,39	0,00	0,01	4240	780
PM-02	Ausente	Ausente	11,903	11,18	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-05	Ausente	Ausente	11,923	11,95	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-06	Ausente	Ausente	11,112	11,14	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-07	Ausente	Ausente	12,365	12,41	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-08	Ausente	Ausente	11,817	11,20	0,0	0,00	0,0	0,0
PM-09	Ausente	Ausente	11,813	11,03	0,0	0,00	40,0	0,0
PM-11	Ausente	Ausente	11,544	11,56	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-12/SVE-05	Ausente	Ausente	11,01	11,12	0,00	0,00	680	0,0
PM-13	Ausente	Ausente	9,546	9,68	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-14	11,648	11,75	11,668	11,76	0,02	0,01	6860	760
PM-16	-	Ausente	-	8,98	-	0,00	-	0,0
PM-17	-	Ausente	-	9,82	-	0,00	-	0,0
PM-18	Ausente	Ausente	9,752	9,58	0,00	0,00	0,0	0,0
PM-19	-	Ausente	-	11,67	-	0,00	-	0,0
SVE-02	**	**	**	**	-	-	-	0,0
SVE-03	**	**	**	**	-	-	-	0,0

* - não existente; ** = poços de extração de vapores de solo, sem água
- = Não mensurado.

Fonte: Relatório CETESB 2009.

A partir das cotas topográficas e dos níveis d'água nos poços de monitoramento foram calculados os valores de carga hidráulica e elaborado o mapa potenciométrico, em que é indicado o sentido do fluxo das águas subterrâneas na área. (CETESB, 2009).

A tabela 28 apresenta os resultados dos cálculos das cargas hidráulicas dos poços da área.

Tabela 28: Cálculo das cargas hidráulicas

Poço	Cota Relativa ** (05/05/08)	Prof. NA (m) (27/07)	Esp. de FL (m)	Prof. NA Corrigida (m)	Carga Hidráulica
PM-05*	-	11,95	0,00	11,95	-
PM-06	99,96	11,14	0,00	11,14	88,82
PM-07*	99,53	12,41	0,00	12,41	87,12
PM-08	99,79	11,20	0,00	11,20	88,59
PM-09*	99,57	11,03	0,00	11,03	88,54
PM-11*	99,66	11,56	0,00	11,56	88,1
PM-12/SVE-05*	99,32	11,12	0,00	11,12	88,2
PM-13*	96,57	9,68	0,00	9,68	86,89
PM-14	99,60	11,76	0,01	11,757	87,843
PM-16*	95,96	8,98	0,00	8,98	86,98
PM-17	93,65	9,82	0,00	9,82	83,83
PM-18	96,19	9,58	0,00	9,58	86,61
PM-19*	99,80	11,67	0,00	11,67	88,13

- = Não mensurado.
* = poço amostrado

Fonte: Relatório CETESB 2009.

No dia 27 de junho de 2009 foram realizadas medições no sistema instalado no posto, Os resultados são apresentados na tabela 29.

Tabela 29: Medições do sistema de remediação

VOC saída do Compressor Radial (ppm)	460,0	
VOC 1ª. Torre	400,0	
VOC 2ª. Torre	60,0	
VOC 3ª. Torre	0,0	
Hidrômetro (m³)		252.9413
Kilowatímetro (watts)		11.784
Equipamento	Pressão	Estado
Compressor radial 7,5 HP	-	Operando
Equipamento	Operação	Estado
Compressor de Ar 20 Pés	Pump e 02 Air Sparging	Operando
Compressor de Ar 20 Pés	03 Air Sparging	Operando
Bomba de Transferência 1 HP		Operando
Caixa Separadora		Operando
Volume de água bombeada no período (L):		0,059
Volume de água bombeada acumulada (L):		0,059
Tempo de operação:		3 meses
Volume de produto recuperado no período:		-
Volume de produto recuperado acumulado:		-
Tipo de produto recuperado:		-
Coloração do produto:		-

Fonte: Relatório CETESB 2009.

As figuras 24, 25 e 26 representam os resultados do monitoramento de do nível d'água, nível d'óleo e VOC, respectivamente.

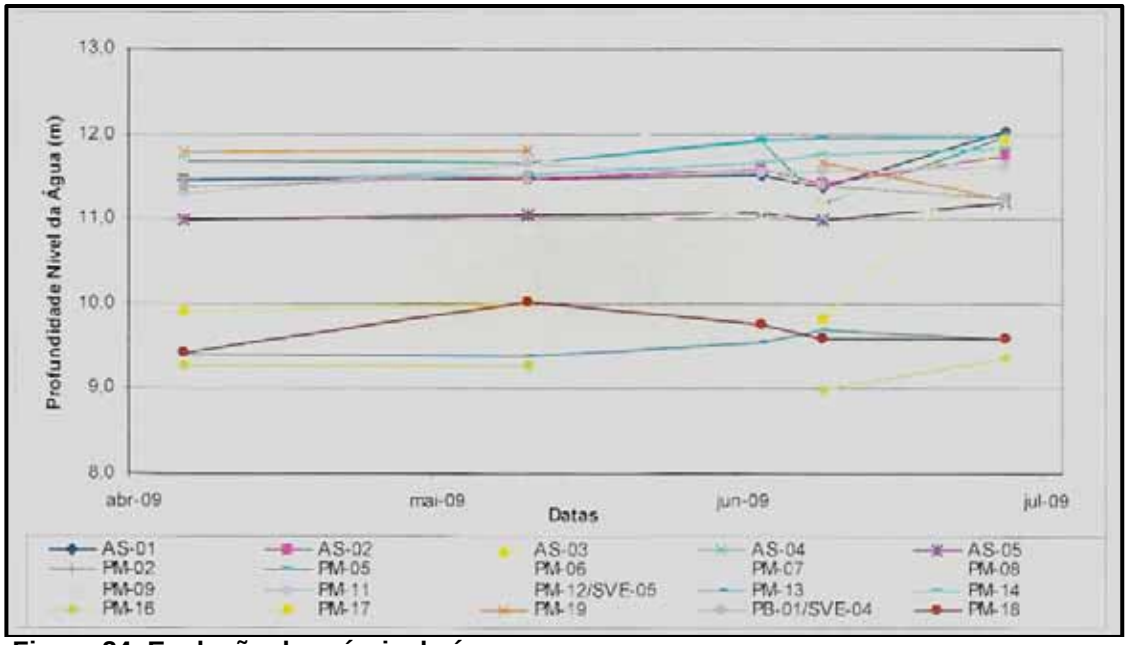


Figura 24: Evolução dos níveis de água
Fonte: Relatório CETESB 2009

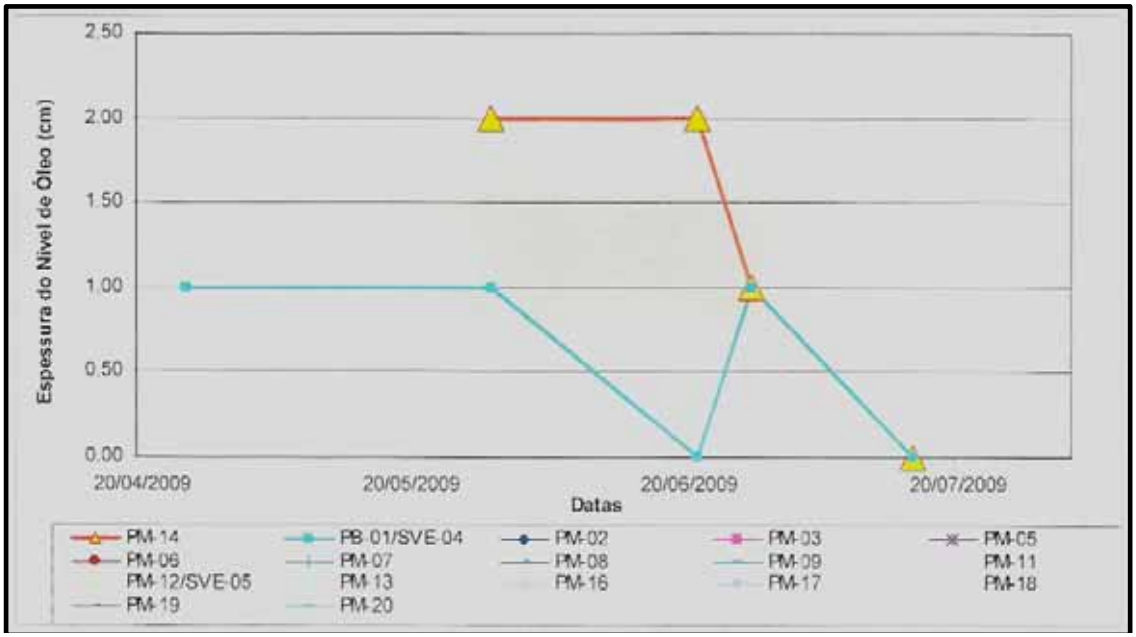


Figura 25: Evolução da espessura de fase livre
Fonte: Relatório CETESB 2009

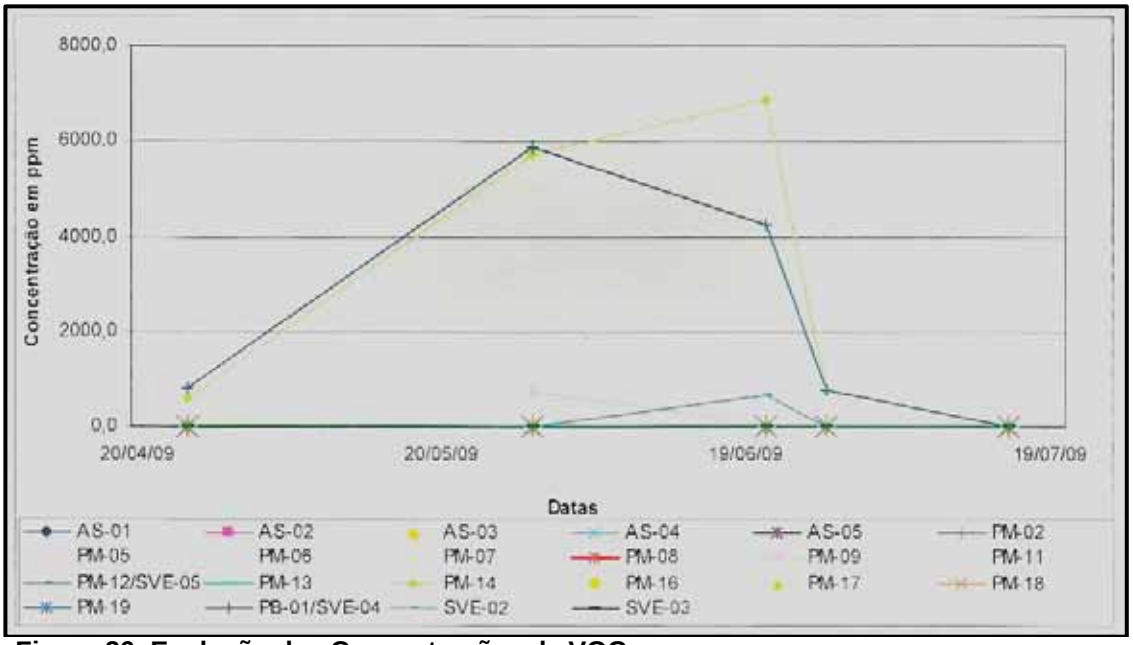


Figura 26: Evolução das Concentrações de VOC
Fonte: Relatório CETESB 2009

A tabela 30 mostra os resultados das medições dos parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD) e totais de sólidos dissolvidos (TDS).

Tabela 30: Resumo das medições dos parâmetros físico químicos dos poços monitorados.

Poço / Amostra	N.A Estático (m)	pH	Temp. (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg/l)	TDS (ppt)
PM-05 / AS-05	11,95	4,92	22,4	1,43	0,00
PM-07 / AS-06	12,41	4,81	21,4	1,35	0,00
PM-09 / AS-04	11,83	4,79	20,1	1,37	0,00
PM-11 / AS-02	11,56	4,56	21,4	3,08	0,01
PM-12/AS-03	11,12	5,11	21,5	1,66	0,00
PM-13 / AS-07	9,68	4,91	19,3	1,73	0,02
PM-16 / AS-01	8,98	4,50	23,2	1,07	0,04
PM-19 / AS-08	11,67	4,35	21,8	1,73	0,00

Fonte: Relatório CETESB 2009

A tabela 31 apresenta os resultados obtidos nas análises químicas das amostras de água subterrânea dos poços de monitoramento e a tabela 32 apresenta os resultados analíticos das amostras da entrada e saída do sistema.

Tabela 31: resultados analíticos das amostras de água subterrânea – BTEX

Parâmetro	AS-01 PM-16	AS-02 PM-11	AS-03 PM-12	AS-04 PM-09	AS-05 PM-05	AS-06 PM-07	AS-07 PM-13	AS-08 PM-19	LQ	SSTL
BTEX										
Benzeno	9,9	7,3	148,7	353,4	611,2	206,4	377,1	ND	1,0	510
Etilbenzeno	<	<	15,4	382,2	128,9	107,7	30,3	<	1,0	>
Xilenos	10,6	2,8	201,3	2209,0	1577,7	1014,5	764,3	<	1,0	>
Tolueno	ND	<	183,1	829,0	864,2	131,0	87,1	ND	1,0	10.000

<: Concentração menor do que o limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório; LQ: Limite de Quantificação;
SSTL – Referente à via de inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais on site (ENSR, Outubro de 2007).
>:Valor calculado acima do limite de solubilidade do composto na água.
*: Concentrações dos CQIs apresentados na Portaria 518 que prevalecem em relação aos SSTLs calculados.

Fonte: Relatório CETESB 2009

Tabela 32: Resultados analíticos das amostras de água subterrânea BTEX e PAH

Parâmetro	AS-09 Entrada do Sistema	AS-10 Saída do Sistema	LQ	SSTL
BTEX				
Benzeno	393,3	34,3	1,0	510
Etilbenzeno	287	2,8	1,0	>
Xilenos	3710,0	19,4	1,0	>
Tolueno	1968,8	36,6	1,0	10.000
PAH				
Fenantreno	0,11	ND	0,03	NC
Antraceno	<	ND	0,03	NC
Fluoranteno	ND	ND	0,03	NC
Benzo(a)antraceno	ND	ND	0,03	>
Criseno	ND	ND	0,03	>
Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	0,03	>
Benzo(a)pireno	ND	ND	0,03	>
Benzo(g,h,i)perileno	ND	ND	0,03	NC
Naftaleno	238,35*	6,67	0,03	>
Indeno (1,2,3 - cd) pireno	ND	ND	0,03	>
Pireno	ND	ND	0,03	NC
Dibenzo(a,h)antraceno	ND	ND	0,03	>
Acenaftileno	ND	ND	0,03	NC
Acenafteno	0,19	ND	0,03	NC
Fluoreno	0,08	ND	0,03	NC
Benzo(b)fluoranteno	ND	ND	0,03	>

NA: Não se aplica; <: Concentração menor do que o limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório; LQ: Limite de Quantificação;
SSTL – Referente à via de inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais on site (ENSR, Outubro de 2007).
>:Valor calculado acima do limite de solubilidade do composto na água.

Fonte: Relatório CETESB 2009

No dia 21 e entre os dias 26 e 27 de junho de 2009 foram realizadas visitas técnicas ao local, para monitoramento ambiental em todos os poços de monitoramento e de remediação existentes na área do posto e coleta de dados do sistema em operação desde 03 de abril de 2009.

O nível d'água médio do aquífero local se apresentou em 11,16 m de profundidade com valor máximo equivalente a 12,41 m para o poço de Injeção PM-07 e, valor mínimo de 8,98 m para o poço de monitoramento PM-16, ambos valores do monitoramento realizado no dia 27 de junho. (CETESB, 2009).

As medições das concentrações de VOC's obtidas nos monitoramentos realizados indicaram a presença de compostos orgânicos voláteis em quatros poços: PB-01/SVE-04 (4240 e 780 ppm, nos dias 2 e 27 respectivamente). PM-09 (40 ppm,

dia 21/06), PM-12/SVE-05 (680 ppm, dia 21/06) e PM-14, "6860 e 760 ppm nos dias 21 e 27 respectivamente).

Durante as visitas realizadas foi verificada a presença de produto em fase livre (FL) nos poços PB-01/SVE-04 (espessura de 1.0 cm no dia 27 de junho), no PM-14 (2,0 cm no dia 21 e de 1.0 cm no dia 27 de junho); em nenhum outro poço presente na área foi detectada presença de fase livre durante este período.

Durante as etapas de monitoramento, purga e amostragem dos Poços não foi observado indício de produto nas águas subterrâneas amostradas, seja pela existência de fase livre ou iridescência. (CETESB, 2009).

Os resultados físico-químicos das amostras de água subterrânea coletadas dos poços antes da amostragem, apresentaram pH valor mínimo 4,35 no poço PM-19 e máxima de 5,11 no poço de remediação PM-11/SVE-05, o que indica um meio de características ácidas. Os valores para o parâmetro oxigênio dissolvido (OD) variaram de 1,07 mg/L no PM-16 e 3,08 mg/L no poço de monitoramento PM-11.

Para as amostras de água subterrânea, foram detectadas concentrações de Benzeno em todos os poços, à exceção do PM-19. No poço PM-05 foi ultrapassado o valor SSTL referente a via de inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais *on site* com valor obtido a 611.2 µg/L; ressalta-se que para todos os outros compostos analisados não foram ultrapassados os limites de SSTL estabelecidos de acordo com o Relatório de Investigação Ambiental Detalhada e Análise de Risco RBCA *Tier* 2 elaborado pela ENSR em outubro de 2007. (CETESB, 2009)

As concentrações obtidas nas amostras de entrada e saída do sistema não ultrapassaram os valores de SSTL calculados para o local; para o composto BTEX a amostra de entrada do sistema indicou uma concentração de 393,3 µg/L ; a concentração de BTEX obtida na saída do sistema foi de 34,3 µg/L . Para o parâmetro PAH foi obtida na amostra da entrada do sistema o valor de 238.35 µg/L para o Naftaleno e a de saída teve concentração de 6,67 µg/L para o mesmo composto, o que indica a eficiência do sistema ali implantado.

Dando prosseguimento ao processo de remediação ambiental o sistema continuou operando com o objetivo de reduzir espessuras dos contaminantes em fase livre e concentrações em fase dissolvida na água subterrânea local. A Empresa A continuou a realizar monitoramento periódico dos níveis d'água, espessura de fase

livre, concentrações de VOC's e vácuo nos poços de monitoramento e de remediação, além de monitorar o sistema ali instalado.

Com base nos dados apresentados a Empresa A recomenda que o sistema continue em operação até que ocorra a ausência de fase livre nos poços e as concentrações de compostos de interesse na área atinjam as de risco estabelecidas.

6.1.2.4 Período 4 – julho a setembro de 2009

Este relatório apresenta os resultados do monitoramento do sexto mês de operação ambiental implantado pela Empresa A atuante na área do posto 1, localizado em Avaré – SP.

Aqui, se apresenta os dados da evolução da remediação da área através do monitoramento dos parâmetros do sistema de remediação da água subterrânea e do solo local, bem como do monitoramento analítico dos poços de monitoramento e bombeamento, no período de 01 de julho a 30 de setembro de 2009.

Os resultados analíticos deste monitoramento foram comparados com as referencias da CETESB (2009) e dos valores de SSTL's calculados pela Avaliação de Risco RBCA *Tier 2*, realizada pela Empresa A em Outubro de 2007.

A tabela 33 apresenta os resultados obtidos no monitoramento de NA, NO e VOC realizado na área do posto.

Durante esta etapa não foi observada a presença de produto em fase livre ou iridescência ou em nenhum dos poços da área, à exceção do poço de monitoramento PM-14 onde foi observada iridescência na água.

Durante as etapas de amostragem dos poços de monitoramento não foram observados indícios visuais na água subterrânea, seja pela existência de fase livre (LNAPL - Light Non-Aqueous Phase Liquids ou DNAPL - Dense Non-Aqueous Phase Liquids) ou iridescência nos pontos amostrados, à exceção do poço de monitoramento PM-14 onde foi observada iridescência na água.

No dia 16 de setembro foi realizado o monitoramento dos parâmetros físico-químicos: Total de Sólidos Dissolvidos (ppm), pH, temperatura (°C), Condutividade Elétrica (pS/cm), Oxigênio Dissolvido (mg/L) e Eh (mV) das amostras de Entrada e Saída do sistema de remediação instalado no posto.

Tabela 33: Resultados do monitoramento de Nível D'água, Fase Livre D'Óleo e VOC

Poços	FL (m)	NA (m)	Esp. FL (m)	VOC (ppm)
AS-01	-	11,587	Ausente	0,0
AS-02	-	11,63	Ausente	0,0
AS-03	-	12,00	Ausente	0,0
AS-04	-	11,281	Ausente	0,0
AS-05	-	10,968	Ausente	0,0
PB-01/SVE-04	-	12,65	Ausente	0,0
PM-02	-	11,775	Ausente	0,0
PM-05	-	11,79	Ausente	0,0
PM-06	-	11,03	Ausente	0,0
PM-07	-	12,238	Ausente	0,0
PM-08	-	11,683	Ausente	0,0
PM-09	-	11,715	Ausente	0,0
PM-11	-	11,40	Ausente	0,0
PM-12/SVE-05	-	11,00	Ausente	0,0
PM-13	-	9,407	Ausente	0,0
PM-14	-	11,70	Ausente	0,0
PM-16	-	8,80	Ausente	0,0
PM-17	-	9,879	Ausente	0,0
PM-18	-	9,411	Ausente	0,0
PM-19	-	12,02	Ausente	0,0
SVE-01	*			0,0
SVE-02	*			0,0
SVE-03	*			0,0

(*): poços de extração de vapores do solo, sem água;
(-): inexistente.

Fonte: Relatório CETESB 2009

Os resultados referentes a este monitoramento são apresentados nas figuras 27, 28 e 29.

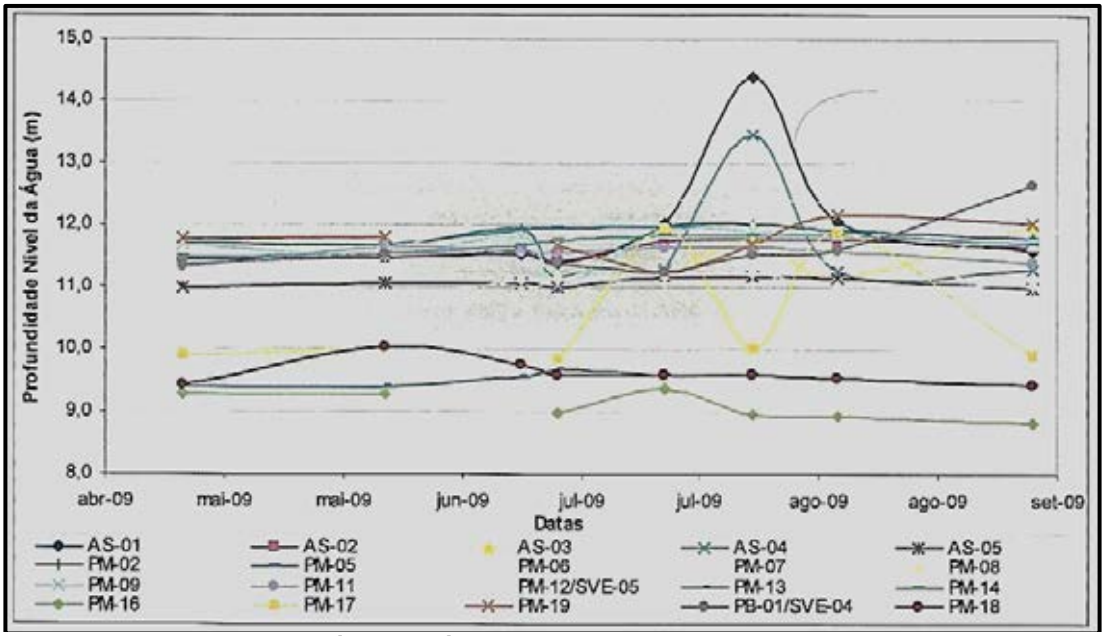


Figura 27: Evolução dos níveis de água nos poços
Fonte: Relatório CETESB 2009

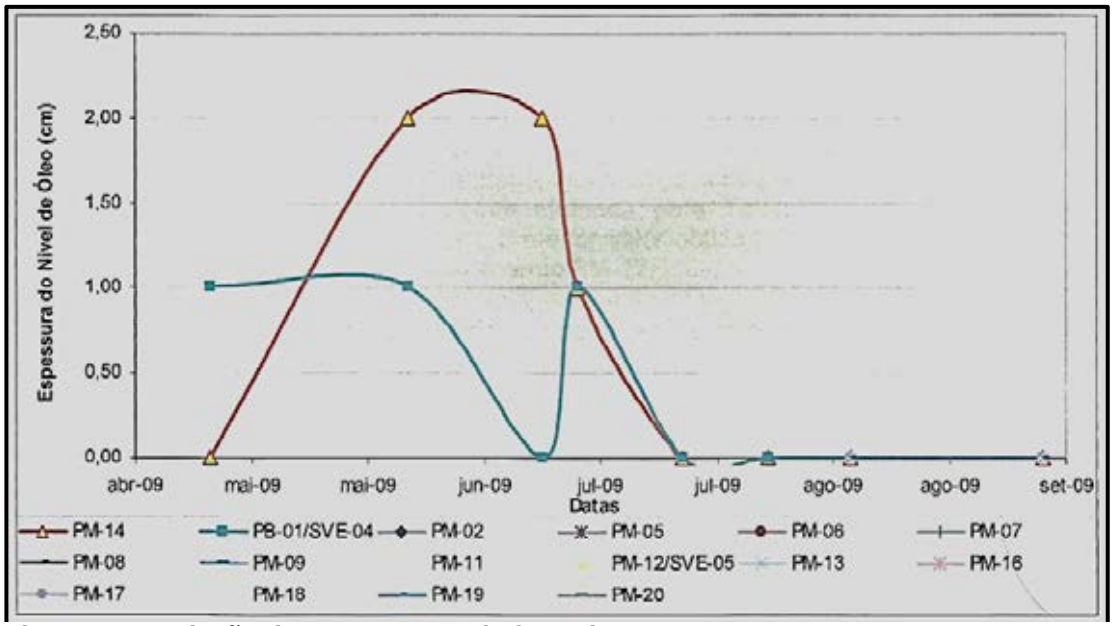


Figura 28: Evolução das espessuras de fase Livre nos poços
Fonte: Relatório CETESB 2009

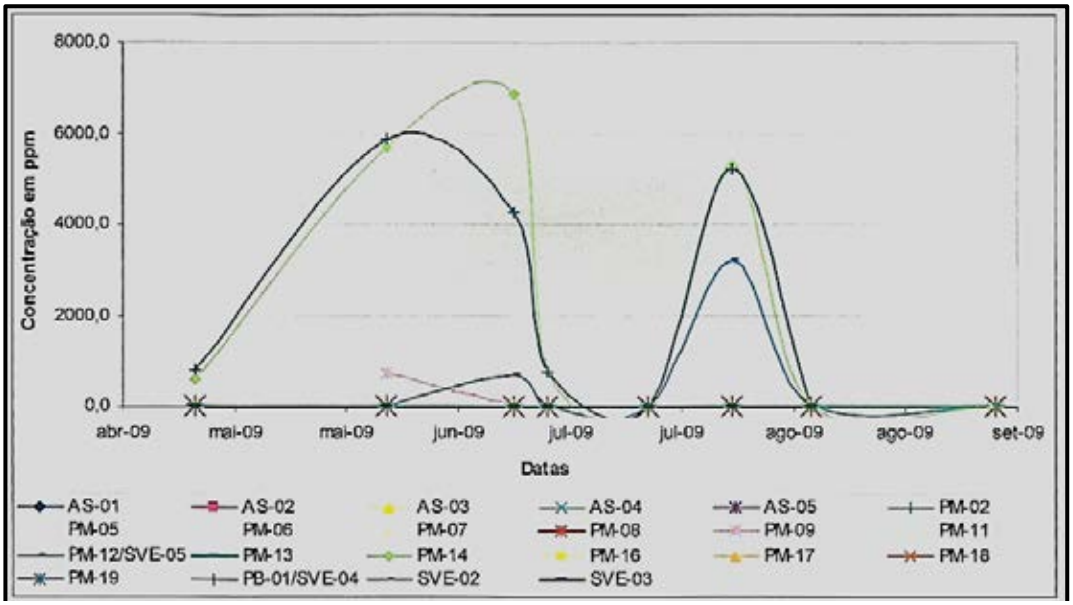


Figura 29: Concentrações de VOC nos poços
Fonte: Relatório CETESB 2009

Neste mesmo dia, foram coletadas as amostras de água do sistema. A amostragem foi realizada diretamente dos efluentes gerados na Entrada e na Saída do sistema de remediação para análise dos parâmetros BTEX e PAH.

Os resultados físico-químicos das amostras de água subterrânea coletadas indicaram valores para o pH entre 4,08 (PM-17) e 6,71 (PT-02), a média das medições de pH foi de 5,05 demonstrando para o meio características ácidas. As

medições efetuada para Totais de Sólidos Dissolvidos (TDS) indicaram como valor médio 148,88 ppm, o menor valor obtido foi de 8,0 ppm no PM-09 e o maior valor foi de 2078 ppm no poço de monitoramento PM-17.

O Oxigênio Dissolvido avaliado nesta campanha de amostragem demonstrou média de 1,44 mg/L, o maior valor encontrado foi de 2,62 mg/L no poço PM-19, a menor medida foi de 0,21 mg/L obtida no poço PM-08.

As medições de Eh demonstraram como valor médio 119,20 mV; o maior valor foi de 192,9 mV no poço PM-17 e o menor valor foi de 46,7 mV no poço PB-01/SVE-04. A Condutividade Elétrica média observada foi de 296,06 µs/cm^2, o poço PM-17 foi onde foi obtido o maior valor (4156 µs/cm^2), no poço PM-09 foi observado o menor valor na área (17,0 µs/cm^2).

Os resultados das medições dos parâmetros físico-químicos monitorados *in-situ* são apresentados na tabela 34.

Tabela 34: Resultados físico-químicos

Poço Amostra	N.A (m)	TDS (ppm)	pH	Temp. (°C)	Cond Elétrica (µS/cm)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Eh (mV)
PM-02 AS-01	11,775	34,0	4,69	25,73	68,0	2,17	146,1
PM-05 AS-02	11,79	15,0	4,66	25,42	30,0	2,38	167,9
PM-06 AS-03	11,03	14,0	4,96	25,48	28,0	1,46	134,9
PM-07 AS-04	12,238	17,0	4,70	24,39	35,0	1,41	122,8
PM-08 AS-05	11,638	15,0	4,75	25,38	30,0	0,21	171,7
PM-09 AS-06	11,715	8,0	4,49	24,19	17,0	1,60	173,5
PM-11 AS-07	11,40	11,0	4,32	23,50	21,0	2,17	174,1
PM-12/SVE-05 AS-17	11,00	43	5,10	23,67	56	1,81	52,1
PM-13 AS-08	9,407	32,0	4,43	23,08	63,0	1,48	105,5
PM-14 AS-09	11,70	66,0	5,68	23,45	133,0	0,33	54,8
PM-16 AS-10	8,80	17,0	4,56	24,82	35,0	1,85	84,1
PM-17 AS-11	9,879	2078,0	4,08	23,16	4156,0	1,51	192,9
PM-18 AS-12	9,411	66,0	5,68	23,45	133,0	0,33	54,8
PM-19 AS-13	12,02	16,0	4,71	23,97	31,0	2,62	144,7
PB-01/SVE-04 AS-14	12,65	36,0	6,07	24,48	72,0	2,58	46,7
PT-01 AS-15	-	25,0	6,31	22,21	49,0	0,40	86,2
PT-02 AS-16	-	38,0	6,71	22,23	76,0	0,26	113,7

(-): Não mensurado.

Fonte: Relatório CETESB 2009

Os resultados físico-químicos das amostras de entrada e saída do sistema indicaram valores médios de pH de 6,29, o TDS obtido indicou como valor médio 76 ppm. O Oxigênio Dissolvido avaliado demonstrou média de 2,215 mg/L. As medições de Eh demonstraram como valor médio 8,8 mV. A Condutividade Elétrica média observada foi de 152 µs/cm^2. Os resultados das medições dos parâmetros físico-químicos monitorados *in situ* são apresentados na tabela 35:

Tabela 35: Resumo das medições dos parâmetros físico-químicos dos poços monitorados.

Local Amostra	TDS (ppm)	pH	Temp. (°C)	Cond Elétrica (µS/cm)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Eh (mV)
Entrada do Sistema ST-01	37,0	6,30	22,06	73,0	2,30	11,3
Saída do Sistema ST-02	115,0	6,28	21,13	231,0	2,13	6,3

Fonte: Relatório CETESB 2009

No dia 16 de setembro de 2009 foram coletadas amostras de entrada e saída do sistema de remediação para análise dos parâmetros BTEX e PAH. (CETESB, 2009)

As amostras coletadas apresentaram para o parâmetro BTEX concentrações detectáveis para todos os compostos na amostra retirada na Entrada do sistema, os resultados analíticos desta amostra para o composto Benzeno indicaram concentrações de 2,4 µg/L, o valor de Tolueno detectado nesta amostra foi de 11,6 µg/L, para o Etilbenzeno foi obtida concentração de 3,3 µg/L , a concentração do composto Xilenos Totais para esta amostra foi de 59,5 µg/L . Na amostra de saída do sistema de remediação foi detectado somente os compostos Xilenos Totais com concentração de 5,3 µg/L. (Tabela 36).

Tabela 36: Resultados analíticos das amostras de entrada e saída do sistema

Parâmetro	Entrada ST-01				Saída ST-02				LQ	SSTL
	26/06/09	16/07/09	13/08/09	16/09/09	26/06/09	16/07/09	13/08/09	16/09/09		
BTEX										
Benzeno	393,3	<	1,5	2,4	34,3	<	<	<	1,0	510
Tolueno	1968,8	<	3,5	11,6	36,6	<	<	<	1,0	>
Etilbenzeno	287	<	<	3,3	2,8	<	<	<	1,0	>
Xilenos	3710	<	7,4	59,5	19,4	<	<	5,3	1,0	10.000
PAH										
Naftaleno	238,35	<	<	<	6,67	<	<	<	0,3	NC
Acenaftileno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
Acenafteno	0,19	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
Fluoreno	0,08	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Fenantreno	0,11	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Antraceno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Fluoranteno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
Benzo(a)antraceno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Criseno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Benzo(b)fluoranteno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
Benzo(k)fluoranteno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>
Benzo(a)pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
I<eno(123-cd)pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
Dibenzo(a,h)antraceno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	NC
Benzo(ghi)perileno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3	>

(<): Concentração menor do que o limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório; LQ: Limite de Quantificação;
SSTL – Referente à via de exposição: inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais *on site* (ENSR, Outubro de 2007).
(<):Não Detectado; (-): Não Analisado.

Fonte: Relatório CETESB 2009

Quando comparados os resultados analíticos das amostras coletadas em 16 de setembro de 2009 na campanha com os resultados obtidos nas oito (08) amostras coletadas em junho de 2009 para avaliação da evolução do processo de remediação para o parâmetro BTEX nota-se aumento das concentrações do

composto Benzeno nos poços PM-05 (611,2 para 2328,0 µg/L), PM-07 (206,4 para 255,8 µg/L) e PM-13 (377,1 para 574,4 µg/L).

Na comparação dos resultados para o composto Tolueno houve aumento das concentrações nas amostras dos poços PM-05 (864,2 µg/L para 4336,6 µg/L), PM-07 (131,0 µg/L para 153,7 µg/L), PM-12 (183,1 µg/L para 214,0 µg/L) e PM13 (87,1 para 137,4 µg/L). (CETESB, 2009)

Nas amostras analisadas para o composto Etilbenzeno foi detectado acréscimo das concentrações em comparação com a campanha anterior nos poços PM-05 (128,9 µg/L para 710.1 µg/L), PM-07 (107,7 µg/L para 190,9 µg/L), PM-12 (15,4 µg/L para 19,8 µg/L) e PM-13 (30,3 µg/L para 78,3 µg/L).

Em comparação com os resultados analíticos da última campanha realizada para os compostos Xilenos Totais, foi detectado aumento nas concentrações nos poços PM-05 (1577,7 µg/L para 5746,8 µg/L), PM-07 (1014,5 para 1817,0 µg/L), PM-09 2209,0 para 2258,8 µg/L), PM-12 (201,3 para 309,5 µg/L) e PM-13 (764,3 µg/L para 2523.3 µg/L). (CETESB, 2009).

Na comparação dos resultados analíticos das amostras coletadas com os valores de SSTL calculados para a área referentes à via de exposição (inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais *on site)* verificou-se que três (03) das dezessete (17) amostras coletadas ultrapassaram os valores estabelecidos para o composto Benzeno (510,0 µg/L); os pontos onde esse limite foi excedido foram: os poços PM-05 (2328,0 µg/L), o PM-13 (574,4 µg/L) e o PM-14 (1516,0 µg/L).

Para o parâmetro PAH os resultados analíticos das amostras coletadas não ultrapassaram os valores calculados pela análise de risco estabelecida para o site em todos os compostos analisados. (CETESB, 2009).

De maneira geral, as concentrações obtidas nesta campanha de monitoramento analítico demonstraram uma tendência de decaimento das concentrações dos Compostos Químicos de Interesse (CQI) quando comparadas com os valores observados em Junho de 2008 e com os resultados analíticos obtidos na campanha de amostragem efetuada em Junho de 2009, após a implantação do sistema de DPE (*Dual Phase Extraction*), AS (*Air Sparging*) SVE (*Soil Vapor Extraction*) que atuam simultaneamente na área. (Figura 30).

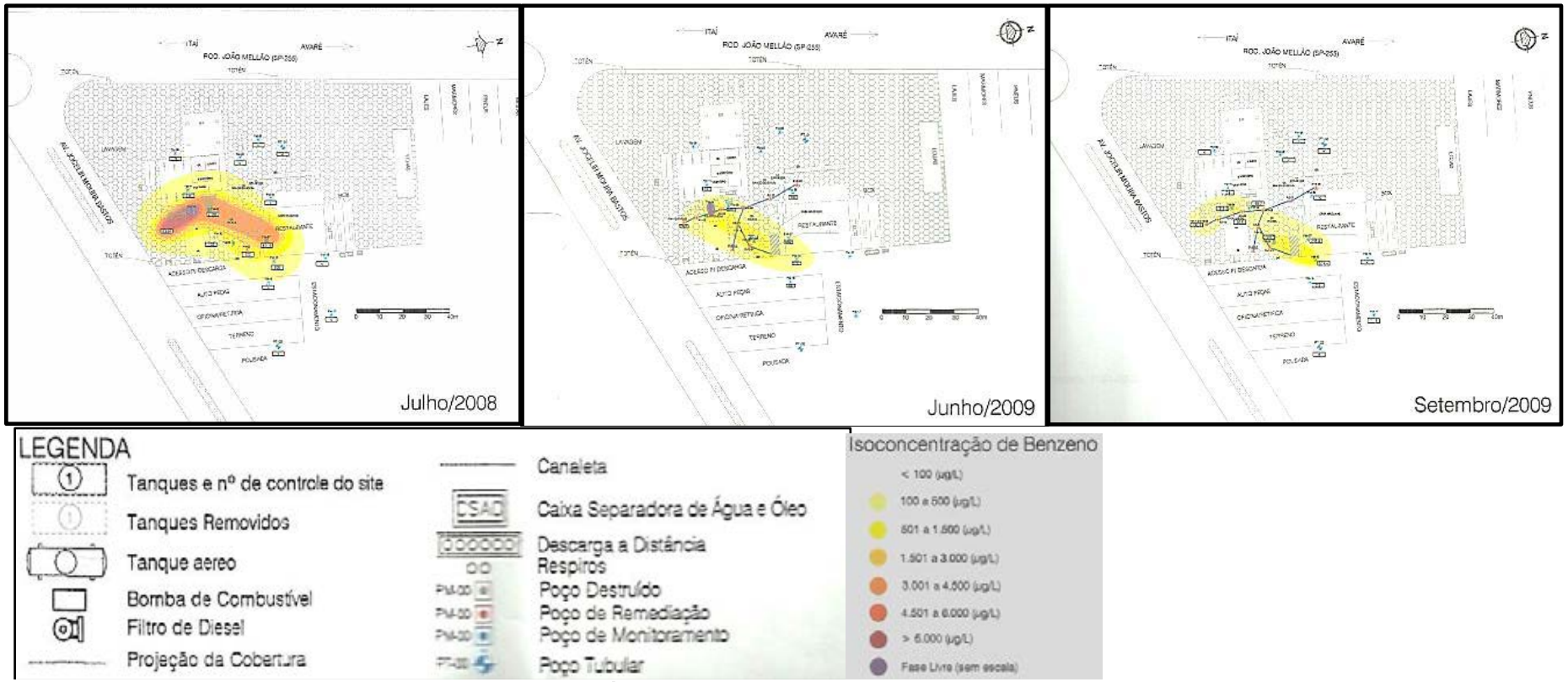


Figura 30: Evolução das concentrações de benzeno na área
Fonte: Relatório CETESB 2009

Entre os dias 14 e 17 e no dia 24 de setembro de 2009 foram realizadas visitas ao local para monitoramento ambiental em todos os poços de monitoramento e de remediação existentes na área do posto e coleta de dados do sistema em operação desde 03 de abril de 2009.

Durante as etapas de monitoramento, purga e amostragem dos poços, não foi observado indício de produto nas águas subterrâneas amostradas, seja pela existência de fase livre ou iridescência, à exceção do poço de monitoramento PM-14 onde foi observada iridescência na água. Neste monitoramento não foram observados valores de VOC em nenhum dos poços da área.

A fim de verificar a eficiência do processo de remediação instalado foram coletadas 17 amostras para análise dos parâmetros BTEX e PAH, os resultados analíticos indicaram que em três (03) amostras foram ultrapassados os valores de SSTL estabelecidos para o composto Benzeno, no entanto não foram excedidos os limites calculados para todos os outros compostos analisados.

Vale ressaltar que após a instalação do sistema de remediação na área as concentrações médias de Benzeno têm baixado, bem como, a área da pluma em fase e que o último monitoramento onde houve detecção de fase livre foi em 27 de junho nos poços PM-14 (0,01 m) e PB-01/SVE-04 (0,01 m) o que indica a eficiência do sistema ali instalado.

As amostras coletadas na Entrada e Saída do sistema indicaram valores abaixo dos SSTL calculado. Na amostra de Saída do sistema de remediação foi detectado somente os compostos Xilenos Totais com concentração de 5,3 µg/L .

No período de operação do sistema não houve extração de produto, não havendo assim operação de separação de contaminantes na Caixa Separadora.

Dando prosseguimento ao processo de remediação ambiental, o sistema continuará operando com o objetivo de reduzir as concentrações em fase dissolvida na água subterrânea local. A Empresa A continuou a realizar monitoramento periódico dos níveis d'água, espessura de fase livre, concentrações de VOC's nos poços de monitoramento e de remediação, além de monitorar o sistema ali instalado.

De acordo com os resultados obtidos nesta campanha de monitoramento, a Empresa A recomenda dar continuidade ao processo de remediação da área, até que se atinjam as metas de remediação estabelecidas para o site, além da

continuidade das campanhas de monitoramento analítico trimestral e semestral para comprovação da eficiência do sistema.

6.1.2.5 Período 5 – janeiro e fevereiro de 2010

Este período compreende os resultados obtidos com a campanha de monitoramento analítico das águas subterrâneas executada pela Empresa A, visando avaliar a qualidade do aquífero local com a interrupção da operação do sistema de remediação ambiental instalado na área do Posto 1, localizado na cidade de Avaré, SP.

Os resultados analíticos deste monitoramento foram comparados com as referências da CETESB (Valores de Intervenção, 2005) e com os valores de SSTL's calculados na Avaliação de Risco RBCA *Tier* 2, realizada pela Empresa A em Outubro de 2007.

Nesta data, o Relatório de Monitoramento de Sistema de Remediação Ambiental, demonstrou que os resultados analíticos das amostras coletadas quando comparados com a campanha de Setembro de 2009 confirmaram a redução das concentrações da maioria dos compostos do parâmetro BTEX, destacando-se o poço de monitoramento PM-14.

Nesta campanha, os valores de SSTL calculados para a área foram ultrapassados na amostra do poço de monitoramento PM-05, onde foi observada concentração de 3446,0 µg/L para o composto Benzeno. A análise de evolução de isoconcentracões de Benzeno pode ser observada uma redução do centro de massa da pluma, indicada pela diminuição da concentração dos PM-14, PM-12/SVE-05, PM-09 e PM-07.

Os resultados analíticos desta campanha de monitoramento demonstraram uma tendência geral de diminuição nas concentrações CQI na área, levando-se em conta os resultados obtidos nas campanhas de amostragem efetuadas apos a implantação do sistema de remediação ambiental.

Neste trabalho a Empresa A recomendou dar continuidade ao processo de remediação da área, ate que sejam atingidas as metas de remediação estabelecidas para o site, além da continuidade das campanhas e monitoramento analítico trimestral e semestral para comprovação da eficácia do sistema.

As visitas ao local foram realizadas entre os períodos de 11 a 13 de janeiro, 26 de janeiro (desligar o sistema) e de 22 a 25 de fevereiro para a elaboração das atividades abaixo descritas. (CETESB, 2010)

Nos dias 11 de janeiro e 22 de fevereiro de 2010 foram realizadas medições de profundidade do nível d'água com equipamento de medição de interface água e óleo nos 13 poços de monitoramento, no poço de bombeamento (PB-01/SVE-04) e nos poços de remediação (AS-01 a AS-05; SVE-01 a SVE-03 e PM-12/SVE-05) locados na área do posto e verificação de fase livre nos mesmos. A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos nos monitoramentos de NA, Fase Livre e VOC realizados. (Tabela 37)

Tabela 37: Resultados dos monitoramentos de Nível D'Água, nível D'Óleo e VOC

Poços	11/janeiro				22/fevereiro			
	FL (m)	NA (m)	Espessura FL (m)	VOC (ppm)	FL (m)	NA (m)	Espessura FL (m)	VOC (ppm)
AS-01	Ausente	10,800	-	0,0	Ausente	10,350	-	0,0
AS-02	Ausente	10,820	-	0,0	Ausente	10,350	-	0,0
AS-03	Ausente	10,920	-	0,0	Ausente	10,560	-	0,0
AS-04	Ausente	10,660	-	0,0	Ausente	11,180	-	0,0
AS-05	Ausente	10,350	-	0,0	Ausente	9,830	-	0,0
PB-01/SVE-04	Ausente	10,735	-	0,0	Ausente	10,200	-	0,0
PM-02	Ausente	11,090	-	0,0	Ausente	10,570	-	0,0
PM-05	Ausente	11,210	-	0,0	Ausente	10,770	-	0,0
PM-06	Ausente	10,310	-	0,0	Ausente	9,740	-	0,0
PM-07	Ausente	11,660	-	0,0	Ausente	11,710	-	0,0
PM-08	Ausente	10,960	-	0,0	Ausente	10,430	-	0,0
PM-09	Ausente	11,080	-	1180,0	Ausente	10,570	-	0,0
PM-11	Ausente	10,790	-	320	Ausente	10,270	-	0,0
PM-12/SVE-05	Ausente	10,450	-	0,0	Ausente	9,820	-	0,0
PM-13	Ausente	8,850	-	0,0	Ausente	8,420	-	0,0
PM-14	Ausente	10,960	-	0,0	Ausente	10,470	-	200,0
PM-16	Ausente	8,290	-	0,0	Ausente	7,910	-	0,0
PM-17	Ausente	9,380	-	0,0	Ausente	8,985	-	0,0
PM-18	Ausente	8,875	-	0,0	Ausente	8,440	-	0,0
PM-19	Ausente	11,390	-	0,0	Ausente	10,900	-	0,0
SVE-01	Poços Secos			0,0	Poços Secos			0,0
SVE-02				0,0				0,0
SVE-03				0,0				0,0

Fonte: Relatório CETESB 2010.

Nos dias 11 e 12 de janeiro e 22 de fevereiro de 2010 foram realizados os monitoramentos do sistema de remediação que operava no posto. (tabela 38)

Tabela 38: Medições do Sistema de Remediação

		11/Janeiro	22/Fevereiro
VOC saída do Compressor Radial (ppm)		0	0
VOC 1ª. Torre (ppm)		0	0
VOC 2ª. Torre (ppm)		0	0
VOC 3ª. Torre (ppm)		0	0
Hidrômetro (m³)		273,2914	273,2929
Kilowatimetro (watts)		38230	45729
Horímetro (H)*		2.515,71	3.522,98
Equipamento	Operação	Estado	
Compressor de Ar	AutoPump e 02 Air Sparging	Operando	Desligado
Compressor de Ar	03 Air Sparging	Operando	Desligado
Caixa Separadora		Operando	Desligado
Volume de água bombeada no período (L):		11,10	0,0
Volume de água bombeada acumulada (L):		21291,40	21292,90
Tempo de operação:		10 meses	11 meses
Volume de produto recuperado no período:		-	-
Volume de produto recuperado acumulado:		-	-
Tipo de produto recuperado:		-	-
Coloração do produto:		-	-
Volume de produto destinado:		-	-

(-): nulo;
(*): Instalado em 13 de Agosto de 2009.

Fonte: Relatório CETESB 2010.

O Nível D'água médio observado durante as duas visitas realizadas foi 10,27 m, destaca-se que não foi constatada a presença de fase livre em nenhum dos pontos monitorados em nenhuma das visitas realizadas (Figura 31).

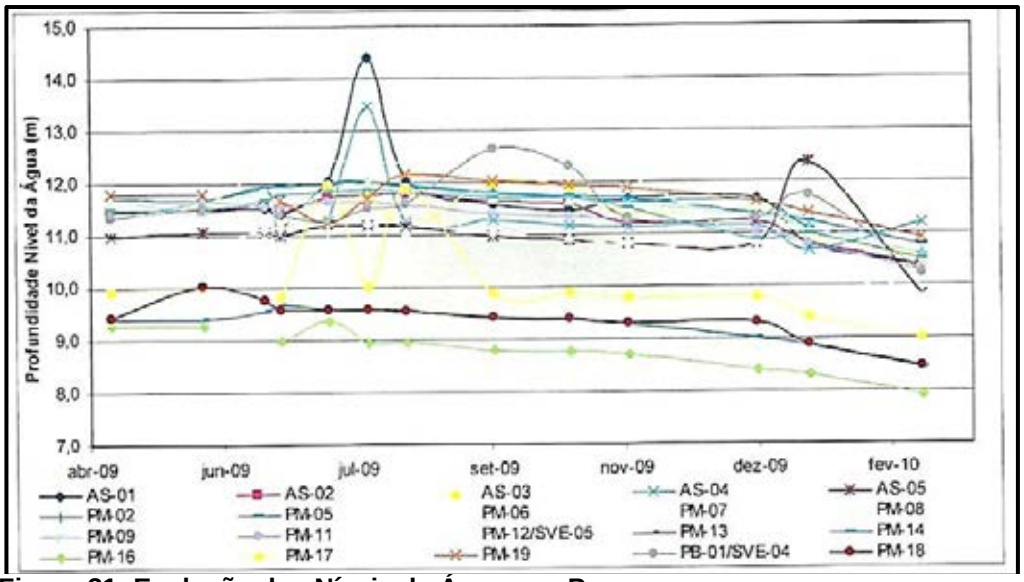


Figura 31: Evolução dos Níveis de Água nos Poços
Fonte: Relatório CETESB 2010.

O ultimo monitoramento em que foi detectada a presença de produto em fase livre foi em 27 de junho de 2009 nos poços PM-14 (1,0 cm) e PB-01/SVE-04 (1,0 cm), como mostra a figura 32.

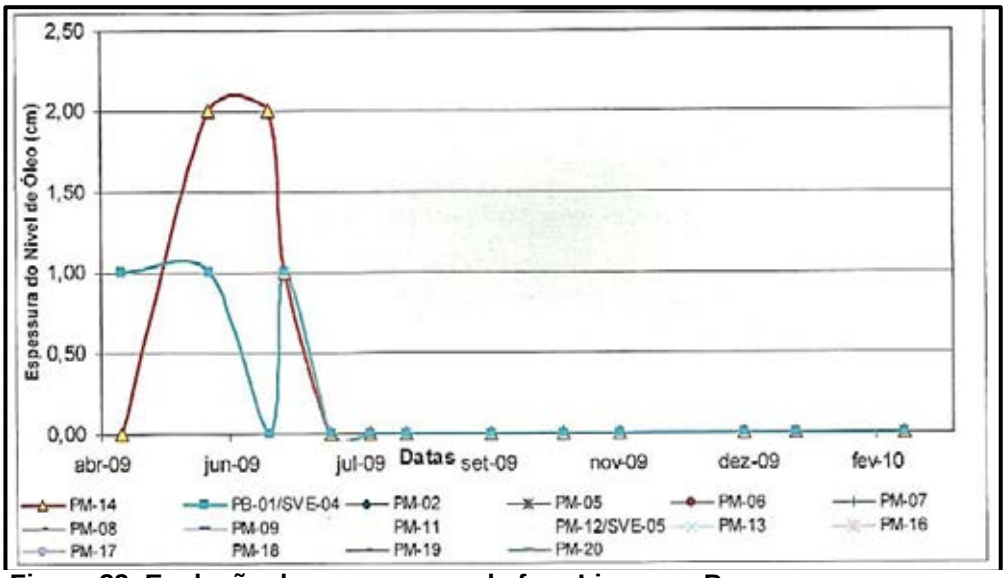


Figura 32: Evolução das espessuras de fase Livre nos Poços
Fonte: Relatório CETESB 2010.

Os resultados do monitoramento dos compostos orgânicos voláteis (VOC) indicaram valores nulos (0,0 ppm) para todos os poços monitorados em todas as visitas efetuadas no período, com exceção das medições efetuadas nos poços PM-09 (1180,0 ppm) e PM-11 (320,0 ppm) no dia 11 de janeiro e PM-14 (200,0 ppm) no dia 22 de fevereiro de 2010 (Figura 33).

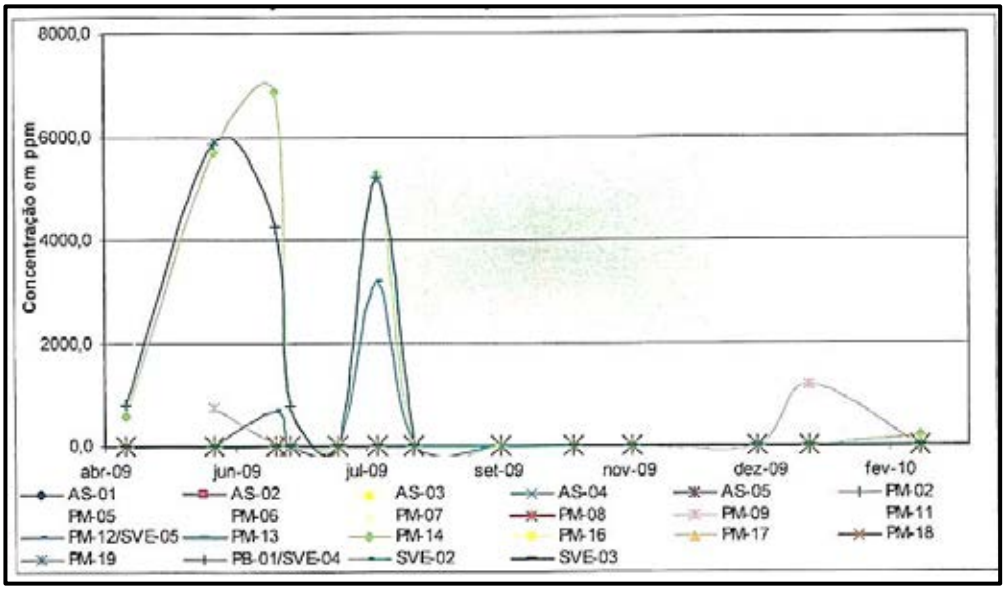


Figura 33: Concentrações em VOC nos Poços

Os resultados físico-químicos das amostras de água subterrânea coletadas indicaram valores para o pH entre 4,47 (PM-13) e 6,26 (PT-01), a média das medições de pH foi de 5,19 demonstrando acidez para o meio. As medições efetuadas para Oxigênio Dissolvido demonstraram média de 0,13 mg/L, o maior valor encontrado foi de 0,32 mg/L no PT-02, a menor medida foi de 0,03 mg/L obtida no poço PM-13. (CETESB, 2010)

As medições de Eh demonstraram como valor médio 175,74 mV, o maior valor foi de 319,6 mV no poço PM-16, o menor valor foi de -11,4 mV no poço PM-14. A Condutividade Elétrica média observada foi de 243,11 µs/cm^2, no poço PM-17 foi observado o maior valor (2310,0 µs/cm^2), no poço PM-09 foi observado o menor valor na área (200,0 µs/cm^2).

Os resultados do monitoramento dos parâmetros físico-químicos na água subterrânea podem ser observados na tabela 39.

Tabela 39: Medições dos Parâmetros Físico-Químicos dos Poços Monitorados

Poço / Amostra	N.A (m)	pH	Temp. (°C)	Cond Elétrica	Oxigênio Dissolvido	Eh (mV)
PM-02 / AS-08	10,57	5,03	24,93	52,0	0,12	176,2
PM-05 / AS-01	10,77	4,82	23,64	57,0	0,21	185,0
PM-06 / AS-07	9,74	5,77	24,34	72,0	0,11	87,8
PM-07 / AS-02	11,71	4,58	23,37	33,0	0,19	272,9
PM-08 / AS-09	10,43	5,00	25,56	31,0	0,10	245,3
PM-09 / AS-11	10,57	5,33	25,05	20,0	0,07	135,4
PM-11 / AS-06	10,27	4,88	24,27	22,0	0,10	175,1
PM-12/SVE-05 / AS-03	9,82	5,45	24,43	86,0	0,15	86,5
PM-13 / AS-16	8,42	4,77	24,74	75,0	0,03	250,6
PM-14 / AS-04	10,47	5,92	24,03	273,0	0,14	-11,4
PM-16 / AS-15	7,91	4,47	24,53	37,0	0,22	319,6
PM-17 / AS-13	8,985	4,66	23,97	2310,0	0,08	240,7
PM-18 / AS-14	8,44	4,64	23,68	582,0	0,05	279,1
PM-19 / AS-10	10,90	5,22	24,24	30,0	0,09	232,5
PB-01 / AS-05	10,20	5,42	24,62	211,0	0,14	63,5
PT-01 / AS-12	-	6,26	24,41	46,0	0,10	133,6
PT-02 / AS-17	-	6,12	23,32	196,0	0,32	115,3

(-): Não mensurado.

Fonte: Relatório CETESB 2010.

As amostras de água subterrânea coletadas apresentaram para o parâmetro BTEX concentrações detectáveis para pelo menos um dos compostos deste parâmetro na maior parte das amostras analisadas.

Os resultados analíticos para o composto Benzeno indicaram valores abaixo do limite de quantificação utilizado pelo laboratório em nove (09) das dezessete (17) amostras. (CETESB, 2010).

O poço PB-01/SVE-04, foi o ponto onde foram observadas as maiores concentrações para os compostos Benzeno (2154,7 µg/L), Tolueno (4043,2 µg/L), Etilbenzeno (214,9 µg/L) e Xilenos Totals (1424,0 µg/L).

As análises para o parâmetro PAH demonstraram concentrações acima do limite de quantificação utilizado pelo laboratório para ao menos um dos compostos em dez (10) dos dezessete (17) amostras coletadas. (CETESB, 2010).

Os resultados analíticos do composto Naftaleno indicaram como a maior concentração obtida 248,19 µg/L na amostra do poço PM-14.

Nas amostras coletadas nos dois (02) poços tubulares pare os parâmetros BTEX e PAH, apenas o composto Etilbenzeno ultrapassou os limites de quantificação do laboratório nos PT-01 (1.7 µg/L) e PT-02 (1,3 µg/L).

Os resultados analíticos das amostras coletadas nesta campanha comparados aos com os quatro resultados obtidos nas nove (09) amostras coletadas em dezembro de 2009 para avaliação da evolução do processo de remediação, para o parâmetro BTEX, observou-se decréscimo das concentrações em cinco (05) amostras, destacando-se o ponto PM-05 onde foi notado o maior decréscimo para o Benzeno (3446,0 µg/L para 175,7 µg/L. (CETESB, 2010).

Na comparação dos resultados para o composto Tolueno com a campanha anterior observou-se decréscimo em quatro pontos, destacando-se o PM-05 (4950,8 µg/L para 77,7 µg/L). Os resultados analíticos para o composto Etilbenzeno indicaram redução das concentrações em comparação com a de dezembro em cinco (05) das amostras comparadas, destacando a amostra do PM-05 com redução de 848,2 µg/L para 11,9 µg/L. Os compostos Xilenos quando comparados com a campanha anterior em oito (08) amostras com destaque para o PM-09 com concentração de 1883,7 µg/L em dezembro de 2009 e 107,4 µg/L em fevereiro de 2010.

Nos poços dentro da área de atuação do sistema pode ser observada redução nas concentrações na maioria dos compostos de interesse na atual campanha quando comparadas com as demais amostragens realizadas, destacando-se as reduções obtidas nos pontos PM-09 (2068,0 µg/L em maio de 2008 pare 2,3 µg/L em fevereiro de 2010) e o ponto PM-12/SVE-05 (4151,0 µg/L pare 29,4 µg/L), para o parâmetro Benzeno.

Os resultados analíticos das amostras de água subterrânea coletadas, quando comparados com os valores orientadores da CETESB demonstraram que em sete (07) das dezessete (17) amostras (PM-05 com 175,70 µg/L, PM-07 com 41,60 µg/L , PM-12 com 29,4 µg/L, PM-13 com 142,0 µg/L, PM-14 com 1807,00 µg/L

, PM-16 com 23,9 µg/Le PB-01 com 2154,70 µg/L) estes limites foram ultrapassados pare o composto Benzeno (5,0 µg/L).

Na comparação dos demais compostos do parâmetro BTEX com os valores orientadores da CETESB os pontos PM-14 e PB-01/SVE-04 foram os que obtiveram concentrações superiores aos estabelecidos pare o Tolueno com 1933,7 µg/Le 4043,2 respectivamente e para o composto Xilenos Totais 871,9 µg/Le 1424,0 µg/L simultaneamente. vale ressaltar que estes dois pontos estão no centro da área de atuação e que o poço PB-01/SVE-04 foi utilizado como poço de bombeamento.

A comparação dos resultados analíticos as amostras coletadas com os valores de SSTL calculados para a área referentes a via de exposição: inalação de vapores orgânicos provenientes da água subterrânea em ambientes fechados pelos receptores comerciais *on site* demonstraram que duas (02) das dezessete (17) amostras coletadas ultrapassaram os valores estabelecidos pare o composto Benzeno (510,0 µg/L), sendo estes os poços PM-14 (1807,0 µg/L) e o PB-01/SVE-04 (2154,7 µg/L).

Para o parâmetro PAH os resultados analíticos das amostras coletadas não ultrapassaram os valores calculados na analise de risco estabelecida pare o site em todos os compostos analisados.

De maneira geral, as concentrações obtidas nesta campanha de monitoramento analítico demonstraram redução das concentrações dos Compostos Químicos de Interesse (CQI) quando comparadas com os valores observados nas demais amostragens efetuadas (maio/08, jun/09, set/09 e dez/09), após a implantação do sistema de DPE, AS e SVE que atuava simultaneamente na área (Figura 34).

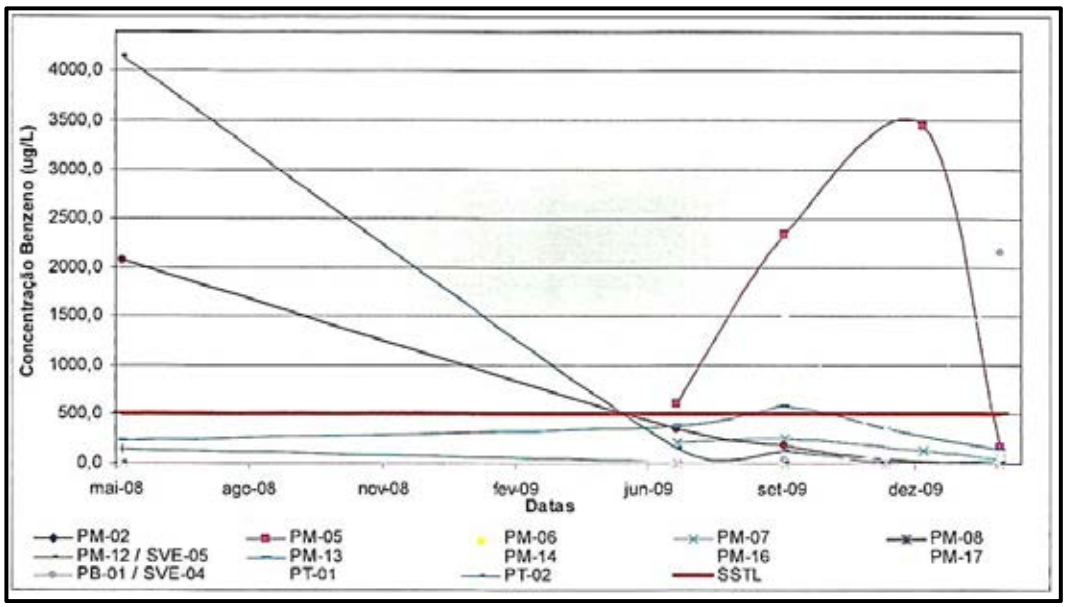


Figura 34: Evolução das Concentrações de Benzeno
Fonte: Relatório CETESB 2010.

Durante as visitas realizadas nos dias 11 a 13 de janeiro e 22 a 25 de fevereiro de 2010não foi observado indício de produto nas águas subterrâneas, seja pela presença de fase livre ou iridescência, a exceção do poço de monitoramento PM-14 onde foi observada iridescência na água no monitoramento realizado no dia 22 de fevereiro. Os valores de VOC obtidos com as leituras efetuadas nos poços indicaram valores nulos (0,0 ppm) para todos os poços monitorados com exceção da medições efetuadas nos poços PM-09 e PM-11 no dia 11 de janeiro e PM-14 no dia 22 de fevereiro de 2010.

Visando avaliar a qualidade do aquífero local com a interrupção da operação do sistema de remediação ambiental instalado no posto foram coletadas 17 amostras para analise dos parâmetros BTEX e PAH, os resultados analíticos indicaram que em duas (02) amostras (PM-14 e PB-01/SVE-04) o SSTL foi ultrapassado para o composto Benzeno.

Não foram ultrapassados os limites de quantificação utilizados pelo laboratório nas amostras coletadas nos dois (02) poços tubulares para os parâmetros BTEX e PAH, a exceção do composto Etilbenzeno detectado no PT-01 (1,7 µg/L) e PT-02 (1,3 µg/L).

Durante o período em que o sistema atuou no local as concentrações medias de Benzeno e demais compostos avaliados, bem como, a área da pluma em fase dissolvida demonstraram reduções (Figuras 35, 36,e,37).

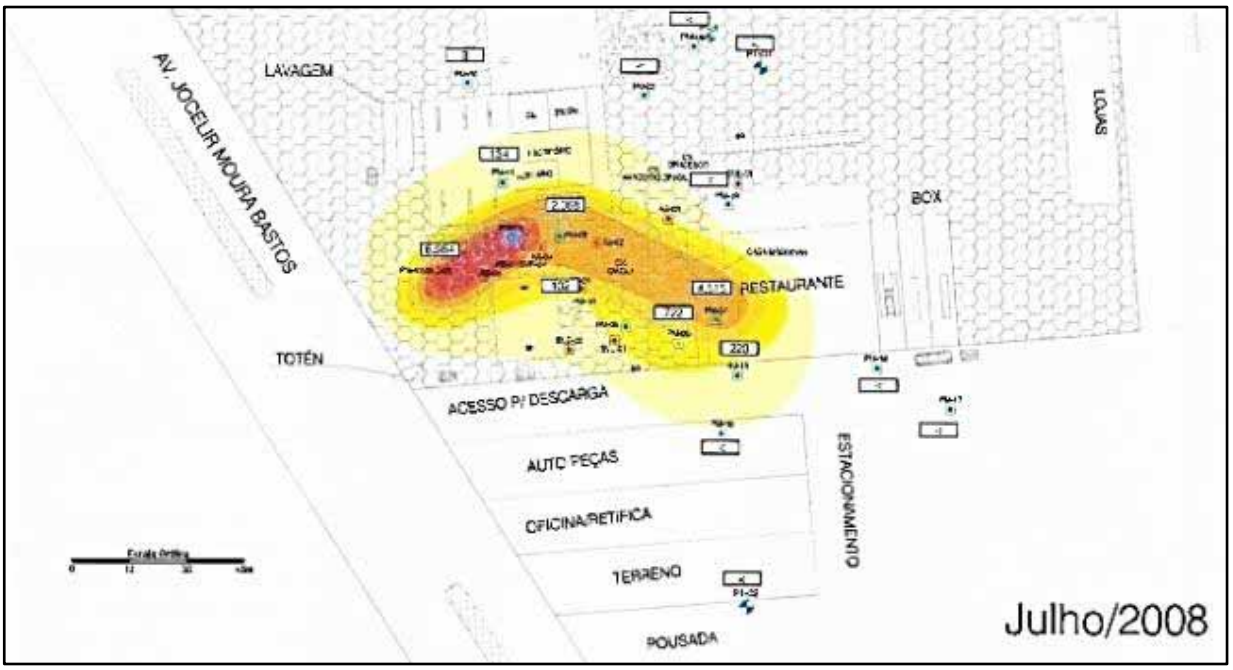


Figura 35: Evolução das Concentrações de Benzeno na Área
Fonte: Relatório CETESB 2010

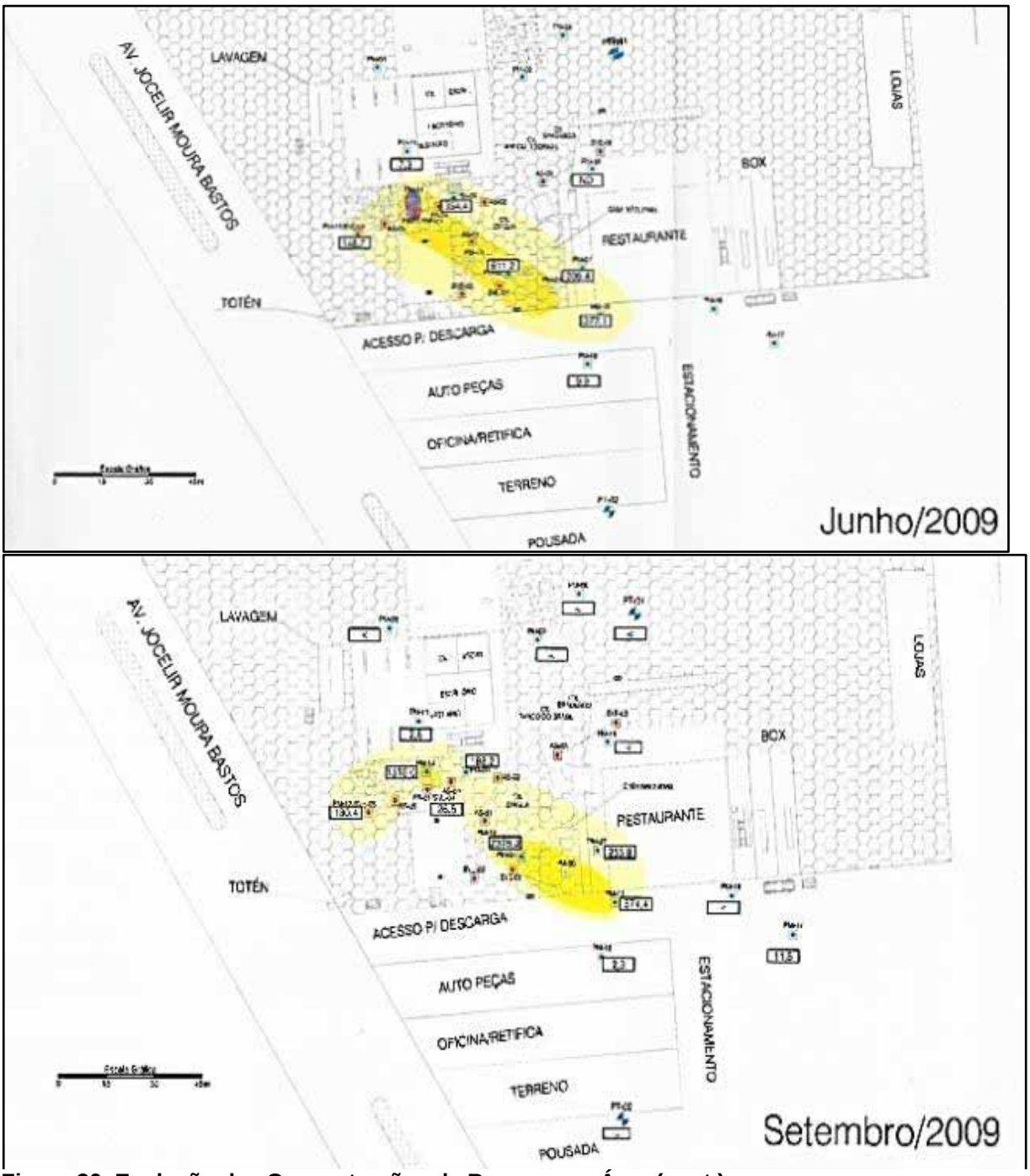
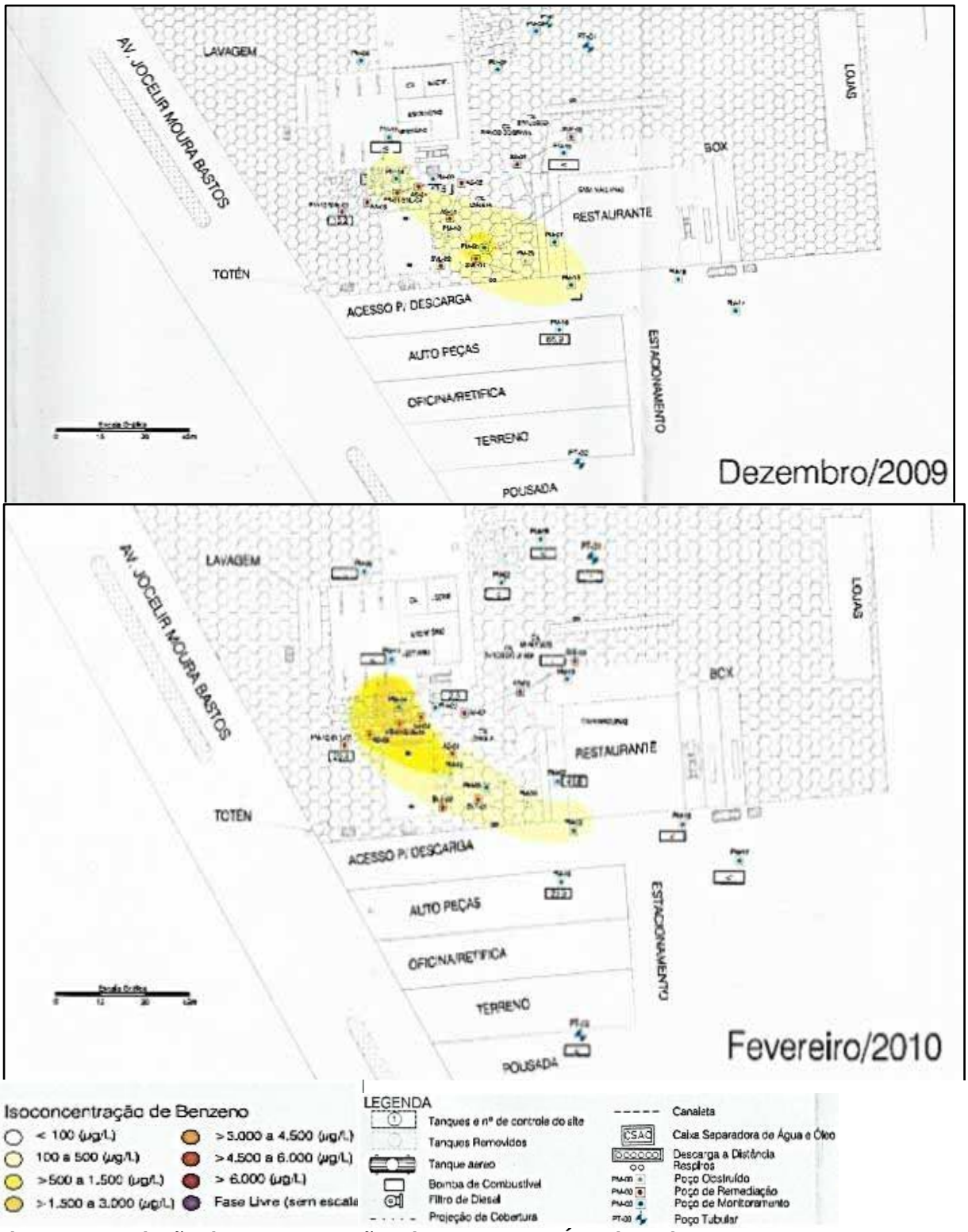


Figura 36: Evolução das Concentrações de Benzeno na Área (cont.)
Fonte: Relatório CETESB 2010



Isoconcentração de Benzeno

- < 100 (µg/L)
- 100 a 500 (µg/L)
- >500 a 1.500 (µg/L)
- >1.500 a 3.000 (µg/L)
- >3.000 a 4.500 (µg/L)
- >4.500 a 6.000 (µg/L)
- > 6.000 (µg/L)
- Fase Livre (sem escala

LEGENDA

- Tanques e nº de controle do site
- Tanques Removidos
- Tanque aéreo
- Bomba de Combustível
- Filtro de Diesel
- Projeção de Cobertura
- Canaleta
- CSAO Caixa Separadora de Água e Óleo
- Descarga a Distância
- Respiros
- Poço Obstruído
- Poço de Remediação
- Poço de Monitoramento
- Poço Tubular

Figura 37: Evolução das Concentrações de Benzeno na Área (cont.)
Fonte: Relatório CETESB 2010

No período de operação do sistema não houve extração de produto, não havendo assim operação de separação de contaminantes na Caixa Separadora.

De acordo com os resultados obtidos nesta campanha de monitoramento, a Empresa A recomendou a revisão do plano de remediação da área para a continuidade do processo ate que se atinjam as metas de remediação estabelecidas para o site.

Concomitantemente, a Empresa A recomendou a continuidade das campanhas de monitoramento analítico trimestral e semestral nos poços de monitoramento de bombeamento e tubulares da área e seu entorno.

Ressalta-se que para reavaliação do projeto e por decisão da Ipiranga Petróleo no dia 26 de janeiro 2010 o sistema de remediação foi desligado e no dia 25 de fevereiro o sistema da Empresa A foi desmobilizado.

6.2 POSTO 2

6.2.1 Resultados da Análise Investigativa

Em conformidade com as normas e procedimentos pertinentes, a empresa B encerrou as análises fornecendo importantes subsídios, tanto ao responsável legal, quanto ao órgão de controle ambiental (CETESB, 2007) para ações que auxiliam na tomada de decisões.

Com relação às características físicas, o solo local possui dois níveis distintos, sendo nível 1: Coloração Bruno-avermelhado, textura argilosa (45,4% a 51,8% de fração argila), homogêneo, do 1° ao 5° metro; nível 2: Coloração Vermelho-claro, textura siltosa a argilosa (29,8% a 46,7% de fração argila), heterogêneo, a partir do 5° metro. Apresentando uma porosidade média de 0,380 dm/dm^3 (38,0%), porosidade efetiva média de 0,285 dm/dm^3 (28,5%) e densidade média de 1,560 kg/dm3.

As análises químicas indicaram características distróficas para o substrato local, com Valor de Saturação por Bases Médio de 18,75%. O teor de carbono é baixo (média de 3,63 g/drn3). O nível de água dos poços apresentaram umaprofundidade média de 6,188 metros, com um direcionamento do fluxo, predominantemente, no sentido Sudoeste – Nordeste. (CETESB, 2012).

O estudo investigativo indicou uma pluma de contaminação em fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5 e quanto à possível

fonte primária para contaminação de fase livre indica-se os antigos tanques de armazenamento subterrâneo de diesel, dos quais um deles apresentou vazamento de combustível, sendo ambos os tanques removidos após tal constatação. A pluma de contaminação de fase livre encontra-se delimitada (fechada), visto que os poços de monitoramento instalados durante a Investigação Detalhada com o intuito de delimitar a pluma de contaminação, não apresentaram fase livre.

Diante de todas as informações e considerações apresentadas, a área do Posto 2, classifica-se como Área Contaminada (AC), conforme o Procedimento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2007).

6.2.2 Resultado da Remediação

O Posto 2., contratou a empresa B para realizar o processo de remediação de sua área, o qual teve início em outubro de 2011 com a visita técnica para instalação do Sistema de Remediação.

Os resultados obtidos foram coletados com base nas visitas técnicas realizadas em 20/09/2012 e 31/10/2012, bem como na visita para coleta de água em 01/10/2012.

A figura 38 apresenta alguns resultados obtidos em processos de remediação em solo e água subterrânea relacionando tempo e tipo de tratamento. (CETESB, 2012)

Local e/ou fonte	Sistema de remediação utilizado	Período e/ou tempo de remediação e ou monitoramento	Solo e/ou água subterrânea	Contaminantes presentes no solo e/ou água subt.	Extensão da pluma, Massa e/ou concentração obtida antes da remediação	Resultados obtidos após o período de remediação
Crescent City, EUA (FRTR, 2004)	Bombeamento e Air sparging	Remed: 1990 a 1997 Monit: 2003	Água subterrânea	VOC	40000 mg/l ext. pluma: 1115 m^2	DCP – 5000 mg/l ext. pluma: 465 m^2 monit. 2003: 2400 mg/l a 6600 mg/
Tacoma, EUA (FRTR, 2002)	Bombeamento e SVE	1988 a 2000	Solo e água subterrânea	VOC	PCA (17 a 300 g/l); DCE (30 a 100 g/l); TCE (54 a 130 g/l); PCE (1,6 a 5,4 g/l)	Remoção VOC: Bomb.: 6.800 kg SVE: 25 kg
South Hope EUA (FRTR, 2002)	Bombeamento/ Air stripping; SVE/AS e oxidação química	1996 a 2000	Solo e água subterrânea	VOC	TCE (84 g/l); TCA (73 g/l); 1,1-DCE (2,5 g/l); 1,1-DCA (12 mg/l) 1,1,1-TCA (74 mg/l)	Remoção VOC: SVE/AS e Bombeamento/Air stripping: 4.354 kg; Oxidação química: TCE: 89% 1,1 DCE: 47%
Iowa, EUA (EPA, 1998)	Bombeamento e Air stripping	1988 a 1996	Água subterrânea	VOC	Volume total de líquidos tratados: 18.500 m^3	Remoção da massa: 13.000 kg
Gresham, EUA (FRTR, 2004)	Bombeamento e SVE/AS	1991 a 2004	Solo e água subterrânea	VOC e LNAPL	Solo: PCE (0,09 mg/kg); TCE (5,5 mg/kg); 1,2-DCE (10 mg/kg); Água: PCE (920 mg/l); TCE (11000 mg/l); 1,2-DCE (13000mg/l).	Remoção da massa: 434 kg de VOC (sendo que 254 kg da água subterrânea, 171 kg do solo e 9 kg da pluma de LNAPL)
Eatesgate (FRTR, 2004)	SVE	1994 a 1996	Solo e água subterrânea	VOC	Benzeno (0,0017 mg/l) Tolueno (0,00063 mg/l)	Níveis de [ ] abaixo dos limites de detecção para ambos contaminantes

Figura 38: Comparação entre sistemas de remediação
Fonte: Adaptado de Abdanur (2005).

De acordo com a figura, o tempo recorrente das remediações apresenta duração média de 10 anos representando situações de tratamento de grandes volumes de contaminantes do solo e da água subterrânea. No entanto, como descrito anteriormente, o tempo é bastante variável devido à complexidade de fatores que envolvem esse processo. Existem meios de acelerar o processo de remediação em áreas contaminadas, porém muitas vezes isso se torna, economicamente inviável ou os métodos de tratamento são muito agressivos com utilização de produtos que oferecem risco ao ambiente ou aos trabalhadores que os manipulam. (CETESB, 2012).

6.2.2.1 Período 01 – outubro de 2010 a janeiro de 2012

Os resultados a seguir baseiam-se nas visitas técnicas realizadas em 12/10/2011, 07/12/2011 e 12/01/2012.

A fase livre foi detectada inicialmente durante o estudo de Investigação Confirmatória no poço de monitoramento PM1 (16,0 cm). Em 2011, durante a

realização de uma nova Investigação Detalhada foi identificada a presença de fase livre em PM1 (0,8 cm), PM2 (9,0 cm), PM3 (1,2 cm) e PM5 (51,9 cm), a qual deixou de ser detectada nos poços de monitoramento PM2 e PM5 desde a visita técnica de dezembro de 2011 (Tabela 40).

Tabela 40: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento

Data	Quantidade de fase livre (cm)			
	PM1	PM2	PM3	PM5
Investigação Detalhada (Empresa B - 2010	16,0	0,0	0,0	0,0
Investigação Detalhada Empresa B - 2011	0,8	9,0	1,2	51,9
12/10/2011	N.R	20,6	N.R	49,9
07/12/2011	0,1	0,0	2,7	0,0
12/01/2012	15,7	0,0	1,4	0,0
26/03/2012	0,0	0,0	3,9	0,0
15/05/2012	0,0	0,0	3,0	1,0
26/06/2012	0,0	0,0	1,5	0,0
07/08/2012	0,0	0,0	0,0	0,0
20/09/2012	0,0	0,0	0,0	0,0
31/10/2012	0,1	0,0	0,0	0,0

N.R: Não realizado.

Fonte: Relatório CETESB, 2012

Como a maior porção do município de Itaí encontra-se sobre o aquífero Guarani, o qual apresenta condições hidrogeológicas homogêneas, e regionalmente livres na sua porção aflorante, a dominantemente confinada, as faixas de vazão explorável para o aquífero em questão foram determinadas a partir de um conjunto de 111 poços selecionados, os quais apresentaram variações de 20 a 40 m3/h e de 40 a 80 m3/h, no sistema livre; e de 80 a 120 m^3/h, 120 a 250 m^3/h e 250 a 360 m^3/h, no sistema confinado (IPT, 2005).

Durante as visitas técnicas foram realizados testes de vazão nos poços bombeados, a fim de obter informações sobre o volume de efluente direcionado para Estação de Tratamento. Através da tabela 41, é possível observar as Medições dos testes de vazão de cada poço de monitoramento bombeado, para o período em

questão. Ressalta-se que não fora realizado o teste de vazão durante a visita técnica em 12/10/2011, em função de a mesma ter tido como objetivo a instalação do Sistema de Remediação. (CETESB, 2012)

Tabela 41: Resultado dos testes de vazão dos poços bombeados

Data	Vazão dos poços bombeados em L/h		
	PM2	PM5	PI6
07/12/2011	30,0	40,0	30,0
12/01/2012	44,0	48,0	37,0

Fonte: Relatório CETESB, 2012

Os parâmetros físico-químicos foram medidos em amostras de água coletadas na entrada e na saída da Estação de Tratamento RT durante as visitas técnicas realizadas no período (tabela 42). Para o Sistema aquífero Guarani, as características hidráulicas geralmente apresentam valores de condutividade hidráulica médio de 2,6 m/dia para a área confinada e 3,0 m/dia para a área livre. Os valores de transmissividade são de aproximadamente 260 m2/dia na área aflorante, aumentando progressivamente ate atingir valores superiores a 1200 m2/dia na área confinada. (CETESB, 2012).

Quanto as características químicas, as águas subterrâneas são consideradas bicarbonatadas cálcicas, com pH variando entre 5,4 e 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/L, na área aflorante. Na área confinada, o pH varia entre 6,3 a 9,8 e a salinidade de 50 a 500 mg/L (Campos, 1993 apud IPT, 2005).

Tabela 42: Média dos parâmetros físico-químicos na Estação de Tratamento

Parâmetros físico químicos		Valor médio
pH	Entrada ET- Empresa B	5,53
	Saída ET- Empresa B	5,61
Condutividade µS	Entrada ET- Empresa B	86,00
	Saída ET- Empresa B	65,00
Temperatura °C	Entrada ET- Empresa B	23,60
	Saída ET- Empresa	22,70

Fonte: Relatório CETESB, 2012

Durante as visitas técnicas realizadas, foram medidos os níveis de água dos poços de monitoramento para desta forma, registrar as variações durante o período.

A figura 39 apresenta os valores medidos nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, nos poços de monitoramento.

Figura 39: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento
Fonte: Relatório CETESB, 2012

Os valores de nível de água dos poços de monitoramento foram comparados com os dados meteorológicos do município de Avaré — SP, devido à proximidade com o município de Itaí. (figura 40). Comparando-se as figuras, nota-se que houve correlação positiva em relação aos valores pluviométricos, já que houve uma diminuição do nível de água entre os meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, período no qual houve um aumento na precipitação da região. (CETESB, 2012).

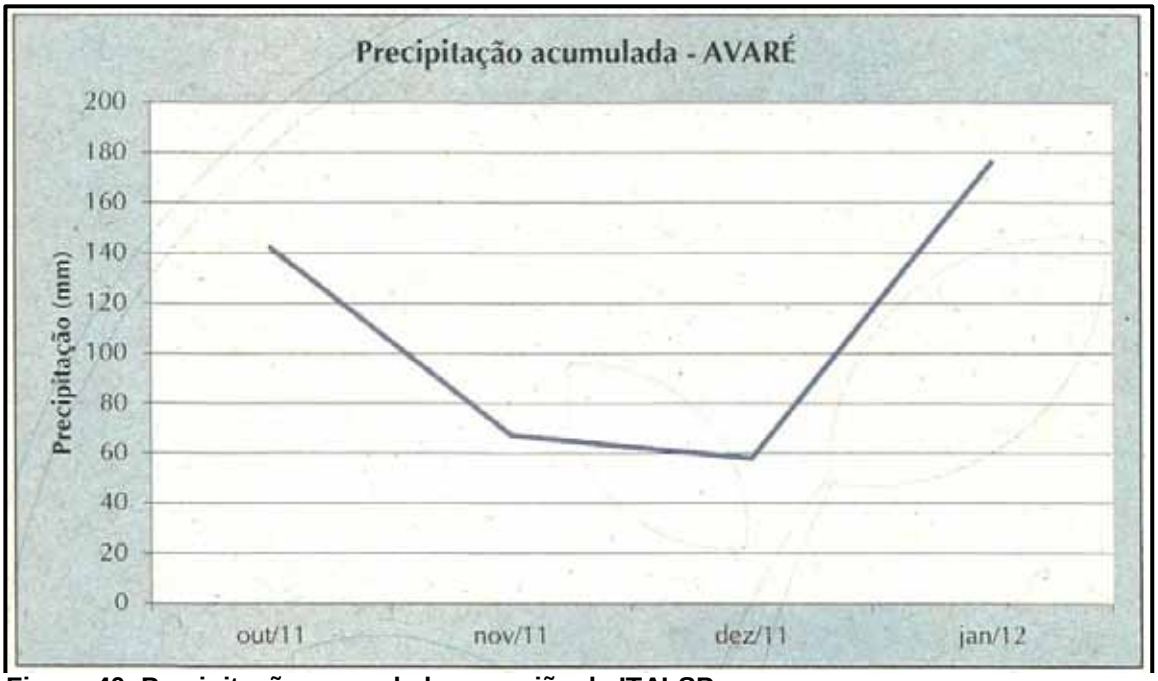


Figura 40: Precipitação acumulada na região de ITAI-SP
Fonte: Relatório CETESB, 2012

Em função da fase livre que vem sendo detectada no local, até o momento não foi realizada a primeira campanha de amostragem de água nos poços de monitoramento.

Pode-se observar que nas medições realizadas durante a visita técnica de 7/12/2011, a fase livre deixou de ser identificada nos poços de monitoramento PM2 e PM5, os quais apresentaram redução de 100% da quantidade inicial.

Quanto ao poço de monitoramento PM3, pode-se observar que houve uma redução de 48,15% da quantidade de fase livre quando compara-se a quantidade obtida na ocasião da visita técnica de 07/12/2011 com a quantidade identificada durante a visita técnica de 12/01/2012. (CETESB, 2012).

Em relação ao poço de monitoramento PM1, houve um aumento na quantidade de fase livre apresentada durante a visita técnica de 12/01/2012, o qual ocorreu em função do bombeamento da água subterrânea para a área de interesse através do bombeamento do poço de monitoramento P16, conforme apresentado na figura 41. (CETESB, 2012).

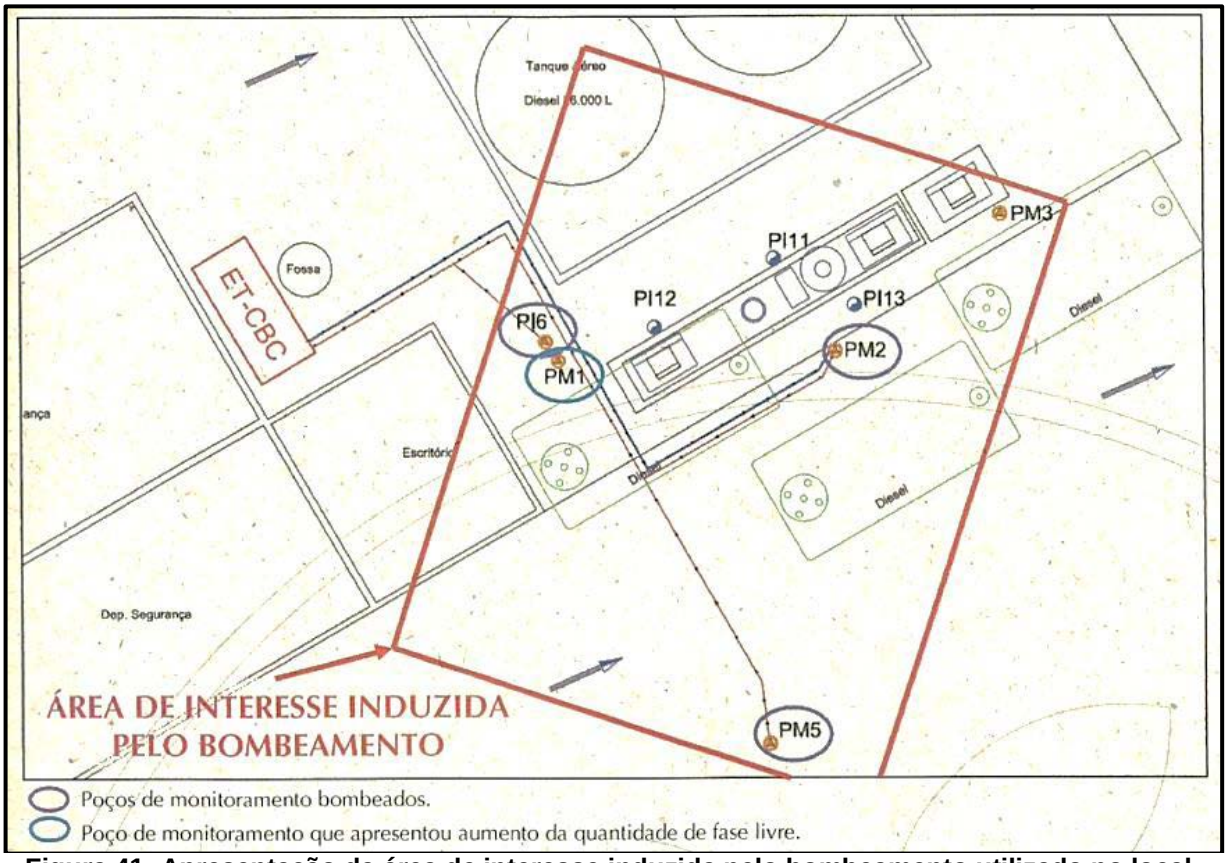


Figura 41: Apresentação da área de interesse induzida pelo bombeamento utilizado no local
Fonte: Relatório CETESB, 2012

Deve-se evitar a ocorrência de vazamentos de combustível durante as atividades de abastecimento dos tanques de armazenamento de combustível e abastecimento de veículos como mostra a figura 42, impedindo dessa forma que haja uma fonte de contaminação externa que realimente a contaminação já existente no local, o que postergará o processo remediatório da área. (CETESB, 2012).

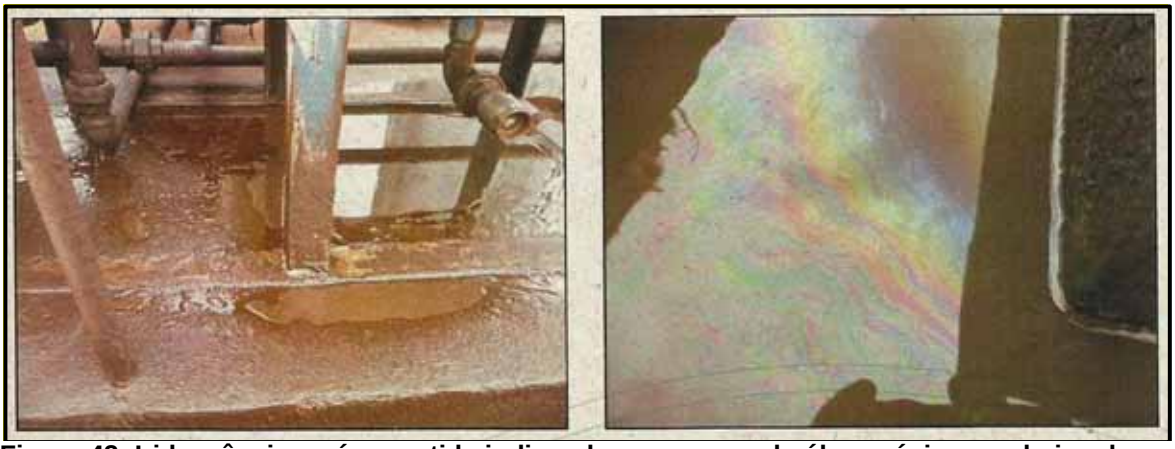


Figura 42: Iridescência na água retida indicando a presença de óleo próxima em baixo da bomba de abastecimento de diesel
Fonte: Relatório CETESB, 2012

A meta do Sistema de Remediação da Empresa B é a remoção da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5 durante a Investigação Detalhada.

Nesse momento, os poços de monitoramento PM2 e PM5 atingiram a Meta de remediação inicial visto que não apresentaram fase livre desde a visita técnica de 07/12/2011. Entretanto, os poços de monitoramento PM1 e PM3 não atingiram a meta de remediação inicial. (CETESB, 2012).

De acordo com as informações aqui transmitidas, é possível concluir que, com relação à eficiência do Sistema de Remediação ET-RT pode-se afirmar que se obteve um resultado positivo. Houve redução de 100% da quantidade de fase livre inicial para os poços de monitoramento PM2 e PM5, bem como, de 48,15% para o poço de monitoramento PM3, quando se compara a quantidade obtida na ocasião da visita técnica de 07/12/2011 com a quantidade identificada durante a visita técnica de 12/01/2012. Além disso, ocorreu o deslocamento da fase livre para a área de interesse através do bombeamento dos poços de monitoramento PM2, PM5 e P16.

E, quanto às metas de remediação, é importante ressaltar que esta é a remoção completa da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5 durante. a Investigação Detalhada da área a qual fora atingida para os poços de monitoramento PM2 e PM5 na ocasião da visita técnica realizada em 07/12/2011

Com relação à verificação da existência de uma possível fase dissolvida remanescente, a coleta de água nos poços de monitoramento, referente ao processo de remediação, acontecerá quando for constatada a ausência total de fase livre na área. Portanto, conforme estabelecido em cronograma, a área da empresa Posto 2 continua em processo de remediação até que se atinjam as metas de remediação pré-estabelecidas para a área. (CETESB, 2012).

6.2.2.2 Período 02 – março de 2012

Os resultados compreendem os obtidos nas visitas técnicas realizadas em 06/03/2012 e 26/03/2012.

A fase livre fora detectada inicialmente durante o estudo de Investigação Confirmatória sendo detectada também no estudo de Investigação Detalhada no poço de monitoramento PM1 (16,0 cm). (CETESB, 2012)

Em 2011, durante a realização de nova Investigação Detalhada foi identificada a presença de fase livre em PM1 (0,8 cm), PM2 (9,0 cm), PM3 (1,2 cm) e PM5 (51,9 CM), a qual deixou de ser detectada nos poços de monitoramento PM2 e PM 5 desde a visita técnica de dezembro de 2011. Na última visita técnica realizada em marco de 2012 foi identificada fase livre somente em PM3 (3,9 cm).

Através dos dados colhidos durante as visitas técnicas pode-se estimar que desde a instalação do Sistema de Remediação até março de 2012 foram tratados, aproximadamente, 287,280 m3 de efluente (287.280,00 litros).(CETESB, 2012)

Os parâmetros físico-químicos foram medidos em amostras de água coletadas na entrada e na saída da Estação de Tratamento RT durante a visita técnica de 26/03/2012 (Tabela 43). Não foram realizadas as medições dos parâmetros físico químicos na visita de 06/03/2012 em virtude de a mesma ter ocorrido somente, para manutenção de equipamentos e aplicação de produto nos poços de monitoramento.

Tabela 43: Valores dos parâmetros físico químicos na Estação de Tratamento

Parâmetros físico químicos		Valores
pH	Entrada ET- Empresa B	6,92
	Saída ET- Empresa B	7,93
Condutividade µS	Entrada ET- Empresa B	197,00
	Saída ET- Empresa B	157,00
Temperatura °C	Entrada ET- Empresa B	29,50
	Saída ET- Empresa B	26,90

Fonte: Relatório CETESB, 2012

Durante as visitas técnicas realizadas, foram medidos os níveis de água dos poços de monitoramento para desta forma, registrar as variações durante o período. Na figura 43 encontram-se os valores medidos nos meses de dezembro de 2011/ a marco de 2012, nos poços de monitoramento. (CETESB, 2012).

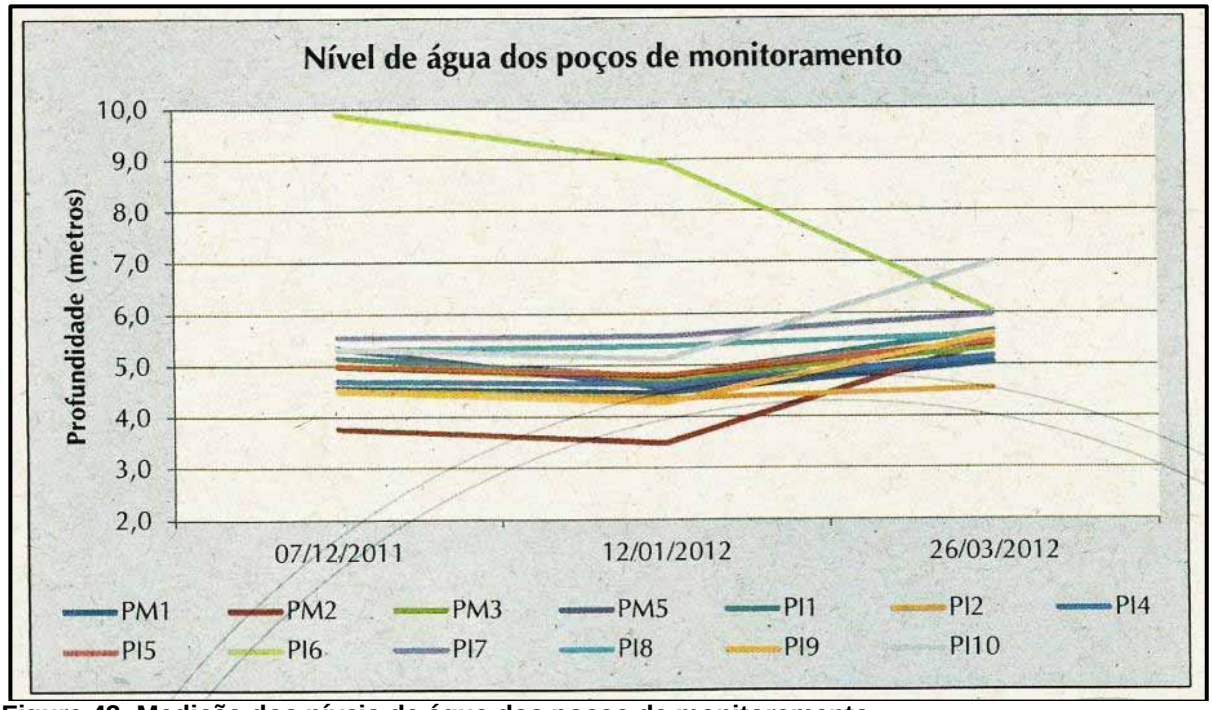


Figura 43: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento.
Fonte: Relatório CETESB, 2012

Em função da variação existente nos valores de precipitação acumulada para a região de Itaí os poços de monitoramento de uma maneira geral apresentaram correlação positiva em relação aos valores pluviométricos, já que em relação a dezembro de 2011 o mês de janeiro de 2012 apresentou um aumento enquanto que os níveis de água dos poços de monitoramento diminuíram. Já para os meses de janeiro e março de 2012, período no qual houve diminuição da precipitação da região, pode-se observar um aumento no nível de água de todos os poços de monitoramento, com exceção de PI6 (figura 44).

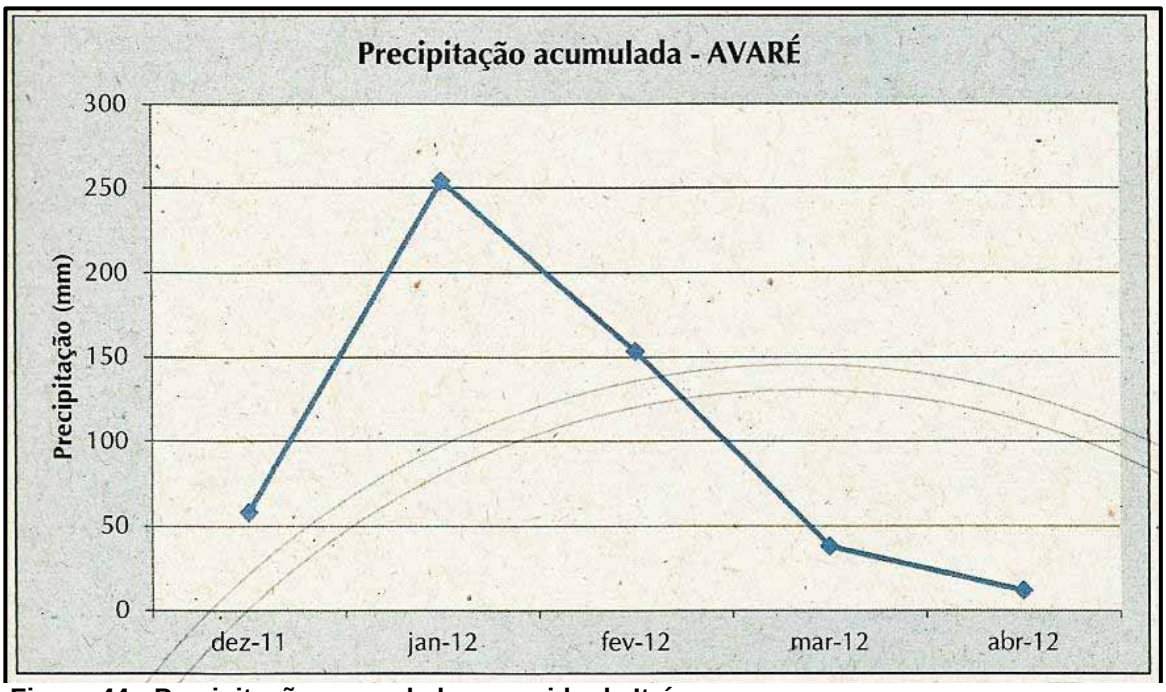


Figura 44:: Precipitação acumulada na regido de Itaí.
Fonte: Relatório CETESB, 2012

Em função da fase livre que vem sendo detectada no local, ate este momento não havia sido realizada a primeira campanha de amostragem de água nos poços de monitoramento.

Em dezembro de 2011 a fase livre não foi mais detectada nos poços de monitoramento PM2 e PM5, bem como, nas medições realizadas durante a última visita técnica de 26/03/2012, a fase livre deixou de ser identificada no poço de monitoramento PM1, representando uma redução de 100% da quantidade inicial nos referidos poços. (CETESB, 2012).

Quanto ao poço de monitoramento PM3, pode-se observar que houve um pequeno aumento da quantidade de fase livre. Entretanto tal fato se deve aos mecanismos de migração dos contaminantes com o deslocamento da pluma de contaminação na direção do sentido do fluxo, e as variáveis dos níveis de água, os quais apresentaram os maiores valores nas Medições realizadas no mês de março de 2012, período em que foi detectado o aumento da espessura da fase livre em PM3. (CETESB, 2012).

A figura 45 ilustra a pluma de contaminação em períodos distintos na área do Posto 2 A primeira imagem é referente a agosto de 2011 quando foi realizado o estudo de Investigação Detalhada, a segunda imagem ilustra a situação da contaminação em janeiro de 2012 (aproximadamente 03 meses após o inicio do

processo de remediação) e a terceira imagem representa a situação atual embasada nas Medições de fase livre realizadas durante a última visita técnica em 26/03/2012.

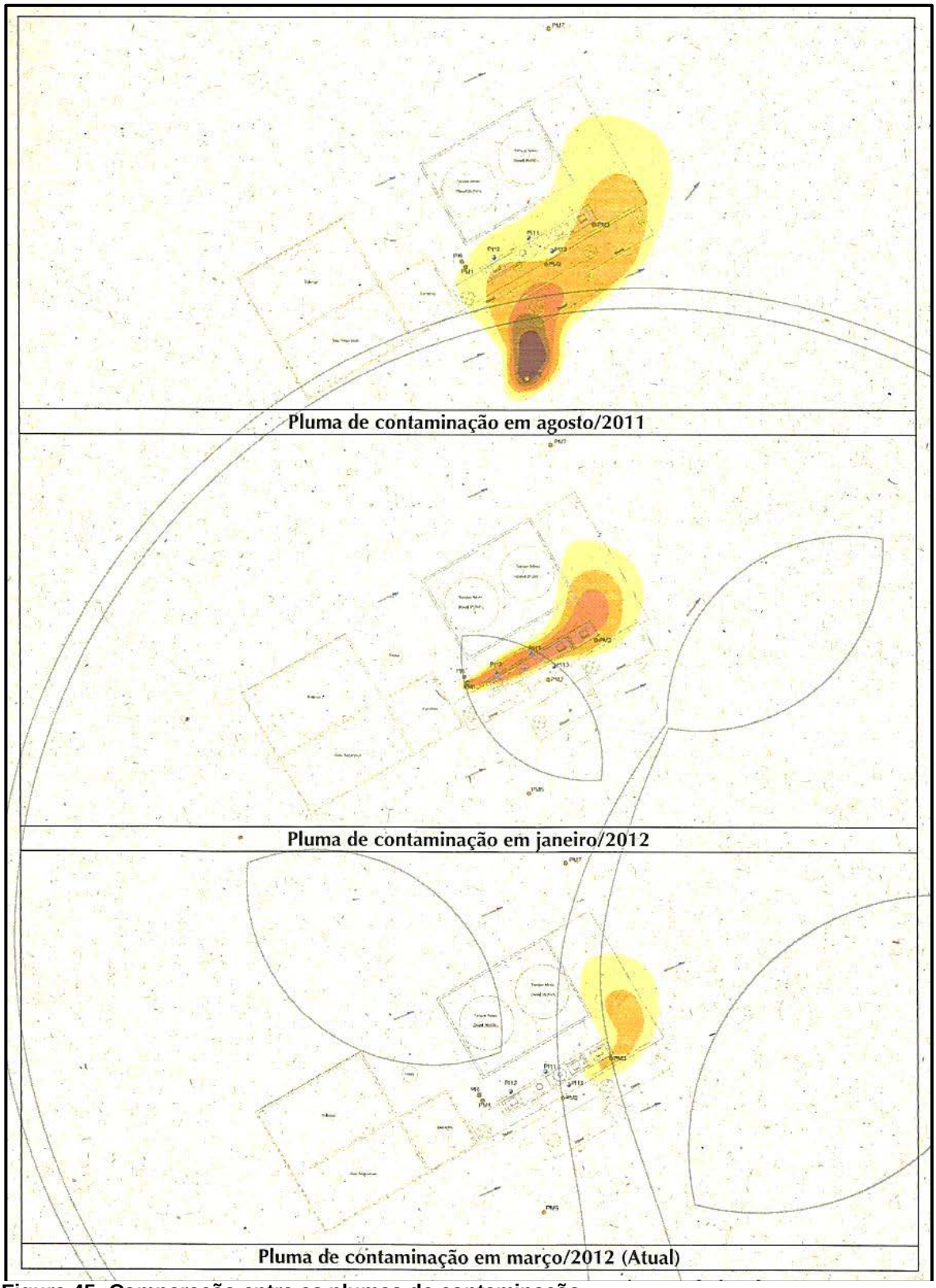


Figura 45: Comparação entre as plumas de contaminação
Fonte: Relatório CETESB, 2012

Como pode ser observado na figura 45, houve uma redução significativa da quantidade de fase livre detectada inicialmente nos poços de monitoramento PM-I, PM2 e PM5, os quais apresentaram ausência total da mesma, representando uma redução de 100%. Ressalta-se que a fase livre está concentrada somente no poço de monitoramento PM3. (CETESB, 2012).

A meta do Sistema de Remediação é a remoção da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5 durante a Investigação Detalhada. Neste momento, os poços, de monitoramento PM1, PM2 e PM5 atingiram a metade remediação inicial, visto que não apresentam mais fase livre. Entretanto, o poço de monitoramento PM3 apresentou 3,9 cm de espessura de fase livre, não atingindo a meta de remediação inicial. Após atingida a meta de remediação estabelecida para o local foi realizada uma campanha de amostragem de água nos poços de monitoramento com a finalidade de verificar a existência de uma possível fase dissolvida remanescente e, caso esta fosse detectada, seriam estabelecidas novas metas de remediação, baseadas nos valores de CMA's, estabelecidas através da Decisão de Diretoria n° 263-2009-P a qual é obtida através das distâncias entre os Hot Spots para cada parâmetro acima do Valor de Intervenção da CETESB (2005) e os receptores comercial e residencial mais próximos.(CETESB, 2012)

Dessa forma, é possível concluir que, com relação à eficiência do Sistema de Remediação ET-RT pode-se afirmar que obteve-se um resultado positivo, já que houve redução de 100% da quantidade de fase livre inicial para os poços de monitoramento PM1, PM2 e PM5. Já o poço de monitoramento PM3 apresentou um pequeno aumento da quantidade de fase livre devido à remobilização da fase residual para fase livre no período de baixa pluviosidade com conseqüente aumento do nível de água do referido poço.

E, quanto às metas de remediação, esta é a remoção completa da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5 durante a Investigação Detalhada da área (Empresa B, 2011), a qual foi atingida para os poços de monitoramento PM2 e PM5 na ocasião da visita técnica realizada em 07/12/2011 e PM1 em 26/03/2012. Com relação à verificação da existência de uma possível fase dissolvida remanescente, a coleta de água nos poços de monitoramento, referente ao processo de remediação, acontece somente quando é constatada a ausência total de fase livre na área. Portanto, conforme estabelecido em cronograma, a área

da empresa Posto 2 continuou em processo de remediação até que fossem atingidas as metas de remediação pré-estabelecidas para a área. (CETESB, 2012).

6.2.2.3 Período 03 – maio a agosto de 2012

Os resultados aqui apresentados referem-se às visitas técnicas realizadas em 15/05/2012, 26/06/20T2 e 07/08/2012.

A primeira campanha de amostragem de água dos poços de monitoramento não havia sido realizada ate o momento, em função da fase livre que vinha sendo identificada no local, a qual não foi mais detectada na última visita técnica realizada em 07/08/2012. Sendo assim, a partir do momento em que ocorreu a completa remoção da fase livre, foi programada uma coleta de água nos poços de monitoramento para verificar a existência e o comportamento de uma possível fase dissolvida remanescente. (CETESB, 2012).

A fase livre foi detectada no poço de monitoramento PM1 (16,0 cm) inicialmente durante o estudo de Investigação Confirmatória e detectada também no estudo de Investigação Detalhada pela Empresa B. Em 2011, durante a realização de uma nova Investigação Detalha foi identificada a presença de fase livre em PM1 (0,8 cm), PM2 (9,0 cm), PM3 (1,2 cm) e PM5 (51,9 cm), sendo que a mesma não foi mais detectada em PM2 desde dezembro de 2011, em PM1 desde março de 2012, e em PM5 desde - junho de 2012. O poço de monitoramento PM3 deixou de apresentar fase livre na última visita técnica realizada em agosto de 2012 (tabela 44).

Tabela 44: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.

Data	Quantidade de fase livre (cm)			
	PM1	PM2	PM3	PM5
Investigação Detalhada feita pela Empresa B em 2010	16,0	0,0	0,0	0,0
Investigação Detalhada feita pela Empresa B em 2011	0,8	9,0	1,2	51,9
12/10/2011	N.R	20,6	N.R	49,9
07/12/2011	0,1	0,0	2,7	0,0
12/01/2012	15,7	0,0	1,4	0,0
26/03/2012	0,0	0,0	3,9	0,0
15/05/2012	0,0	0,0	3,0	1,0
26/06/2012	0,0	0,0	1,5	0,0
07/08/2012	0,0	0,0	0,0	0,0

N.R: Não realizado.

Fonte: Relatório CETESB 2012

A Empresa B acompanha o volume do efluente que é direcionado à Estação de Tratamento através dos testes de vazão realizados durante as visitas técnicas nos poços de monitoramento bombeados.

Em períodos de intensa pluviosidade existe uma tendência da pluma de contaminação sofrer contração e transferência da fase- livre para fase residual. Já nos períodos de precipitação menos intensa, a tendência é de expansão da pluma de contaminação e transferência de fase residual- para fase livre. Essa condição explica as mudanças de fase da pluma bem como a concentração dos contaminantes avaliados através das coletas de água nos poços de monitoramento.

Os parâmetros físico-químicos foram medidos em amostras de água coletadas na entrada e na saída da Estação de Tratamento Empresa B durante as visitas técnicas realizadas no período (tabela 45). Para o Sistema aquífero Guarani, as características hidráulicas geralmente apresentam valores de condutividade hidráulica médio de 2,6 m/dia para a área confinada e 3,0 m/dia para a área livre.

Os valores de transmissividade são de aproximadamente 260 m^2/dia na área aflorante, aumentando progressivamente até atingir valores superiores a 1200 m^2/dia na área confinada. Quanto às características químicas, as águas subterrâneas são consideradas bicarbonatadas cálcicas, com pH variando entre 5,4 e 9,2 e salinidade

inferior a 50 mg/L, na área aflorante. Na área confinada, o pH varia entre 6,3 a 9,8 e a salinidade de 50 a 500 mg/L. (CETESB, 2012).

Tabela 45: Média dos parâmetros físico químicos na Estação de Tratamento

Parâmetros físico químicos		Valor médio
pH	Entrada ET- Empresa B	5,31
	Saída ET- Empresa B	5,32
Condutividade µS	Entrada ET- Empresa B	81,33
	Saída ET- Empresa B	58,00
Oxigênio dissolvido mg L^{-1}	Entrada ET- Empresa B	5,27
	Saída ET- Empresa B	5,23
Temperatura °C	Entrada ET- Empresa B	17,10
	Saída ET- Empresa B	16,53

Fonte: Relatório CETESB 2012

Durante as visitas técnicas realizadas, foram medidos os níveis de água dos 7 poços de monitoramento para desta forma, registrar as variações durante o período. A figura 46 apresenta os valores obtidos do NA nos meses de maio, junho e agosto de 2012, nos poços de monitoramento.

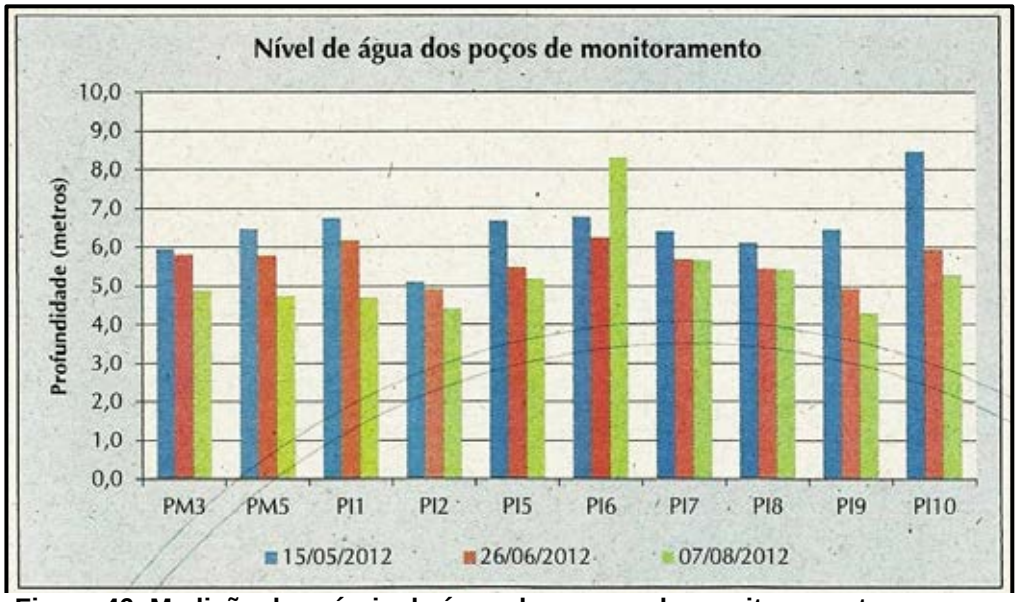


Figura 46: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento.
Fonte: Relatório CETESB 2012

Os valores de nível de água dos poços de monitoramento foram comparados com os dados meteorológicos do município de Avaré — SP (Figura 47), devido à proximidade com o município de Itaí. Comparando-se as figuras nota-se que, em

função da variação existente nos valores de precipitação acumulada para a região de Itaí, os poços de monitoramento apresentaram correlação positiva em relação aos valores pluviométricos registrados entre os meses de maio é junho de 2012, período no qual houve aumento significativo da precipitação da região, tendo o nível de água dos poços de monitoramento diminuído. Já, na visita técnica realizada em agosto de 2012 foram registrados níveis de água menores (exceto em P16), não apresentando, portanto, uma correlação positiva com os valores pluviométricos, já que a precipitação sofreu declínio no período considerado.

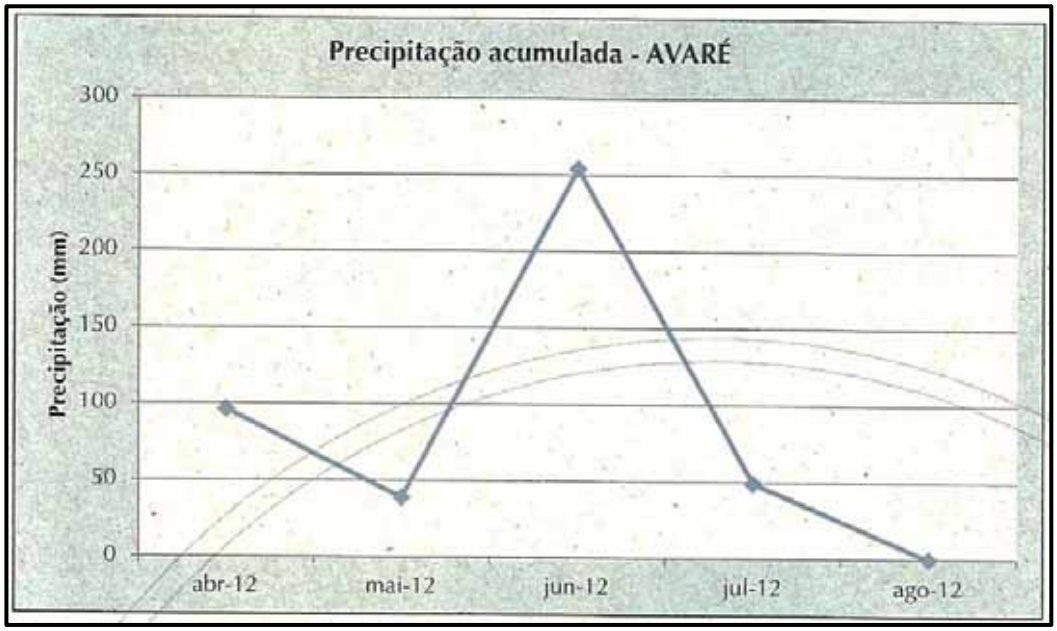
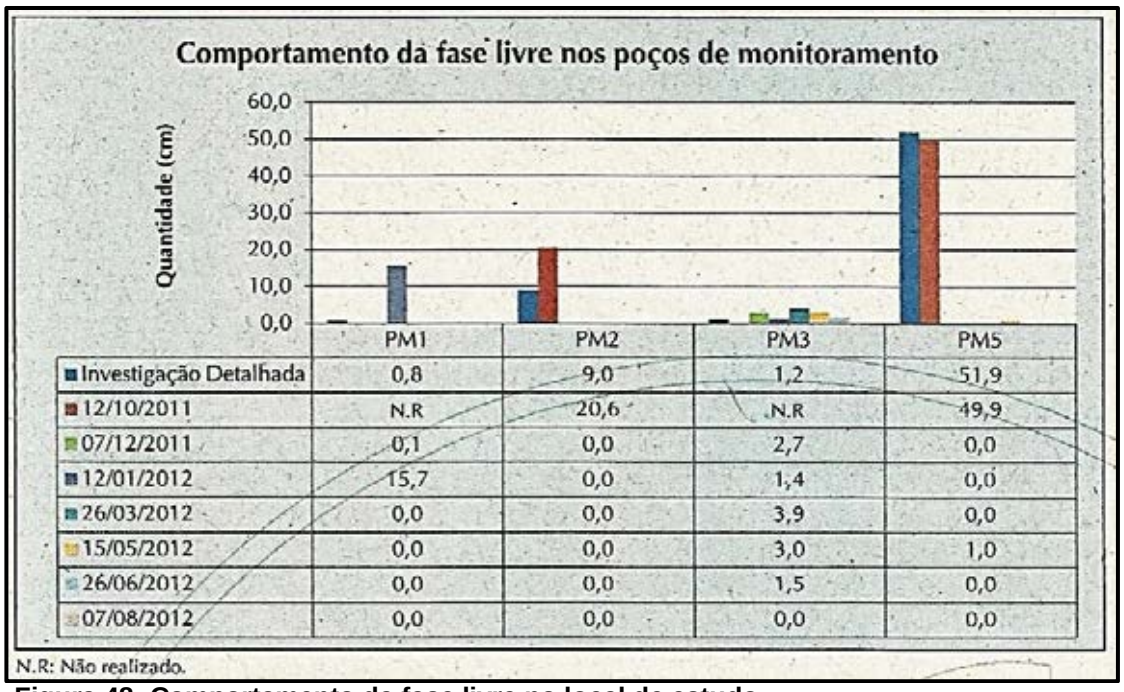


Figura 47: Precipitação acumulada na região de Itai-SP
Fonte: Relatório CETESB 2012

A figura 48 apresenta o comportamento da fase livre nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5, desde o inicio do estudo de Investigação Detalhada até a data da última visita técnica. Pode-se observar que nas Medições realizadas durante a última visita técnica, a fase livre deixou de ser identificada em todos os poços de monitoramento, os quais apresentaram redução de 100% da quantidade inicial. Contudo, vale ressaltar que o comportamento dos contaminantes em água subterrâneas é diretamente influenciado pelas características hidrogeológicas do local, bem como, pelas variações sazonais. Portanto, em função do contínuo bombeamento que esta sendo realizado nos poços de monitoramento

da área, ainda podem ocorrer deslocamentos de eventuais bolsões de fase livre para a área de interesse.



	PM1	PM2	PM3	PM5
Investigação Detalhada	0,8	9,0	1,2	51,9
12/10/2011	N.R	20,6	N.R	49,9
07/12/2011	0,1	0,0	2,7	0,0
12/01/2012	15,7	0,0	1,4	0,0
26/03/2012	0,0	0,0	3,9	0,0
15/05/2012	0,0	0,0	3,0	1,0
26/06/2012	0,0	0,0	1,5	0,0
07/08/2012	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 48: Comportamento da fase livre no local de estudo.
Fonte: Relatório CETESB 2012

A figura 49 ilustra a pluma de contaminação de fase livre na área do Posto 2 em períodos distintos, desde a Investigação Detalha até a situação constatada na Ultima visita técnica (agosto de 2012), na qual não fora detectada presença de fase livre. Pode-se observar através da comparação da área de abrangência da pluma, bem como, da concentração da mesma, a eficiência constante do tratamento na área.

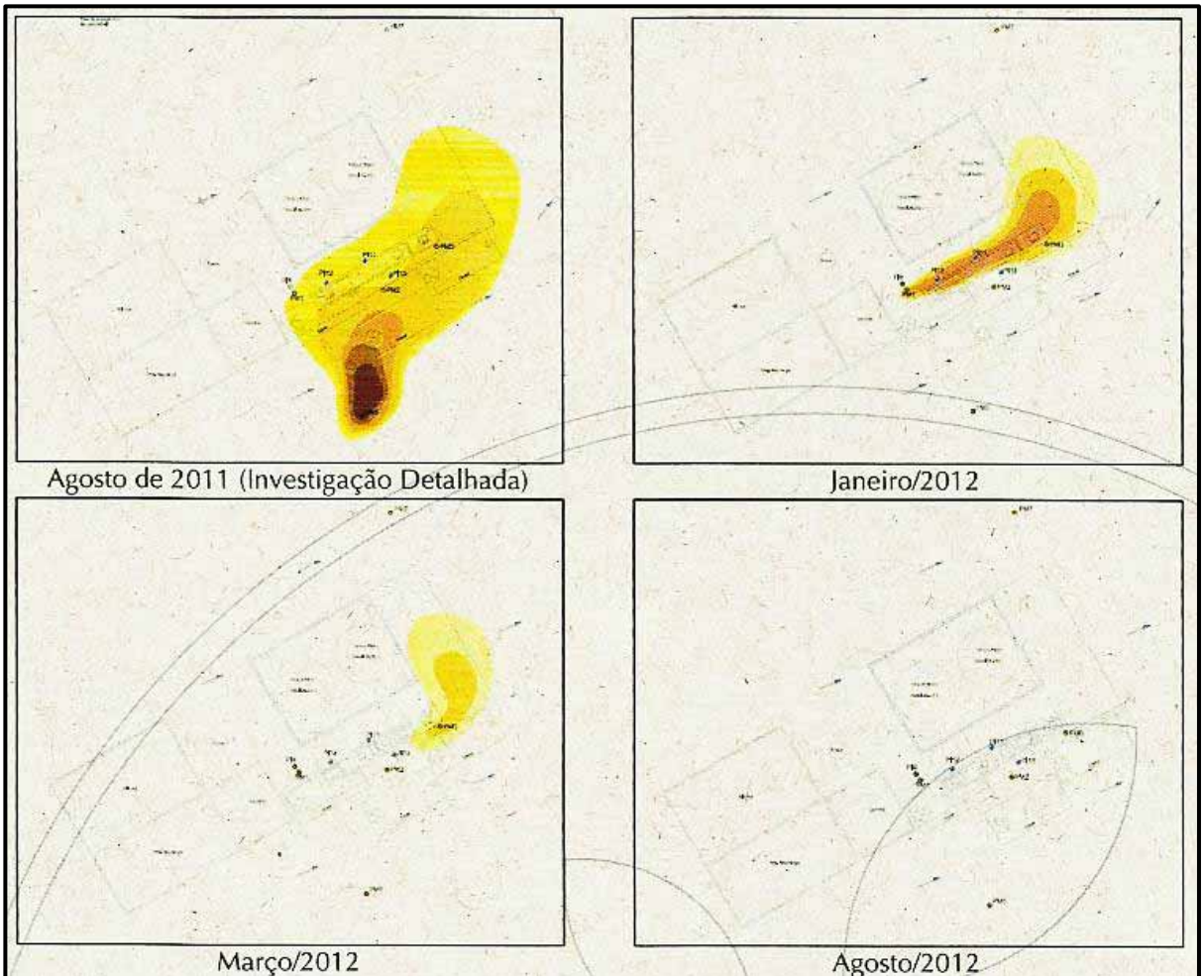


Figura 49: Comparação entre as plumas de contaminação do local
Fonte: Relatório CETESB 2012

A meta inicial do Sistema de Remediação efetuado Empresa B é a remoção da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM13 e PM5 durante a Investigação Detalhada.

No momento em que todos os poços de monitoramento atingiram a meta de Remediação inicial, visto que não apresentaram fase livre na última visita técnica realizada em 07/08/2012. Sendo assim, após a confirmação da remoção completa da fase livre no local, foi programada a primeira campanha de da água subterrâneas nos poços de monitoramento com a finalidade de verificar a existência de uma possível fase dissolvida remanescente e, caso esta seja detectada, Foi estabelecidas novas metas de Remediação, baseadas nos valores de CMA's, estabelecidas através da Decisão de Diretoria n° 263-2009-P (CETESB, 2009), a qual e obtida através das distancias entre os Hot Spots para cada parâmetro acima do Valor de intervenção da CETESB e o poço de captação de água subterrâneas mais próximo, para o cenário de "ingestão de água subterrâneas", bem como, para

os cenários de "inalação de vapores a partir da água subterrâneas em ambientes abertos e fechados" São considerados os receptores comercial e residencial mais próximos. (CETESB, 2012).

A Empresa B tem a responsabilidade de recuperar a área degradada eliminando a fase livre e a concentração da potencial fase dissolvida remanescente ate que se atinjam os Valores CMA's estabelecidos. Todavia, a concentração dos contaminantes pode ser variável em função do tipo e período de bombeamento, das características hidrogeológicas do local e do fechamento da pluma de- contaminação e, por isso, o cronograma é apenas uma previsão da realização dos serviços, sendo passível de alterações.

De acordo com as informações aqui transmitidas é possível concluir que, com relação a eficiência do Sistema de Remediação obteve-se um resultado positivo, já que houve redução de 100% da quantidade de fase livre inicial para os poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5. (CETESB, 2012).

Esta fase da remediação compreendeu a completa remoção da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e MI5 durante a Investigação Detalhada da área, a qual fora atingida para todos os poços de monitoramento, já que não apresentaram fase livre na última visita técnica realizada em 07/08/2012. Entretanto, o comportamento dos contaminantes em águas subterrâneas é influenciado por diversos fatores, bem como, em função do constante bombeamento que está sendo realizado nos poços de monitoramento da área, pode ocorrer o deslocamento de eventuais bolsões de fase livre para a área de interesse.

Com relação à verificação da existência de uma possível fase dissolvida remanescente, informamos que a partir da confirmação da ausência total de fase livre, Foi programada a primeira campanha de amostragem da água subterrâneas nos poços de monitoramento. Portanto, conforme estabelecido em cronograma, a área da Empresa B continua em processo de Remediação até que seja confirmada a ausência total de fase livre na área e as metas de Remediação para a fase dissolvida, caso esta esteja presente, sejam atingidas. (CETESB, 2012).

6.2.2.4 Período 4 – setembro a outubro de 2102

Este relatório baseou-se nas visitas técnicas realizadas em 20/09/2012 e 31/10/2012, bem como na visita para coleta de água em 01/10/2012, nas quais foram realizados os seguintes serviços:

- Medições dos níveis de água, fase livre e profundidade dos poços de monitoramento;
- Medição e avaliação dos parâmetros físico-químicos na entrada e saída da Estação de Tratamento Empresa B;
- Manutenção e inspeção dos equipamentos utilizados na Estação de Tratamento Empresa B que compõem o Sistema de Remediação ET-Empresa B, bem como, a limpeza dos mesmos;
- Testes de vazão dos poços de monitoramento bombeados;
- Limpeza e drenagem do compressor;
- Limpeza e manutenção dos poços de monitoramento e das bombas de captação de água subterrâneas;
- Eventuais trocas de equipamentos ou pecas e,
- Coleta de amostras de água na entrada e saída do sistema, para avaliação da eficiência do processo de Remediação.

A Empresa B trabalhou no bombeamento dos poços de monitoramento PM2, PM5 e PI6 cujos efluentes são direcionados para a Estação de Tratamento.

Durante as visitas técnicas realizadas, foram medidos os níveis de água dos poços de monitoramento para desta forma, registrar as variações durante o período. Na figura 50 encontram-se os valores medidos nos meses de setembro e outubro de 2012, nos poços de monitoramento. Os valores de nível de água dos poços de monitoramento foram comparados com os dados meteorológicos do município de Avaré — SP, devido a proximidade com o município de Itaí. (CETESB, 2012).

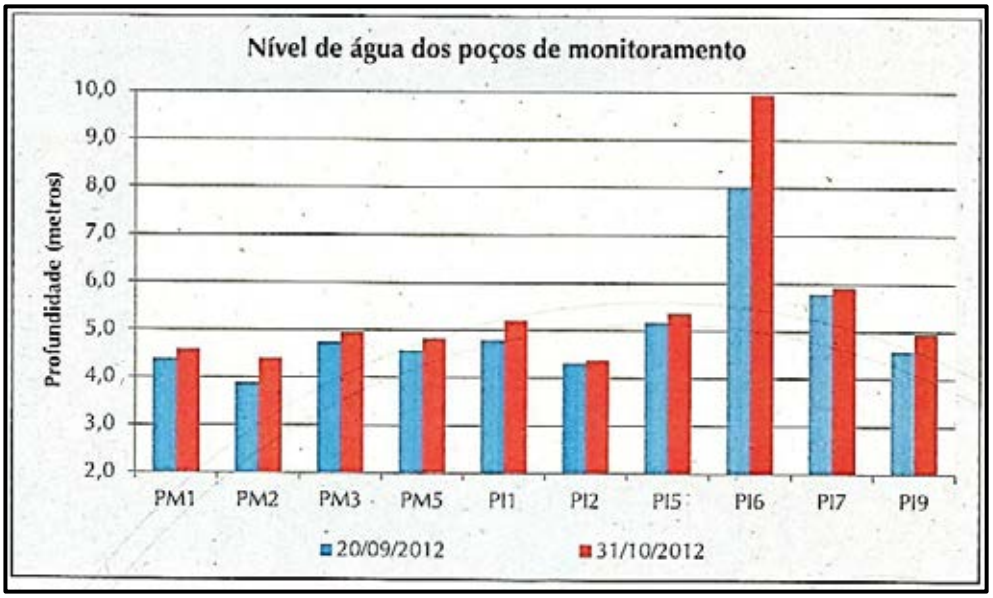


Figura 50: Medição dos níveis de água dos poços de monitoramento.
Fonte; Relatório CETESB 2012

A figura 51 apresenta a correlação entre a variação da pluviosidade.e a disponibilidade de água no solo na regido de Ital. Observa-se que, apesar de o mês de agosto ter apresentado uma redução drástica da precipitação, os níveis de água no solo não descaíram na mesma proporção, uma vez que o mês de agosto apresentou maior nível de água no solo do que nos meses subseqüentes. Segundo mostra a figura, houve ainda uma ligeira redução em setembro e retomada do mesmo patamar em outubro. (CETESB, 2012).

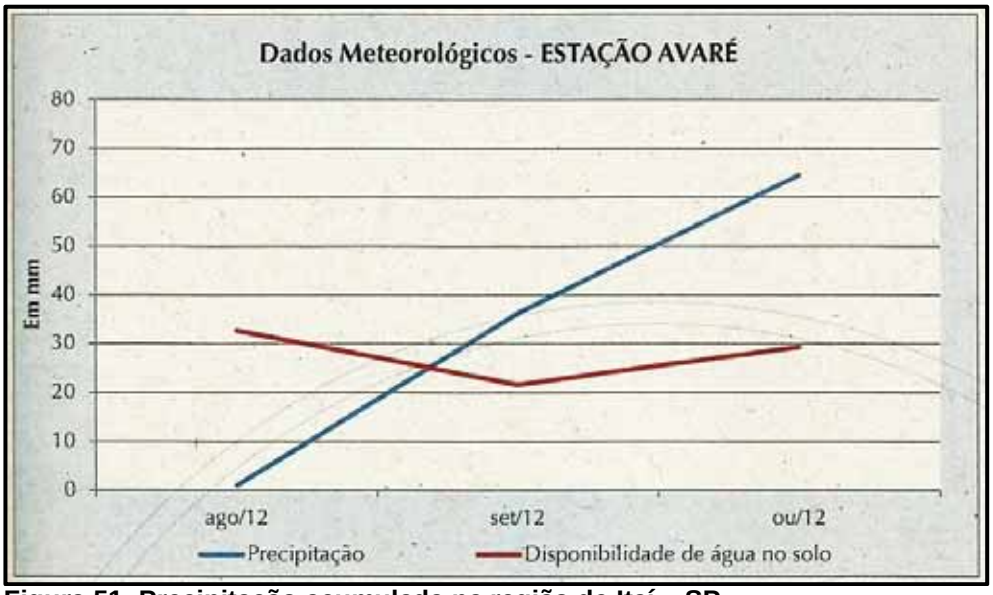


Figura 51: Precipitação acumulada na região de Itaí – SP
Fonte: Relatório CETESB, 2012.

Comparando-se as figuras nota-se que não houve uma correlação positiva em relação aos valores pluviométricos registrados no período, já que os menores índices de nível de água (maior coluna) foram registrados em setembro, quando a disponibilidade hídrica do solo apresentou seu menor índice. Da mesma forma, a medição realizada em outubro apontou aumento do nível de água (menor coluna) no período onde se registrou aumento da disponibilidade hídrica no solo.

A Empresa B acompanhou, em suas visitas técnicas, o volume do efluente que é direcionado através do bombeamento realizado nos poços de monitoramento de interesse. Foram realizados testes de vazão durante as visitas técnicas a fim de coletar informações sobre o volume de efluente que foi bombeado para a Estação de Tratamento Empresa B. Pode-se estimar que desde a instalação do Sistema de Remediação ET- Empresa B (outubro de 2011 a novembro 2013) foram tratados aproximadamente, 438 m^3 de efluente.

A vazão estimada esta relacionada com dados de precipitação no período. Em períodos chuvosos os poços se recarregam com maior facilidade, pois ha maior disponibilidade de água subterrâneas, dessa maneira as bombas conseguem trabalhar de forma satisfatória, enquanto que, em períodos secos os poços apresentam uma coluna de água menor, dificultando assim o processo de bombeamento podendo afetar a vazão de água para a ET - Empresa B. A partir desses dados pode-se também iniciar análises das mudanças de comportamento da pluma de contaminação de maneira que as transferências de fases ocorrem com a variação da precipitação. Dessa forma, em períodos de intensa pluviosidade existe uma tendência da pluma de contaminação sofrer contração e transferência da fase livre para fase residual. Já nos períodos de precipitação menos intensa, a tendência é de expansão da pluma de contaminação e transferência de fase residual para fase livre. Essa condição explica as mudanças de fase da pluma bem como a concentração dos contaminantes avaliados através das coletas de água nos poços de monitoramento. (CETESB, 2012).

Os parâmetros físico-químicos foram medidos em amostras de água coletadas na entrada e na saída da Estação de Tratamento Empresa B durante as visitas técnica realizadas no período (tabela 46). Para o Sistema aquífero Guarani, as características hidráulicas geralmente apresentam valores de condutividade hidráulica média de 2,6 m/dia para a área confinada e 3,0 m/dia para a área livre.

Tabela 46: Valores dos parâmetros físico químicos na estação de tratamento

Parâmetros físicoquímicos		Valores
pH	Entrada ET- Empresa B	5,79
	Saída ET- Empresa B	5,88
Condutividade µs	Entrada ET- Empresa B	57,50
	Saída ET- Empresa B	48,50
Oxigênio Dissolvido mg/L	Entrada ET- Empresa B	4,30
	Saída ET- Empresa B	5,20
Temperatura °C	Entrada ET- Empresa B	25,70
	Saída ET- Empresa B	25,50

Fonte: Relatório CETESB 2012

Em função da fase livre que vinha se apresentando na área, a primeira campanha de amostragem da água subterrâneas nos poços de monitoramento ainda não foi realizada. Sendo assim, a partir do momento em que for confirmada a completa remoção da fase livre, foi realizada a coleta de água nos poços de monitoramento para verificar a existência e o comportamento de uma possível fase dissolvida remanescente. Entretanto, em 02/10/2012 foi realizada uma coleta de amostra de água na saída do Sistema de Tratamento ET-Empresa B com a finalidade de verificar a eficiência do tratamento empregado na área. Inicialmente foram coletadas amostras para analise dos parâmetros físico-químicos, As amostras foram armazenadas em frascos tipo âmbar (analise de PAH) e via (analise de BTEX), sendo mantidas refrigeradas em cooler e enviadas ao laboratório de Análises Ambiental, o qual analisou os seguintes grupos-funcionais:

- Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos Totais (BTEX);
- Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH).

Os dados da amostra, no momento da coleta, estão descritos na Tabela 47.

Tabela 47: Dados da amostra obtidos durante a amostragem.

Amostra	pH	Condutividade (µs)	Temperatura da amostra (° C)
Saída ET- Empresa B	7,78	101	25,8

Fonte: Relatório CETESB 2012

A tabela 48 mostra que os resultados analíticos apontaram concentrações abaixo dos Limites de Quantificação laboratorial para todos os parâmetros analisados, permanecendo, portanto, abaixo dos Valores de Intervenção da

CETESB (2005), representando do uma eficiência de 100% no tratamento da fase dissolvida da área do Posto 2. (CETESB, 2012).

Tabela 48: resultados analíticos das amostras de água BTEX e PAH.

	Parâmetros	L.Q em µg L⁻¹	AMOSTRA	V.I CETESB Água
			Saída ET- Empresa B	
BTEX	Benzeno	1,000	< LQ	5,00
	Tolueno	1,000	< LQ	700,00
	Etilbenzeno	1,000	< LQ	300,00
	o-xileno	1,000	< LQ	---
	m,p-xileno	2,000	< LQ	---
	Xileno total	3,000	< LQ	500,00
	BTEX total	---	---	---
PAH	Naftaleno	0,050	< LQ	140,00
	Acenaftileno	0,050	< LQ	---
	Acenafteno	0,050	< LQ	---
	Fluoreno	0,050	< LQ	---
	Fenantreno	0,050	< LQ	140,00
	Antraceno	0,050	< LQ	---
	Fluoranteno	0,050	< LQ	---
	Pireno	0,050	< LQ	---
	Benzo (a) Antraceno	0,050	< LQ	1,75
	Criseno	0,050	< LQ	---
	Benzo (b) Fluoranteno	0,050	< LQ	---
	Benzo (k) Fluoranteno	0,050	< LQ	---
	Benzo (a) Pireno	0,050	< LQ	0,70
	Indeno (1,2,3) Pireno	0,050	< LQ	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	0,050	< LQ	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	0,050	< LQ	---
	PAH's Total	---	---	---

L.Q: Limite de Quantificação laboratorial.
V.I: Valores de Intervenção da CETESB (2005), para águas subterrâneas.

Fonte: Relatório CETESB 2012

A fase livre foi detectada inicialmente no poço de monitoramento PM1 (16,0 cm). Em 2011, durante a realização de uma nova Investigação Detalhada (Empresa B) foi identificada a presença de fase livre em PM1 (0,8 cm), PM2 (9,0 cm), PM3 (1,2 cm) e PM5 (51,9 cm). Na última visita realizada em 31/10/12 foi registrado somente 0,1 cm de fase livre em PM1. No entanto, de acordo com a Decisão de Diretoria 263/2009/P, de 20 de outubro de 2009, a total remoção da fase livre se dá quando é detectada a espessura aparente máxima de 5 mm (0,5 cm):

> "Esta etapa pode ser considerada concluída na situação em que se dê a total remoção da fase livre, ou seja, detectada uma espessura aparente máxima de 5 mm de fase livre [...]".

A tabela 49 apresenta o comportamento da fase livre nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5, desde o inicio do estudo de Investigação Detalhada ate a data da Ultima visita técnica realizada. (CETESB, 2012).

Tabela 49: Comportamento da fase livre no local de estudo.

Data	Quantidade de fase livre (cm)			
	PM1	PM2	PM3	PM5
Investigação Detalhada Empresa B - 2010	16,0	0,0	0,0	0,0
Investigação Detalhada Empresa B - 2011	0,8	9,0	1,2	51,9
12/10/2011	N.R	20,6	N.R	49,9
07/12/2011	0,1	0,0	2,7	0,0
12/01/2012	15,7	0,0	1,4	0,0
26/03/2012	0,0	0,0	3,9	0,0
15/05/2012	0,0	0,0	3,0	1,0
26/06/2012	0,0	0,0	1,5	0,0
07/08/2012	0,0	0,0	0,0	0,0
20/09/2012	0,0	0,0	0,0	0,0
31/10/2012	0,1	0,0	0,0	0,0

N.R: Não realizado.

Fonte: Relatório CETESB 2012

A fase livre deixou de ser detectada em dezembro de 2011 no poço de monitoramento PM2, em março de 2012 no PM1, em junho de 2012 no PM5 e não foi identificada no PM3 desde agosto de 2012. Nas medições realizadas durante a última visita técnica, a fase livre não foi identificada em nenhum dos poços de monitoramento, os quais apresentaram redução de 100% da quantidade inicial.

A Figura 52 ilustra a pluma de contaminação de fase livre na área da empresa Posto 2 na ocasião da Investigação Detalha (Empresa B, 2011) e na situação constatada na última visita técnica (outubro de 2012), na qual não foi detectada presença de fase livre. (CETESB, 2012).

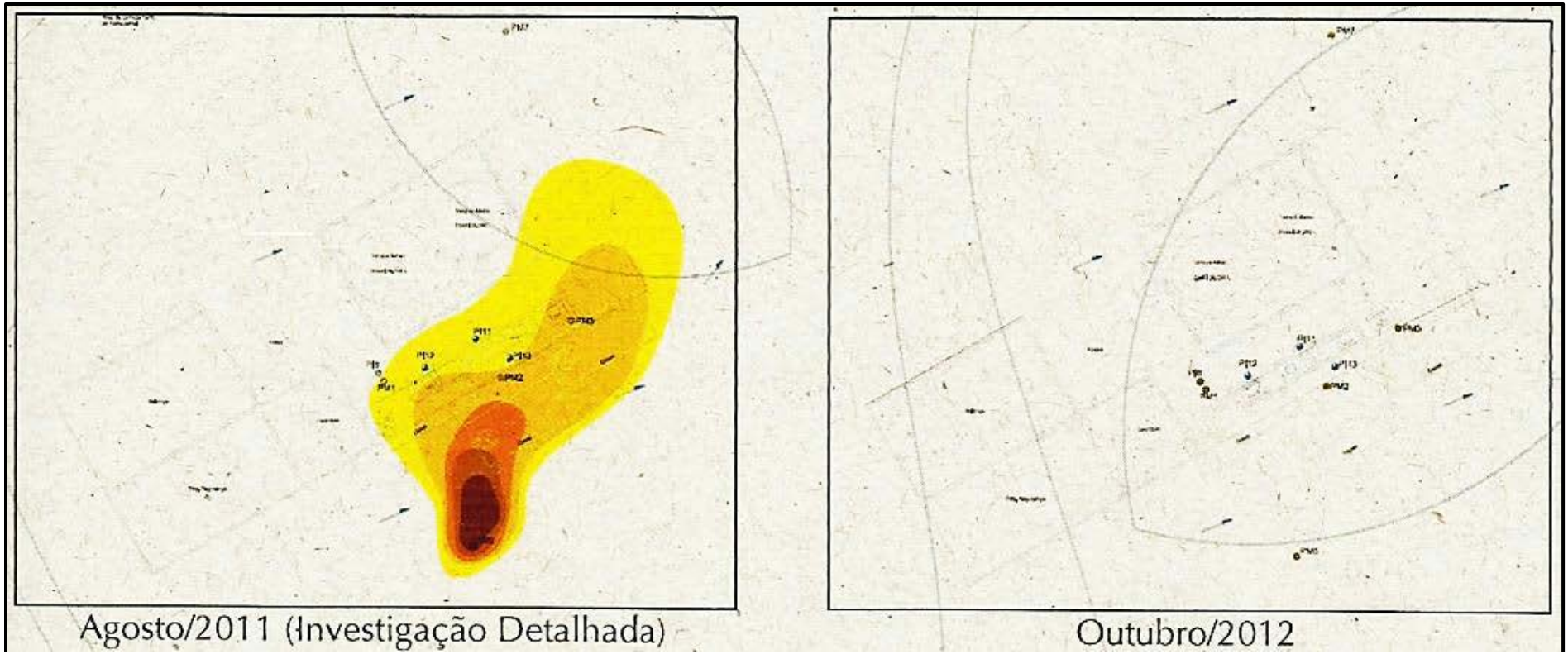


Figura 52: Comparação entre as plumas de contaminação do local
Fonte: Relatório CETESB 2012

A meta inicial do Sistema de Remediação ET-Empresa B foi a remoção da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM13 e PM5 durante a Investigação Detalhada.

Até a data deste relatório momento, todos os poços de monitoramento atingiram a meta de remediação inicial, visto que não apresentaram fase livre na última visita técnica realizada em 31/10/2012.

Após a efetiva confirmação de eliminação da fase livre no local, foi realizada uma campanha de amostragem de água nos poços de monitoramento com a finalidade de verificar a existência de uma possível fase dissolvida remanescente e, sendo detectada, foram estabelecidas novas metas de remediação, baseadas nos valores de CMA's, estabelecidas através da Decisão de Diretoria n° 263-2009-P (CETESB, 2009), a qual e obtida através das distâncias entre os Hot Spots para cada parâmetro acima do Valor de Intervenção da CETESB (2005) e o poço de captação de água subterrânea mais próximo, para o cenário de "Ingestão de água subterrânea", bem como, para os cenários de "Inalação de vapores a partir da água subterrânea em ambientes abertos e fechados" foram considerados os receptores comercial e residencial mais próximos.

Esta fase da remediação compreendeu a completa remoção da fase livre detectada nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e MI5 durante a Investigação Detalhada da área, a qual foi atingida para todos os poços de monitoramento, sendo que PM1 deixou de apresentar fase livre em 26/03.2012, PM2 em 07/12/2111, PM3 em 07/08/2012 e PM5 em 26/06/2012.

Os resultados analíticos das amostras coletadas na entrada e na saída do sistema de tratamento ET-Empresa 2, apontou a eficiência do processo de remediação cujos resultados obtidos na saída permaneceram abaixo do limite de quantificação laboratorial para todos os parâmetros analisados (BTEX/PAH) enquanto o resultado da amostra da entrada do sistema apresentou alterações abaixo do limite de intervenção estabelecido para os parâmetros Toluneo, Naftaleno, Acenafteno, Pireno e Criseno.

Com relação à verificação da existência de uma possível fase dissolvida remanescente, a coleta de águia nos poços de monitoramento, referente ao processo de remediação, acontecerá quando for constatada a ausência total de fase livre na área que foi aferida nas próximas visitas técnicas ao local.

Portanto, conforme estabelecido em cronograma, a área da Empresa B continua em processo de remediação até que se atinjam as metas de remediação pré-estabelecidas para a área. Pode-se estimar que desde a instalação do Sistema de Remediação iniciado em outubro de 2011 e findado em novembro 2013 foram tratados, aproximadamente, 335 m^3 (335.000 litros) de efluente. (CETESB, 2013).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A CETESB cadastrou todos os postos de combustível existentes no estado de São Paulo e elencou os equipamentos utilizados, a sua localização, se há ou não passivo ambiental.

A gestão ambiental é um instrumento importante e deve ser aplicada rigorosamente a todos os postos de armazenamento e comércio de combustível, com o objetivo de melhorar a qualidade do meio ambiente. Do mesmo modo, a educação ambiental focada nessa questão deve atingir a consciência de responsabilidade social dos fabricantes de equipamentos usados nos postos de combustível.

Em relação aos postos analisados, podem-se elencar as seguintes considerações finais:

Posto 1 – Tanques Enterrados

Na última visita em março de 2010 não foi observado indício de produto nas águas subterrâneas, seja pela presença de fase livre ou iridescência, à exceção do poço de monitoramento PM-14 onde foi observada iridescência na água no monitoramento realizado no dia 22 de fevereiro de 2010. Os valores de VOC obtidos com as leituras efetuadas nos poços indicaram valores nulos (0,0 ppm) para todos os poços monitorados com exceção das medições efetuadas nos poços PM-09 e PM-1 1 no dia 11 de janeiro de 2010.

O sistema de remediação implantado pela Empresa A operou de 03 de abril de 2009 até 26 de janeiro de 2010, simultaneamente com as técnicas de DPE *(Dual Phase Extraction),* SVE *(Sou Vapor Extraction)* e *Air Sparging* na área impactada por hidrocarbonetos.

Entre os dias 22 e 25 de fevereiro foi efetuada a desmobilização do container instalado na área do posto e elaborada a completa retirada de todos os equipamentos de remediação do empreendimento.

Visando avaliar a qualidade do aquífero local com a interrupção da operação do sistema de remediação ambiental instalado no posto, foram coletadas 17 amostras para análise dos parâmetros BTEX e PAH. Os resultados analíticos indicaram que

em duas (02) amostras (PM-14 e *PB*-OIISVE-04) o SSTL foi ultrapassado para o composto Benzeno.

Não foram ultrapassados os limites de quantificação utilizados pelo laboratório nas amostras coletadas nos dois (02) poços tubulares para os parâmetros BTEX e PAH, à exceção do composto Etilbenzeno detectado no PT-01 (1,7 pglL) e PT-02 (1,3 pg/L).

Durante o período em que o sistema atuou no local, as concentrações médias de Benzeno e demais compostos avaliados, bem como, a área da pluma em fase dissolvida demonstraram reduções.

O último monitoramento onde houve detecção de fase livre foi em 27 de junho de 2010 nos poços PM-14 (0,01 m) e PB-01/SVE-04 (0,01 m) o que indica a eficiência do sistema que operou no posto.No período de operação do sistema não houve extração de produto, não havendo assim operação de separação de contaminantes na Caixa Separadora.

Posto 2 – Tanques Aéreos

Foram obtidos resultados positivos, já que até a última visita técnica realizada em novembro de 2013, a fase livre não foi mais identificada nos poços de monitoramento PM1 PM2, PM3 e PM5, implicando em redução de 100,00%.

Quanto às remediação para a fase dissolvida, o parâmetro Benzeno atingiu as metas baseadas nos Valores CMA-HS e CMA-POE Comercial e Residencial para todos os cenários considerados, ou seja, “Inalação de vapores a partir da água subterrânea em ambientes fechados” e “Inalação de vapores a partir da água subterrânea em ambientes abertos”. Assim, será realizada uma nova coleta para confirmação das concentrações e, caso estas se apresentem inferiores às metas de remediação e a fase livre continuem ausentes, a área será indicada para dar início ao processo de Monitoramento para Encerramento.

Portanto, conforme estabelecido em cronograma, a área do Posto 2 continua em processo de remediação até que seja confirmado o alcance de todas as metas de remediação pré-estabelecidas.

8 CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré (SP). Através da avaliação dos relatórios das empresas especializadas que realizatram a remediaçao nos locais e da coleta e análises dos materiais retirados do solo e água dos postos em questão foi possível avaliar com precisão o efeito da contaminação sobre o meio ambiente bem como dos processos e métodos para minimização dos impactos.

É importante ressaltar que, durante o processo de investigação, anáilise e remediação, os postos permaneceram em funcionamento.

Por meio dos resultados obtidos as principais conclusões podem ser elencadas:

a) Os dois tipos de postos (enterrados e aéreos) apresentaram processos de contaminação no contexto do solo e água subterrânea;

b) A região demarcada pelo posto enterrado apresentou contaminação mais efetiva relacionada aos BTEX, em particular, ao benzeno e tolueno;

c) A região referente ao posto aéreo também apresentou contaminação no lençol freático, no entanto, a pluma de contaminação não foi tão efetiva quanto à verificada no entorno do posto enterrado;

d) Os processos de remediação implantados para ambos os postos foram efetivos no sentido de diminuição das franjas capilares de contaminação. O processo de remediação referente ao posto enterrado apresentou bons resultados e já foi encerrado. O processo de remediação referente ao posto aéreo apresentou uma eficácia de 100%, ou seja, toda a contaminação foi removida.

Finalmente, ressalta-se que foram verificados também vazamentos em tubulações, corrosão dos antigos tanques de armazenamento, imperícia no manuseio de bombas e transporte inadequado. Esses fatores agravam a situação e exigem medidas preventivas e corretivas. Assim, os postos em questão foram orientados a adequar-se ao modelo de gestão exigido pela CETESB, desde a fase do licenciamento até o monitoramento das áreas contaminadas. Dessa forma, os postos foram reformados e os tanques estão sendomonitorados a fim de atender às resoluções ambientais.

Durante todo o período da análise investigativa até a remediação houve o acompanhamento das atividades, utilizando-se os equipamentos preventivos e

procedimentos exigidos pelos órgãos ambientais para a descontaminação do lençol freático.

Atualmente, os postos continuam em funcionamento com tanques fabricados com materiais apropriados que impedem a corrosão bem como seu desgaste.Do mesmo modo que a tecnologia permite descobrir a contaminação e evitá-la, também seu crescimento proporciona métodos de remediação das águas já poluídas. Assim, os casos dos postos aqui estudados serviram para ilustrar essa capacidade de detecção e remediação.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2005a. Disponível em: http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp. Acesso em: out 2013.

ANDRÉA, M.M. **O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos.** Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), vol. 26, núm. 2, 2010.

ANJOS, L. H. CUNHA DOS. RAIJ, B. V. **Indicadores de processos de degradação de solos**: avaliação e contabilização de impactos ambientais. Capitulo 5. São Paulo, 2004.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Anuário Estatístico de Petróleo e do Gás Natural 2005b**. Disponível em: http://www.anp.gov.br/. Acesso em: dez. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉNCICAS. **NBR 1389:** Construção de poços de monitoramento e amostragem: procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

BANUNAS, Ioberto Tatsch. **Poder de policia ambiental e o município**. Porto Alegre: Sulina, 2003.

BLUM, J. R. C. **Critérios e padrões de qualidade da água.** In: Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. dos; Philippi Jr, A (coord.) Reúso de Água. Barueri: Manole, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei Federal, N° 6938/81. Lei de Política Nacional do Meio Ambiente**, 31 de Agosto de 1981.*Diário Oficial da União* BRASIL.

Conselho Nacional de Meio Ambiente de Recursos Renováveis, **Resolução nº 273, 29 de Novembro, 2000**. Estabelece critérios para instalação e conservação de tanques de combustível. Diário Oficial da União de 08/11/2001.

BRASIL. República Federativa. **Resolução Conama n. 396/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providencia**s, 2008. Disponível em: <http//www.mma.gov.br/port/conama/legiano>. Acesso: 10 mai de 2012.

CALIJURI, M.C.; OLIVEIRA, H.T. **Manejo da qualidade da água**. In: Castellano, E.G.; Chaudry F.H. (Eds.) Desenvolvimento sustentável: problemas e estratégias. São Carlos: EESC-USP, 2000.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Projeto CETESB – GTZ. 6530 – Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e da águas subterrânea – Valores STI, julho de 1999.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Gerenciamento de riscos:** planos de contingência para vazamentos de óleo no mar. Disponível emhttp://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB, 274 p., 2006.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Investigação Ambiental Detalhada**: análise de risco RBCA Tier 2. Auto Posto Bizunga. ENSR Inertnational Brasil. Outubro 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de monitoramento de remediação ambiental** – relatório nº 1. Auto Posto Bizunga. AECOM Enviroment. 2009

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de monitoramento de remediação ambiental** – relatório nº 1. Auto Posto Bizunga. AECOM Enviroment. 2010

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de investigação detalhada e plano de intervenção** da Indústria e Comercio Iracema Ltda. MS Tecnologia e Consultoria Ltda, 2010.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de investigação detalhada Indústria e Comercio Iracema Ltda**. CBC Ambiental, 2011.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.**Monitoramento da eficiência e eficácia**: relatório de remediação Indústria e Comércio Iracema Ltda. CBC Ambiental, 2012

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.**Monitoramento da eficiência e eficácia**: relatório de remediação Indústria e Comércio Iracema Ltda. CBC Ambiental, 2013

.
CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Áreas contaminadas e reabilitadas do estado de São Paulo,** P. 4131, 2011.

CORSEUIL, H. X., MARINS, M. D. M. **Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina**: o problema é grave?. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.2, n.2, p.50–54, 1997.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução no 274/00**, 2000. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html
Acesso em set 2013.

FEITOSA, F. A. C, MANOEL, J. F., FEITOSA, E. C., DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia**: Conceitos e aplicações. 3ª Edição Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro: CPRM – LABHID, 2008. 812p.

FERNANDES, M.; CORSEUIL, H. X. **Efeito do etanol no aumento da solubilidade de compostos aromáticos presentes na gasolina brasileira**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, [s.l.], v.4, n.1 e 2, p.71-75, 1999.

Foster, S. S. D.; Hirata, R. C. A. & Rocha, G. A. 1988. **Riscos de poluição de água subterrânea**: uma proposta de avaliação regional. São Paulo: CEPIS/ OPS.

GABARDO, I. T. **Metodologia analítica para determinação de HPAs em amostra de solo, água e sedimentos**. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPS). Petrobrás, 1995.

GOUVEIA, J. L. N. **Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamento de combustíveis em postos e sistemas retalhistas**. São Paulo. 2004. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

GUIGUER, N. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamento em postos de abastecimento**. Waterloo Hydrogeolic, Canadá, 1993.

JERNIGAN, J.D.; BASS, R.; PAUSTENBACH, D.J.**A cost effect approach to regulaion contaminated soil**: set de minims concentrations for eight different exposure scenarios. In: CALABRESE, E.J.; KOSTECKI, P. Hydrocarbon contaminated soil and groundwater. Volume II. Chapter 2.Tokyo: Ed. Lewis publishers, 1990.

KAIPPER, B. I. A. **Influência do Etanol na Solubilidade de Hidrocarnonetos Aromáticos em aquíferos Contaminados por Óleo Diesel**. Santa Catarina. 2003. Tese (Doutorado Centro de Ciências Físicas e Matemática) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003 PROCURAR ESTA DISSERTAÇÃO NA INTERNET.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. **Soil quality**: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Sci. Soc. Am. J., 61:4-10, 1997.

LEE, L. S.; HAGWALL, M.; DELFINE., J. J.; RAO, P. S. C. **Parttioning of polycyclic aromatic hydrocarbons from disesel fuel into water**. Enviroment Scienc and Technology, v. 26, n.11, p. 2104-2109, 1992.

LEINZ,V, AMARAL, A. **Águas continentais de superfície**.In: ___. Geologia Geral, São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2001, pg. 118.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 16. ed. São Paulo: Malheiros, 2008.

MAINIER, F. B., FERREIRA, J. C., NUNES, L. P. **Uma visão crítica da importância da proteção catódica nos projetos de tanques de armazenamento de combustíveis e produtos químicos com relação à proteção de aquíferos.** In: Seminário de Proteção Catódica e Controle de Interferência, Associação Brasileira de Corrosão, 4. Anais, São Paulo, 8-10 de Junho, 1994.

MARQUES, M.; ROSA, G.S.; AGUIAR, C.R.C.; CORRÊA, S.M. & CARVALHO, E.M. **Seedling emergence and biomass growth of oleaginous and other tropical species in oil contaminated soil**. Open Waste Manag. J., 3:26-32, 2010.

MELO FILHOJosé Fernandes; SOUZA André Leonardo Vasconcelos; SOUZA Luciano da Silva: **Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um latossolo amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural.** In http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/36.pdf. Acesso em outubro/2013.

MILARÉ, Édis. **Direito do ambiente**: a gestão ambiental em foco. Doutrina. Jurisprudência. Glossário. 6. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2009.

NETTO, A. D. P.; ARBILLA, G ; FERREIRA, L. F. V.; OLIVEIRA, A. S.; BAREK, J. **Química Nova** , v.23, n.6, 2000.

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 Managemental and Operation of Environmental Control systems inthe Chemical and Petrochemical Industry, November,25-27, 1998, Salvador – Bahia – Brazil.

OLIVEIRA, I. B. **Infiltration of Organic Liquids in Unsaturated sands**: Comparison of Experimental Measurements With Scaled and Unscaled Analytical Solutions, 1995 – The University of Michigan, PhD Dissertaion, 345pp.

PORTO, R.L.L. et al. **Hidrologia Ambiental**. EDUSP Associação de Recursos Hídricos,. v.3, 414p, 1991.

POWERS, S.E.et al..**The transport and fate of ethanol and BTEX in groundwater contaminated by gasohol**. CRC Critical Reviews in environmental Science and Technology, v. 31, n. 1, p. 79-123, 2001.

RICHTER, C.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

ROCHA, O., PIRES, J.S.R. e SANTOS, J.E. – **A Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo e Planejamento –** 1996.

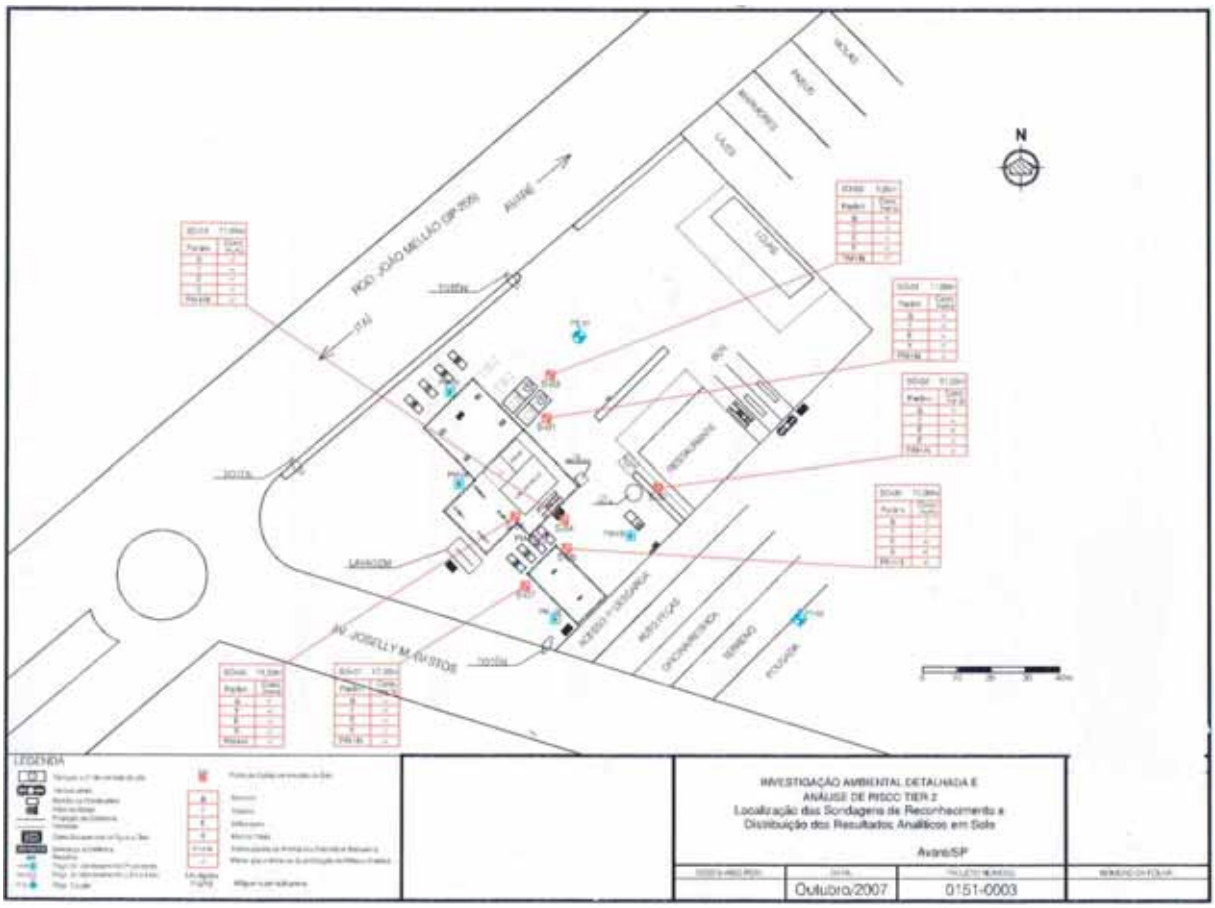
SANDRES, Gisele Carvalho**. Contaminação dos solos e águas subterrâneas provocadas por vazamento de Gasolina nos Postos de combustíveis, devido à corrosão em tanques enterrados**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense – 2004. Disponível em: <http://www.uff.com.br>. Acesso em 30/novembro/2013.

SUGIMOTO, Luiz. **Sensores detectam e monitoram contaminação de águas subterrâneas.** Jornal da Unicamp, ed. 274, 24 de novembro a 5 de dezembro, 2004. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamphoje/ju/novembro2004/htm. Acesso em out 2014.

VIANNA, José Ricardo Alvarez. **Responsabilidade civil por danos ao meio ambiente à luz do novo código civil.**Curitiba: Juruá, 2004.

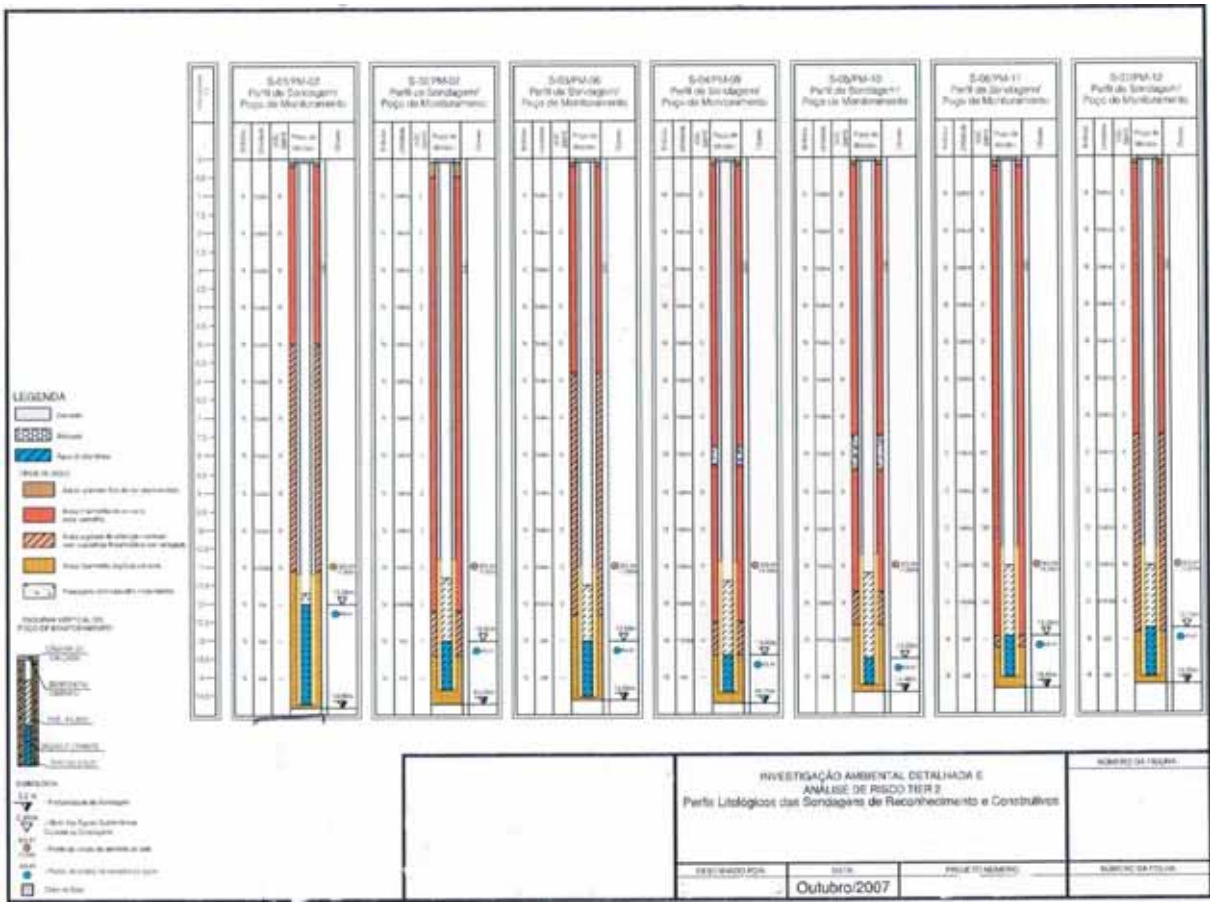
ANEXOS

Anexo 1 - Localização das Sondagens de Reconhecimento e Distribuição dos Resultados analíticos do solo



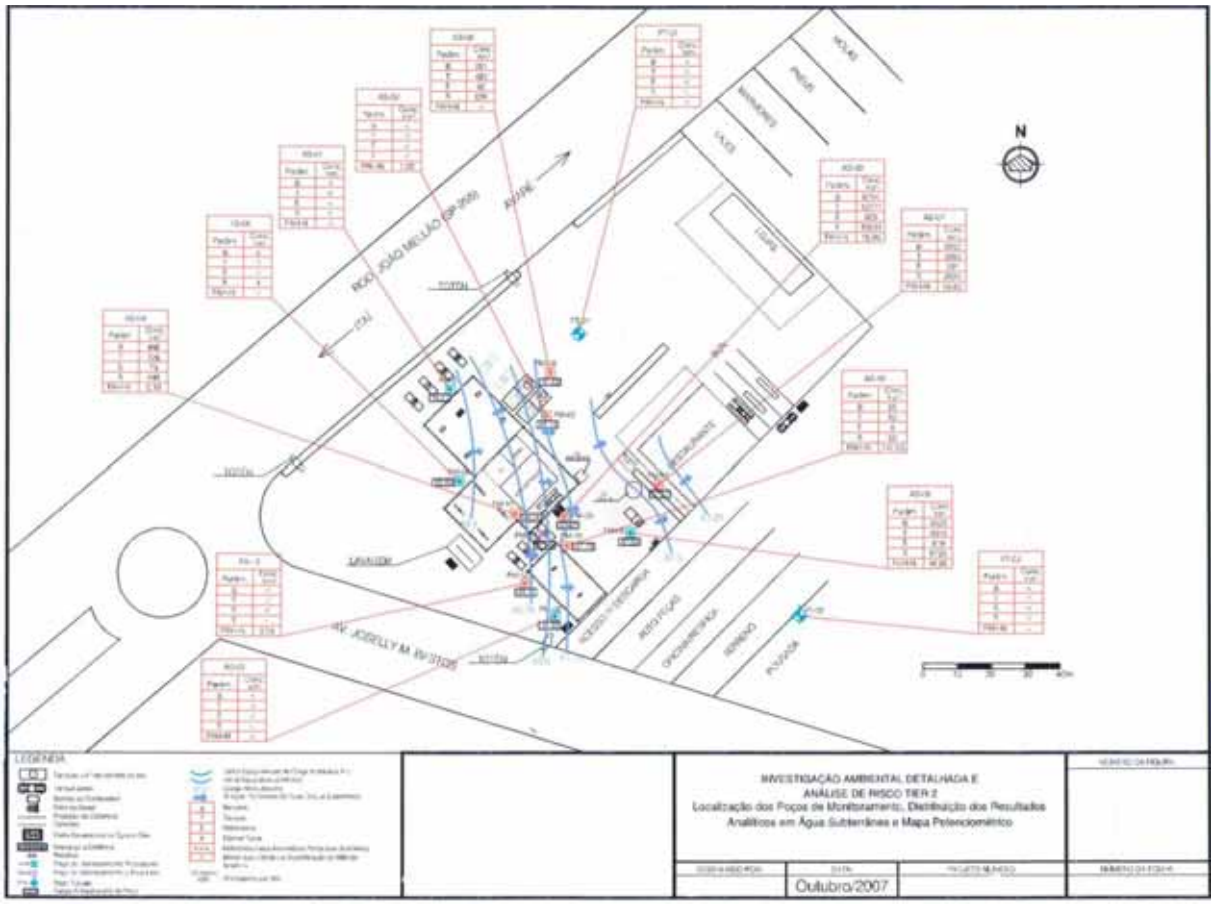
Fonte: Relatório CETESB 2007

Anexo 2 - Perfis litológicos das sondagens de reconhecimento e construtivos dos poços de monitoramento instalados.



Fonte: Relatório CETESB 2007

Anexo 3 – Localização dos poços de monitoramento.



Fonte: relatório CETESB 2007.