

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Yana Nicole Maestri Chin Quee

**REMEDIAÇÃO POR EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA: ESTUDO DE CASO DA
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM POSTO DE COMBUTÍVEL**

**CURITIBA
2016**

Yana Nicole Maestri Chin Quee

**REMEDIAÇÃO POR EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA: ESTUDO DE CASO DA
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM POSTO DE COMBUTÍVEL**

Trabalho de graduação referente à disciplina TT036 – Projeto Final de Engenharia Ambiental I do curso de Engenharia Ambiental realizado na Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Sandro Froehner

**CURITIBA
2016**

RESUMO

A contaminação de solos e águas subterrâneas por derivados do petróleo é um dos problemas ambientais mais comuns da atualidade. A contaminação mais comum é por compostos BTEX encontrados na gasolina, formado pelos hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, sendo a contaminação por benzeno a mais nociva para saúde humana. A contaminação por BTEX, geralmente tem como alvo o sistema nervoso, além de tornar inviável o uso da água subterrânea. A maior fonte de contaminação são os postos de combustíveis. Atualmente, no Brasil, existem cerca de 38 mil postos de combustíveis, nos quais contaminação de solo e água subterrânea por vazamentos são frequentes, tanto por problemas de estocagem quanto por problemas nos equipamentos utilizados. A remediação é o processo no qual os teores de contaminante são reduzidos a níveis que não prejudiquem a saúde humana, dentro do limite previsto na legislação. O sistema Extração Multifásica é um dos mecanismos mais recomendados para remediação *in situ* em postos de combustível, devido a sua praticidade e baixo custo. Tal técnica foi proposta como metodologia para tratamento em um posto de combustível, cujos dados mostram a existência de contaminação por benzeno em dois poços de monitoramento e fase livre de produto em cinco poços de monitoramento.

Palavras-chaves: BTEX, contaminação e remediação.

ABSTRACT

Contamination of soil and groundwater by petroleum and oil derivatives is one of the most common environmental problems nowadays. The most common contaminants are monoaromatic hydrocarbons compounds found in gasoline. Monoaromatic hydrocarbons formed by benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes (BTEX), being benzene contamination the most harmful to human health. The BTEX contamination makes water undrinkable. Ingestion of contaminated water can affect the nervous system. The largest source of contamination is the gas stations. Currently in Brazil, there are about 38,000 gas stations. Some of them have soil and underground water contamination and due leaking storage tanks. Remediation is the process which the contamination levels is reduced to levels that do not offer risk to human health. The multiphase extraction technique is one of the recommended for *in situ* treatment including gas stations. Such preference for this technique relies on cost and minimum interference in the area. Thus, this technique was proposed as a method for treatment of a gas station. The diagnostics of the area, showed the existence of benzene in high concentration in ground water, beyond the existence of free phase in five monitoring wells.

Keywords: BTEX, contamination and remediation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Percentual de áreas contaminadas a partir da atividade desenvolvida.... | 11 |
| Figura 2 – Percentual de áreas contaminadas a partir da atividade desenvolvida.... | 13 |
| Figura 3 - Progressão de um típico vazamento de produto de um tanque subterrâneo | 17 |
| Figura 4 – Estrutura Química dos Compostos BTEX.. | 20 |
| Figura 5 – Fluxograma simplificado e adaptado das diretrizes para gerenciamento das áreas contaminadas..... | 23 |
| Figura 6 - Fluxograma das etapas do gerenciamento das áreas contaminadas..... | 25 |
| Figura 7 - Esquema da zona de captura.. | 27 |
| Figura 8 - Comportamento da água próxima ao poço de extração.. | 28 |
| Figura 9 – Planta baixa do empreendimento..... | 37 |
| Figura 10 - Pluma estimada de fase livre | 40 |
| Figura 11– Mapa potenciométrico | 42 |
| Figura 12 – Localização das sondagens realizadas e poços instalados | 44 |
| Figura 13 - Perfils litológicos | 45 |
| Figura 14 - Perfils litológicos | 46 |
| Figura 15 - Perfils litológicos | 47 |
| Figura 16 - Pluma estimada de fase dissolvida..... | 52 |
| Figura 17 - Sistema de Remediação por Extração Multifásica (MPE)..... | 55 |
| Figura 18 - Ilustração esquemática do poço de bombeamento simples MPE | 58 |
| Figura 19 - Localização das linhas e equipamentos do sistema de remediação MPE | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Classificação de substâncias carcinogênicas | 18 |
| Tabela 2 - Valores orientadores do CONAMA 420/09 e da CETESB para qualidade do solo e água subterrânea..... | 21 |
| Tabela 3 - Vantagens e desvantagens da implantação do sistema de extração multifásica MPE | 29 |
| Tabela 4 – Descrição dos Tanques..... | 34 |
| Tabela 5 – Dados de monitoramento da água subterrânea | 39 |
| Tabela 6 – Cálculo das cargas hidráulicas (m)..... | 41 |
| Tabela 7 – Sondagens realizadas e poços de monitoramento instalados..... | 43 |
| Tabela 8 - Resultados Analíticos da Água Subterrânea (µg/L) | 49 |
| Tabela 9 - Resultados Analíticos da Água Subterrânea (µg/L) | 50 |
| Tabela 10 - Resultados Analíticos da Água Subterrânea (µg/L) | 51 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1 - Cargas hidráulicas | 32 |
| Equação 2 - Equação geral de fluxo de água subterrânea | 56 |
| Equação 3 - Equação geral de fluxo de água subterrânea rearranjada | 56 |
| Equação 4 - Concentração de VOC | 57 |
| Equação 5 - Taxa máxima removida | 57 |
| Equação 6 - Taxa de bombeamento | 62 |
| Equação 7 - Volume de contaminação removido | 62 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo |
| BTEX | Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| EPA | Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental) |
| HPA / PAH | Hydrocarbonetos Policíclicos Aromáticos |
| IAP | Instituto Ambiental do Paraná |
| MPE | Sistema de Extração Multifásica |
| NBR | Norma Brasileira |
| PE | Poço de extração |
| ph | Potencial de hidrogénio iônico |
| PI | Poço de injeção |
| PM | Poço de monitoramento |
| PME | Poço de monitoramento existente |
| ppb | Partes por bilhão |
| RCBA | Ação Corretiva Baseada em Risco |
| SAO | Caixa separadora de água e óleo |
| SASC | Sistema de armazenamento subterrâneo |
| SEMA | Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| ST | Sondagens |
| TPH | Hydrocarbonetos Totais de petróleo |
| USEPA | Agência de Proteção Ambiental Americana |
| VOC | Compostos Orgânicos Voláteis |
| SVOC | Compostos Orgânicos Semi Voláteis |
| VRQ | Valor de Referência de Qualidade |
| VP | Valor de Prevenção |
| VI | Valor de Investigação |
| AP | Áreas Potencialmente Contaminadas |
| AS | Áreas Suspeitas de Contaminação |
| AC | Áreas Contaminadas |
| SVE | Sistema de Extração de Vapores do Solo |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. OBJETIVO..... | 14 |
| 2.1 GERAL..... | 14 |
| 2.2 ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 3.1 Postos de combustíveis como fonte de contaminação | 15 |
| 3.2 Caracterização dos contaminantes..... | 16 |
| 3.2.1 BTEX..... | 18 |
| 3.2.2 HPAs..... | 20 |
| 3.3 Legislação..... | 21 |
| 3.4 Remediação de solos e águas subterrâneas..... | 26 |
| 3.4.1 Sistema de Extração Multi-Fásica (MPE)..... | 26 |
| 4 METODOLOGIA DO ESTUDO..... | 30 |
| 4.1 Monitoramento do nível d'água..... | 30 |
| 4.2 Sondagens e Instalação de Poços..... | 31 |
| 4.3 Levantamento Planialtimétrico | 32 |
| 4.4 Amostragem de água subterrânea..... | 32 |
| 4.5 Avaliação da presença de VOC (compostos orgânicos voláteis)..... | 33 |
| 5 RESULTADOS | 34 |
| 5.1 Estudo de caso | 34 |
| 5.1.1 Caracterização do empreendimento | 34 |
| 5.1.2 Caracterização geológica e hidrogeológica da área | 35 |
| 5.1.3 Histórico da área | 36 |
| 5.2 Monitoramento do nível d'água..... | 38 |
| 5.3 Levantamento Planialtimétrico | 41 |
| 5.4 Sondagens realizadas | 43 |
| 5.5 Análises físico-químicas..... | 48 |
| 5.5.1 Resultados Analíticos das Amostras de Água Subterrânea..... | 48 |
| 5.5.2 Resultados da avaliação de VOC | 53 |
| 6. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO | 54 |
| 6.1. Extração Multifásica - <i>Multi-Phase Extraction</i> (MPE) | 54 |
| 6.1.1 Remoção da fase livre..... | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1.2 Remoção de vapores do solo..... | 56 |
| 6.2. Infraestrutura do Sistema de Remediação MPE..... | 57 |
| 6.3. Operação do Sistema de Remediação..... | 61 |
| 6.4. Cálculo de eficiência do sistema de extração multifásica MPE..... | 62 |
| 7 CONCLUSÃO | 64 |
| 8 REFERÊNCIAS | 66 |

1. INTRODUÇÃO

O petróleo representa 30% da produção energética primária, se destacando na matriz energética nacional, segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2010). Um barril de petróleo possui um volume de aproximadamente 160 litros e dependendo do tipo de petróleo, das características das unidades de refino pode-se obter diesel, gasolina, lubrificantes, nafta, entre outros. Atualmente, segundo a PETROBRAS (2014), 40% de cada barril produzido é destinado a produção de diesel, enquanto a gasolina representa 18%. No Brasil o consumo de petróleo vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, principalmente no âmbito dos combustíveis. O diesel é o derivado do petróleo com maior participação no consumo com 43% enquanto a gasolina representa 15%, segundo Agência Nacional de Petróleo (2010).

O constante uso do petróleo abre margem para que acidentes com vazamentos aconteçam e, embora muito preocupantes e prejudiciais ao meio ambiente a contaminação constante e em menor quantidade que ocorre diariamente em postos de combustíveis chega a ser mais significativa em escala local. Em 2013, segundo a CETESB, 4.771 áreas estavam contaminadas no Estado de São Paulo, com um crescimento de 199 áreas em apenas 2 anos (CETESB, 2014). A Figura 1 mostra o percentual de áreas contaminadas associadas às atividades desenvolvidas em 2013 no Estado de São Paulo.

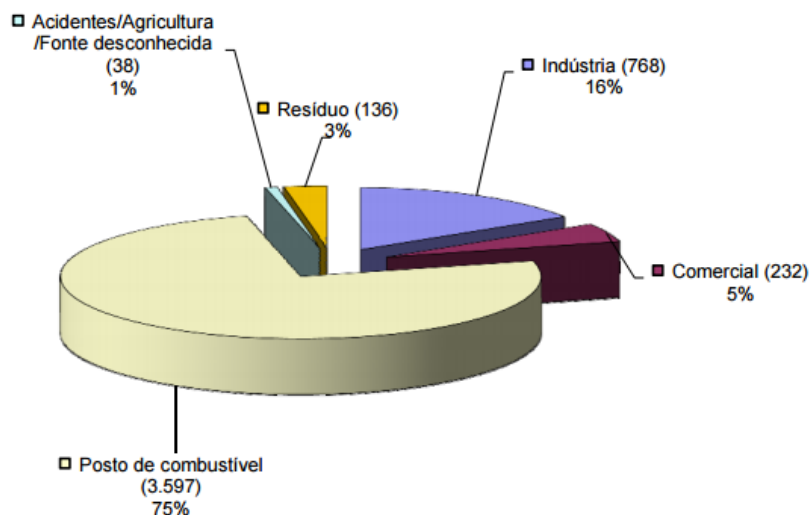


Figura 1 – Percentual de áreas contaminadas a partir da atividade desenvolvida. (Fonte: CETESB, 2014)

O setor de postos de combustível representa 75% dos acidentes com 3.597, seguido das atividades industriais com 16% e 768 casos, das atividades comerciais

com 5% e 232 casos, de resíduos com 3% e 136 casos e de “Acidentes/Desconhecidos/Agricultura” com 1% e 38 casos. Os postos de combustíveis, portanto, são considerados a principal fonte de contaminação de solo e água subterrânea devido à presença de hidrocarbonetos aromáticos no diesel e na gasolina, como os BTEX. Os compostos aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) são considerados extremamente tóxicos e nocivos à saúde humana podendo atingir o sistema nervoso, tanto em exposições agudas como crônicas. O benzeno apresenta a maior toxicidade dentre os BTEX, sendo comprovadamente uma substância carcinogênica que pode causar leucemia e em casos extremos levar a morte.

Considerando a toxicidade dos hidrocarbonetos aromáticos, a legislação tem se tornado cada vez mais restritiva e com isso valores orientadores de intervenção para proteção da qualidade de solo e água subterrânea foram definidos. Para que a água seja considerada potável, o limite máximo de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos são 5, 700, 300 e 500 mg/L, respectivamente (CETESB, 2014). Valores acima dos valores orientadores podem gerar risco a saúde humana.

As águas subterrâneas são fontes potenciais de abastecimento de água com boa qualidade, porém cada dia mais estas estão sendo comprometidas com contaminações como em postos de combustíveis. Para garantir a qualidade do solo e águas subterrâneas é essencial que áreas contaminadas sejam remediadas. Segundo a USEPA (1999), remediação é definida pelo conjunto de ações corretivas aplicáveis a um determinado sítio contaminado por resíduo perigoso. O objetivo principal da remediação é diminuir as concentrações dos contaminantes para níveis que não prejudiquem a saúde humana, ou seja, estejam dentro dos valores orientadores previstos pela legislação. A remediação é indicada quando há a confirmação da contaminação e a área for classificada como área contaminada, segundo a classificação da CETESB (1999).

As tecnologias de remediação podem ser *in situ*, quando o tratamento é realizado no mesmo local em que se deu a contaminação ou *ex situ*, quando requer escavação, dragagem ou qualquer outro tipo de remoção do solo e água contaminados e seu tratamento é feito no mesmo local (*on site*) ou fora dele (*off site*).

A Figura 2 mostra a constatação das técnicas de remediação implantadas em 2013 segundo a CETESB.

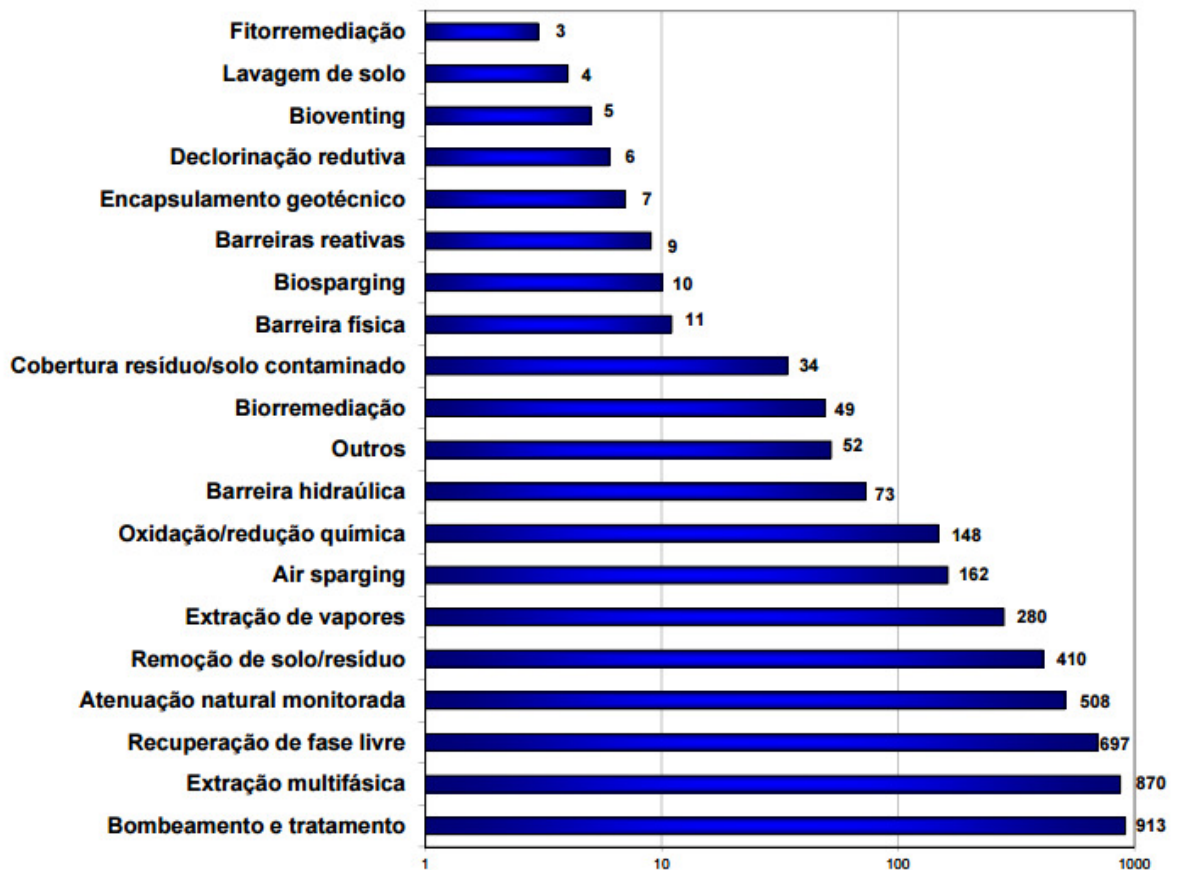


Figura 2 – Percentual de áreas contaminadas a partir da atividade desenvolvida. (Fonte: CETESB, 2013)

Segundo a CETESB, dentre as 2.674 áreas em remediação, 913 utilizaram o processo de bombeamento e tratamento e 870 a técnica de extração multifásica, objeto de estudo deste trabalho. O sistema de Extração Multifásica, conhecida como MPE (multi-phase extraction), utiliza a combinação do bombeamento com a extração de vapores através de uma bomba a vácuo. Além de uma alternativa eficiente e economicamente viável, esta técnica é muito utilizada em postos de combustível por ser uma remediação *in situ*.

2. OBJETIVO

2.1 GERAL

Este trabalho teve como objetivo verificar as condições de implantação do sistema de remediação por extração multifásica (MPE) na área de um Posto de Serviços Automotivos, devido ao histórico de contaminação no local.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas da área e as características químicas da contaminação;
- Avaliar o grau de contaminação da área;
- Apresentar projeto de implantação do sistema de extração multifásica (MPE);

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Postos de combustíveis como fonte de contaminação

Os postos distribuidores de combustível são uma das principais fontes de contaminação de derivados de petróleo no meio ambiente. Nos Estados Unidos, por exemplo, segundo a United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 1999) ocorreram 7.550 acidentes com tanques de armazenamento subterrâneo em 2007 e 446.940 áreas estão em processo de descontaminação. No Brasil, em 2010 existiam 37.973 postos de combustível, só na região sul eram 8.033 sendo 2.882 localizados no Paraná. Estes comercializavam cerca de 29 milhões de m³ de gasolina no Brasil e 6 milhões de m³ na região sul, segundo o anuário estatístico da Agencia Nacional do Petróleo (ANP,2010).

A contaminação esta, geralmente, associada a vazamentos nos sistema de armazenamento subterrâneo através da corrosão de tanques e/ou tubulações, equipamentos de abastecimento com defeito e derramamentos decorrentes das operações de descarga do combustível. Um tanque tem idade útil entre 15 a 25 anos, após esse período a probabilidade de corrosão e deterioração devido a exposição à terra molhada aumenta drasticamente.

Apesar da maioria dos vazamentos ocorrerem por problemas no sistema de armazenamento subterrâneo, outros fatores também podem influenciar na contaminação como o incorreto manuseio das bombas e outros equipamentos no momento do abastecimento, vazamento na descarga de combustível, troca de óleo, entre outros. Os contaminantes presentes no piso da área de abastecimento podem ser carregados pela chuva e infiltrar no solo.

Quando ocorre um vazamento, os contaminantes percolam no solo até atingir o lençol freático (Oliveira,2009). Devido às características dos contaminantes, inicialmente ocorre à formação da fase residual, na qual fica retido uma fração do produto liquido imiscível durante seu fluxo pelo meio subterrâneo. Mesmo com a retirada da fase livre, é importante salientar a permanência da fase residual, pois diferente da fase livre esta não migra ou flui. Pode ocorrer ainda a dissolução parcial dos componentes solúveis na fase aquosa do solo, comprometendo assim a qualidade do corpo d'água. Além da poluição atmosférica causada pela volatilização dos componentes mais leves com acúmulo de vapores explosivos.

3.2 Caracterização dos contaminantes

A gasolina é composta por hidrocarbonetos e, em menor proporção por compostos oxigenados, além de compostos com enxofre e com nitrogênio, além de compostos organometálicos e metais, todavia em baixas concentrações. O diesel possui uma composição semelhante, no entanto diferindo apenas pela faixa dos hidrocarbonetos presentes. Enquanto a gasolina é constituída por hidrocarbonetos de menor peso molecular, o diesel é constituído por hidrocarbonetos com maiores cadeias carbônicas.

A contaminação na área pode se desenvolver através de cinco fases em subsuperfície: vapor (gases no solo), residual (retido devido a capilaridade), adsorvido (retido nas partículas sólidas), dissolvido (dissolvido na água) e fase livre (hidrocarboneto líquido) (EPA, 1996). O partionamento dos hidrocarbonetos entre as fases depende das características dos compostos como dissolução, volatilização e sorção. O produto em fase separada é apresentado em forma de fase livre e residual, imiscível ou parcialmente miscível. A fase livre é caracterizada por sua mobilidade no meio poroso, enquanto a fase residual é retida devido à capilaridade. O produto em fase separada pode se volatilizar e solubilizar parcialmente transformando-se em fase vapor e dissolvida. A fase vapor é caracterizada por sua alta mobilidade e capacidade de se aprisionar em espaços confinados, apresentando grande risco de explosão. A fase dissolvida é responsável pelo transporte do contaminante a grandes distâncias da fonte de contaminação, devido sua elevada mobilidade. A fase adsorvida é caracterizada por produto retido nas partículas sólidas, apesar de não apresentar mobilidade, representa uma fonte de contaminação em menor escala que as demais fases (EPA, 1996).

Os contaminantes podem se locomover através da dissolução nas águas de percolação e nos gases contidos nos espaços vazios do solo ou através de contaminantes imiscíveis que se locomovem separadamente da água subterrânea, como NAPL (*non Aqueous-Phase Liquid*). A Figura 3, a seguir, mostra as opções de cenários possíveis quando ocorre um vazamento de um tanque subterrâneo. O cenário A apresenta um pequeno vazamento, o qual não atinge a franja capilar, diferente do cenário B quando um vazamento contínuo ocorre podendo apresentar fase livre e dissolução de compostos na água subterrânea. No cenário C a fonte de contaminação cessou, porém, a contaminação continua ativa com uma pluma de

fase livre se espalhando lateralmente e uma pluma de fase dissolvida migrando no sentido do fluxo subterrâneo (EPA,1996).

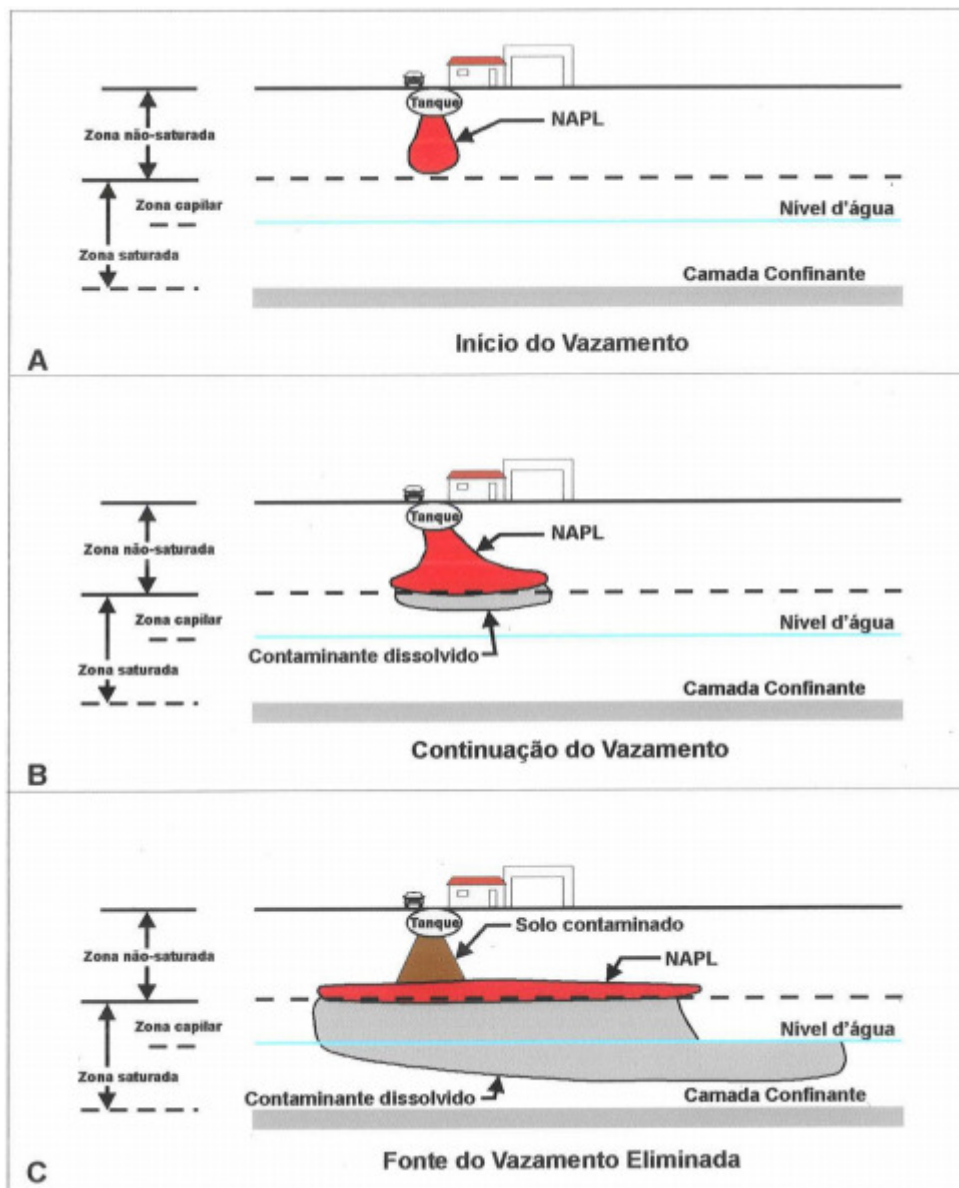


Figura 3 - Progressão de um típico vazamento de produto de um tanque subterrâneo (Fonte: EPA, 1996)

O percurso da contaminação é descendente e influenciado pelas forças gravitacionais, tornando o solo saturado em hidrocarbonetos a partir da fase residual retida no solo. O acúmulo de fase livre ocorre somente quando o volume de produto vazado excede a capacidade de retenção do solo entre o ponto de vazamento e o nível de água (EPA,1996).

Áreas contaminadas por derramamento de derivados de petróleo, como gasolina e diesel, geram riscos à saúde humana devido à toxicidade e mobilidade dos contaminantes. O grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos),

presentes na gasolina brasileira, é o mais nocivo a saúde humana e, portanto, mais relevantes sob o ponto de vista ambiental e toxicológico. Assim como os 16 compostos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), também presentes na gasolina e considerados relevantes pela U.S. EPA (U.S. EPA,1989) por sua toxicidade. Os HPAs frequentemente encontrados são: naftaleno, acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoroanteno, fluoreno, ideno(123-cd)pireno, fenantreno e pireno.

A partir de estudos toxicológicos em humanos e animais, a EPA (U.S. EPA,1989) classificou os compostos do tipo BTEX e HPA em grupos A, B1, B2, C, D e E segundo capacidade carcinogênica. A Tabela 1 resume as classificações e a definição de cada grupo.

Tabela 1- Classificação de substâncias carcinogênicas

| CLASSIFICAÇÃO | GRUPO |
|---|----------|
| Carcinogênico humano | A |
| Provável Carcinogênico humano | B1 ou B2 |
| Compostos onde os dados disponíveis são limitados | B1 |
| Compostos onde os dados suficientes para animais, mas inadequados ou inexistente para humanos | B2 |
| Possível Carcinogênico humano | C |
| Não classificável como carcinogênico humano | D |
| Evidência não carcinogenicidade em humano | E |

Fonte: Adaptado da USEPA, 1989.

3.2.1 BTEX

Os hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos são denominados BTEX, compostos com alta toxicidade e com lenta degradação. Pouco solúveis em água, porém possuem alta mobilidade, provavelmente devido à sua pequena estrutura química. Os BTEX estão presentes tanto na gasolina como no óleo diesel e se destacam pelo alto potencial de contaminação de água subterrâneas, sendo o benzeno o mais nocivo a saúde humana.

O benzeno é um líquido volátil, estável e incolor. Segundo a Agência Internacional de Pesquisa de Câncer (IARC) e a Lista Nacional de Agentes Cancerígenos para Humanos (LINACH,2014), o benzeno encontra-se na lista de substâncias cancerígenas. Devido a sua elevada volatilidade a absorção pelo corpo humano pode ser dada mais frequente pela respiração ou ingestão. A exposição

aguda ao benzeno, exposição por um curto período de tempo, pode provocar edema pulmonar e afetar o sistema nervoso central, causando perda de consciência, tontura, náusea, taquicardia, dificuldade respiratória, tremores, convulsões, dor de cabeça e até morte por arritmia cardíaca (ATSDR, 2007). Os casos de intoxicação crônica, após varias exposições por um longo período de tempo, envolvem depressão da medula óssea que pode chegar a causar leucopenia, anemia e trombocitopenia, alteração nos cromossomos, sistema imunológico e câncer. O National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) estabelece como 500 ppm índice imediatamente perigoso à vida e à saúde (IPVS) (NIOSH, 1994).

O tolueno é incolor, inflamável com odor característico. Facilmente absorvido pelos pulmões, o tolueno pode chegar a ser retido no organismo cerca de 40 a 60% da quantidade inalada. A exposição ao tolueno, assim como o benzeno, também afeta o sistema nervoso central causando fadiga, sonolência, dores de cabeça, enjoo e até arritmia cardíaca na exposição aguda. A exposição crônica por sua vez atinge aparelhos respiratórios e olhos geralmente associados a dor de garganta, tontura, dor de cabeça e insônia. Já o tolueno é classificado como Grupo D (U.S.EPA,2004b), não carcinogênico, apesar da sua alta toxicidade.

O etilbenzeno é um derivado etilado do benzeno. Assim como o tolueno, o etilbenzeno também é classificado como Grupo D, que não apresenta evidencia de carcinogenicidade em humanos (U.S.EPA,2004b). A exposição ao etilbenzeno é similar também ao tolueno, causando problemas no aparelho respiratório e olhos, dor de garganta, irritação nos olhos ou até mesmo tonturas. Enquanto a exposição crônica pode afetar o sangue, em estudo com animais constatou problemas no sangue fígado e rim.

Os xilenos podem atingir tecidos adiposos e o cérebro, seus efeitos em exposição aguda são danos neurológicos e irritação nos olhos e garganta, porém reversíveis. A exposição crônica aos xilenos causa danos neurológicos irreversíveis. Os xilenos também são classificados como grupo D (U.S.EPA,2004).

A figura 3 apresenta as estruturas químicas dos compostos BTEX.

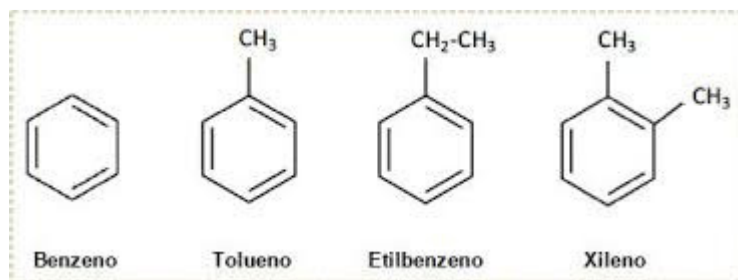


Figura 4 – Estrutura Química dos Compostos BTEX. Fonte: SERBENT (2012).

3.2.2 HPAs

Segundo NETTO, (2000), os HPAs são caracterizados por 2 ou mais anéis aromáticos condensados. Os HPAs podem ter duas origens, a pirogênica e apetrogênica, a primeira resulta da combustão incompleta da matéria orgânica em altas temperaturas em curto tempo de duração, enquanto a segunda a partir da maturação lenta da matéria orgânica (Burgess et. al., 2003).

Considerados nocivos à saúde humana, os HPAs estão relacionados ao aumento na incidência de câncer. Devido as suas características fisio-químicas são classificados como compostos orgânicos semivoláteis (SVOCs) e podem ser absorvidos através de gases ou material particulado pelo homem. Quando inalados, os HPAs em fase gasosa, são metabolizados e eliminados rapidamente, geralmente através das fezes ou urina. Os HPAs podem ainda ser absorvidos através da ingestão, quando encontrados na água subterrânea contaminada por material constituinte adsorvidos com HPAs.

Os HPAs são classificados como grupo B2, segundo a U.S EPA, ou seja, são carcinogênicos para diversas espécies. No caso dos HPAs podem gerar diversos tipos de câncer, porém não é possível determinar os efeitos causados por cada composto. Todavia, foi constatado que HPAs podem causar: linfomas malignos, carcinomas na pele, mutações genéticas entre outros (U.S.EPA, 2004b).

3.3 Legislação

3.3.1 CONAMA

O Conselho nacional do meio ambiente (CONAMA) é responsável por definir os valores orientadores de qualidade do solo, ou seja, os níveis de contaminantes no solo e as diretrizes para o gerenciamento das áreas contaminadas, através da resolução 420 de 28 de dezembro de 2009.

A Tabela 2 apresenta os valores orientadores do CONAMA 420/09 e da CETESB para qualidade do solo e água subterrânea, em relação aos compostos BTEX e HPA.

Tabela 2 - Valores orientadores do CONAMA 420/09 e da CETESB para qualidade do solo e água subterrânea

| BTEX e HPA | | | | |
|----------------|------------------------|--------|---------------------------|--------|
| COMPOSTOS | Água subterrânea -µg/L | | Solo - mg/kg de peso seco | |
| | CONAMA Nº 420/2009 | CETESB | CONAMA Nº 420/2009 | CETESB |
| Benzeno | 5 | 5 | 0,15 | 0,15 |
| Tolueno | 700 | 700 | 75,00 | 75,00 |
| Etilbenzeno | 300 | 300 | 95,00 | 95,00 |
| Xilenos Totais | 500* | 500* | 70,00 | 70,00 |
| HPA (soma) | * | * | * | * |

* valores específicos para cada hidrocarboneto

Fonte: Adaptado CONAMA 420/09 e CETESB 2014

Os Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Preservação e de Investigação são essenciais para qualquer gerenciamento de áreas contaminadas. As substâncias químicas presentes no solo possuem valor de referência de qualidade (VRQ), definindo a qualidade natural do solo. O CONAMA ainda define os Valores de Prevenção através de ensaios de fitotoxicidade ou em avaliação de risco ecológico. Os Valores de Investigação são definidos a partir da avaliação de risco a saúde humana em função dos cenários de exposição padronizados para diferentes usos e ocupação do solo.

As áreas contaminadas são divididas em quatro classes dependendo da concentração dos contaminantes, segundo o CONAMA. Na classe 1 os solos apresentam concentrações menores ou iguais ao VRQ; na classe 2 pelo menos uma substância química esta acima do VRQ e menor ou igual ao valor de prevenção(VP);

a classe 3 os solos apresentam concentrações de pelo menos um substancia química maior que o VP e menor ao VP; e o solo de classe 4 apresenta concentrações de pelo menos uma substancia química maio que o valor de investigação (VI).

Segundo o CONAMA empreendimentos que realizem atividades consideradas com potencial de contaminação devem tomar medidas para prevenir e controlar a qualidade do solo. Assim, deve ser feito um monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas e apresentado um relatório técnico conclusivo do monitoramento. Após o monitoramento e classificação do solo as seguintes medidas podem ser adotadas: nenhuma ação; avaliação do órgão ambiental se a substancia química é natural ou proveniente de fonte poluidora e indicativos de ações preventivas de controle; identificação da fonte poluidora, avaliação da ocorrência da substancia, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e água subterrânea; em último caso devem ser seguidas as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas.

São definidos pelo CONAMA alguns termos para auxiliar no gerenciamento de áreas contaminadas: avaliação de risco, quando os riscos a saúde humana são identificados, avaliados e quantificados; avaliação preliminar, processo no qual através de informações históricas é avaliado se existe indícios de contaminação na área.

O fluxograma a seguir indica as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas segundo CONAMA.

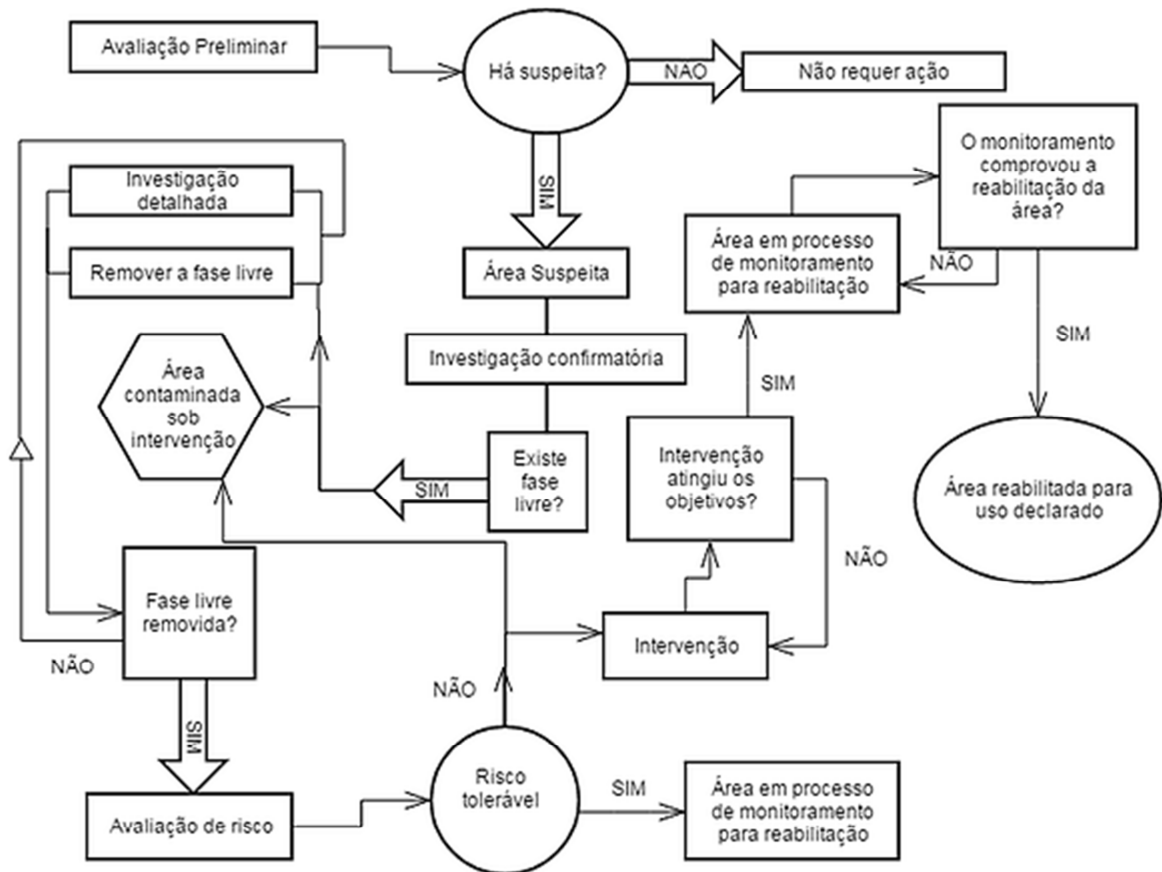


Figura 5 – Fluxograma simplificado e adaptado das diretrizes para gerenciamento das áreas contaminadas. Fonte: CONAMA, 2009.

3.3.2 CETESB

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desenvolveu o “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas”, apesar da CETESB ser responsável por ações de controle ambiental e problemas de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, os demais estados brasileiros também utilizam este manual. O objetivo é diminuir os riscos gerados por áreas contaminadas para o meio ambiente e a saúde humana. A metodologia proposta no manual envolve a identificação das áreas e a recuperação através de medidas corretivas.

Áreas podem ser identificadas como: áreas potencialmente contaminadas (AP), áreas suspeitas de contaminação (AS) e áreas contaminadas (AC). Áreas contaminadas são locais nos quais houve contaminação comprovada por alguma substância ou resíduo e que pode causar danos à saúde humana (CETESB,2001). Assim, após a identificação da área, é feita a Avaliação Preliminar que consiste no levantamento das informações iniciais para comprovação da contaminação. A partir

deste diagnóstico inicial medidas emergenciais podem ser adotadas, além de essencial para o planejamento das próximas etapas do gerenciamento.

A investigação confirmatória é o processo no qual são comparadas as análises de solo e água subterrânea com valores de intervenção de lista orientadoras. Com base na Avaliação Preliminar que são definidos pontos de coleta de amostras e profundidade de investigação, indicada quando a área é classificada como área supostamente contaminada se confirmada a contaminação a área passa a ser classificada como área contaminada e deverá ser planejado o processo de recuperação.

As etapas do processo de recuperação são: investigação detalhada, avaliação de risco, investigação para remediação, projeto de remediação, monitoramento e finalização das medidas de remediação. Na primeira etapa, investigação detalhada, são avaliadas as dimensões da contaminação através das características do contaminante levando em consideração o meio físico da área afetada. São consideradas a pluma de contaminação, a evolução da contaminação e o sentido que o contaminante migra em relação ao tempo e espaço. A segunda etapa, avaliação de risco, determina a quantificação e identificação dos riscos que poderá definir o grau de remediação necessário para área.

A remediação tem início quando o projeto de remediação, proposto pelo responsável da área, é aprovado pelo órgão ambiental, devendo conter detalhes técnicos do projeto e plano de ação para as atividades de remediação baseada na investigação para remediação. O monitoramento deve ser feito continuamente durante o processo de remediação e as informações devem ser submetidas ao órgão de controle ambiental. Quando os contaminantes ficarem abaixo dos valores orientadores estabelecidos para a região, o sistema de remediação é encerrado. A área, portanto, pode ser classificada como AP, se ainda existir uma atividade potencialmente contaminadora na área ou AC, caso continue existindo contaminação na área. A área é excluída do cadastro quando toda contaminação for removida e a área não apresente atividade potencialmente contaminadora (CETEBS, 2001).

A Figura 6 apresenta um fluxograma das etapas do gerenciamento das áreas contaminadas.

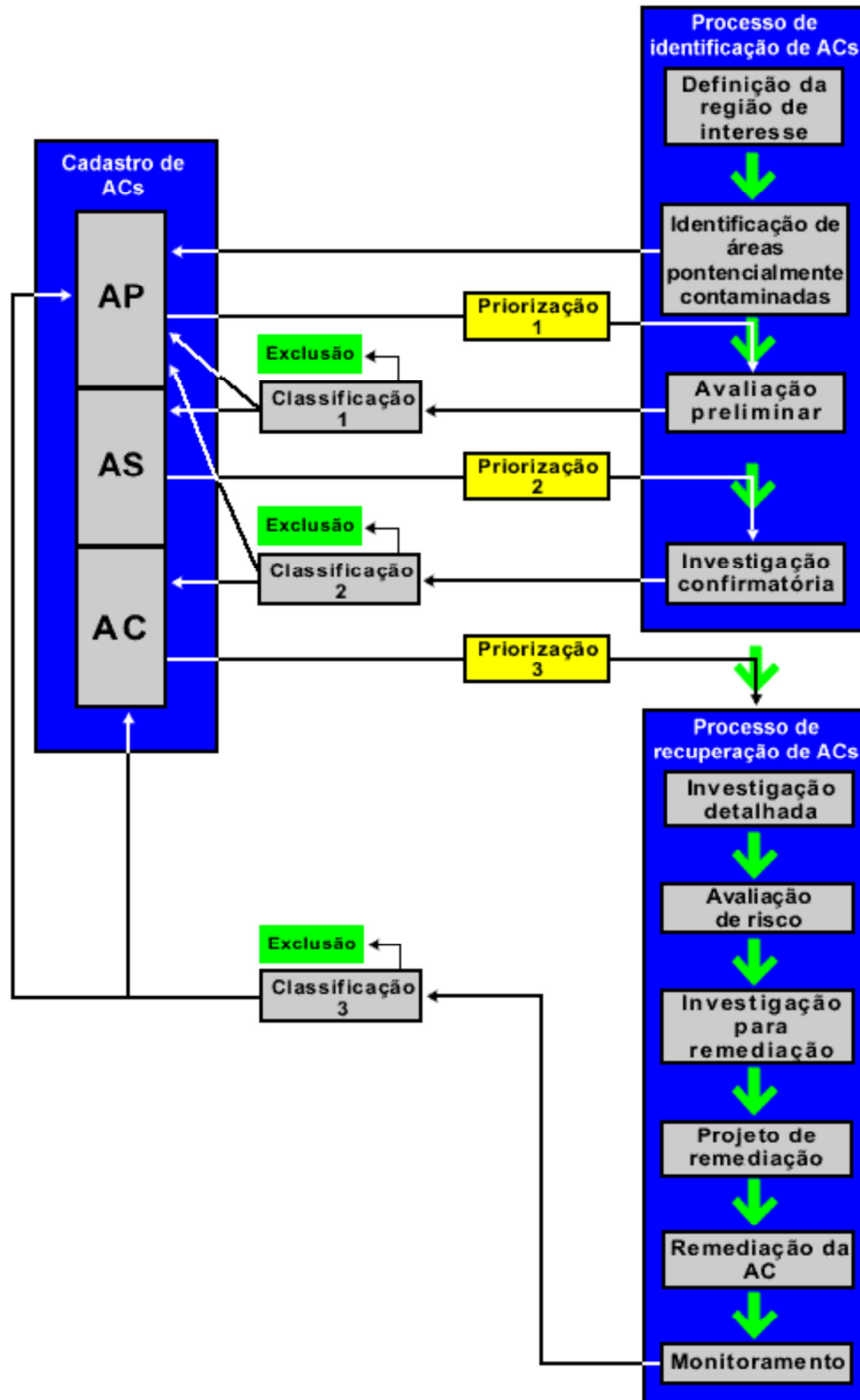


Figura 6 - Fluxograma das etapas do gerenciamento das áreas contaminadas. Fonte: CETESB, 2001.

3.4 Remediação de solos e águas subterrâneas

A remediação é o processo de recuperação de áreas contaminadas, reduzindo os teores dos contaminantes a níveis referentes aos valores orientadores do órgão ambiental e níveis que não ofereçam risco a saúde humana, através de um conjunto de ações de intervenção para a reabilitação da área (CONAMA, 2009). As técnicas de remediação *in situ* e *on site* são as mais utilizadas devido a sua praticidade, economia e a inexistência de contaminações secundárias.

A escolha da técnica de remediação deve ser feita com base no estudo da área e objetivos que devem a serem alcançados, deve ser levado em consideração, principalmente, as características do contaminante, as características geológicas e hidrogeológicas da área e a profundidade do lençol freático. As técnicas de remediação são: biorremediação, escavação, remoção e destinação do solo, bombeamento e tratamento da água subterrânea (*pump and treat*), extração multifásica MPE, extração de vapores do solo, injeção de ar, barreiras reativas permeáveis, estabilização, tecnologias térmicas, oxidação química *in situ* e redução química *in situ*, dentre outras.

Segundo a CETESB em 2013 a técnica de remediação para tratamento das águas subterrâneas mais utilizada no estado de São Paulo foi o método por bombeamento e tratamento, extração multifásica e recuperação de fase livre. Enquanto para tratamento de solo os métodos de remoção de solo/resíduo e a extração de vapores foram as mais utilizadas.

3.4.1 Sistema de Extração Multi-Fásica (MPE)

O sistema de extração multifásica, conhecido pela sigla em inglês MPE (*Multi Phase Extraction*), vem sendo muito utilizado em postos de combustível, devido sua eficiência e por sua viabilidade econômica. O sistema, derivado do sistema de extração de vapores do solo (SVE), remedia a área através da remoção por volatilização, dissolução e por transporte advectivo.

O sistema funciona através de uma bomba a vácuo ligada a poços de extração na área contaminada, assim é gerada uma zona de influencia do sistema em toda a extensão da pluma de contaminação. A fase livre, fase vapor e fase

dissolvida são removidas através do gradiente de pressão gerado pela bomba de vácuo e, então, separadas, tratadas e descartadas de acordo com a legislação.

Os poços de extração são responsáveis pelo bombeamento na superfície do nível d'água ou abaixo dela, em conjunto com o vácuo, responsável por remover os vapores do solo. No processo de bombeamento e tratamento, o fluxo de água subterrânea bombeada pelo poço de extração gera uma depressão na superfície potenciométrica influenciando toda a zona de captura. No sistema de extração multifásica MPE a depressão na superfície potenciométrica é intensificada devido ao vácuo aplicado, aumentando a taxa de remoção de contaminantes dissolvidos (NYER, 2001). A figura 7 apresenta um esquema da zona de captura.

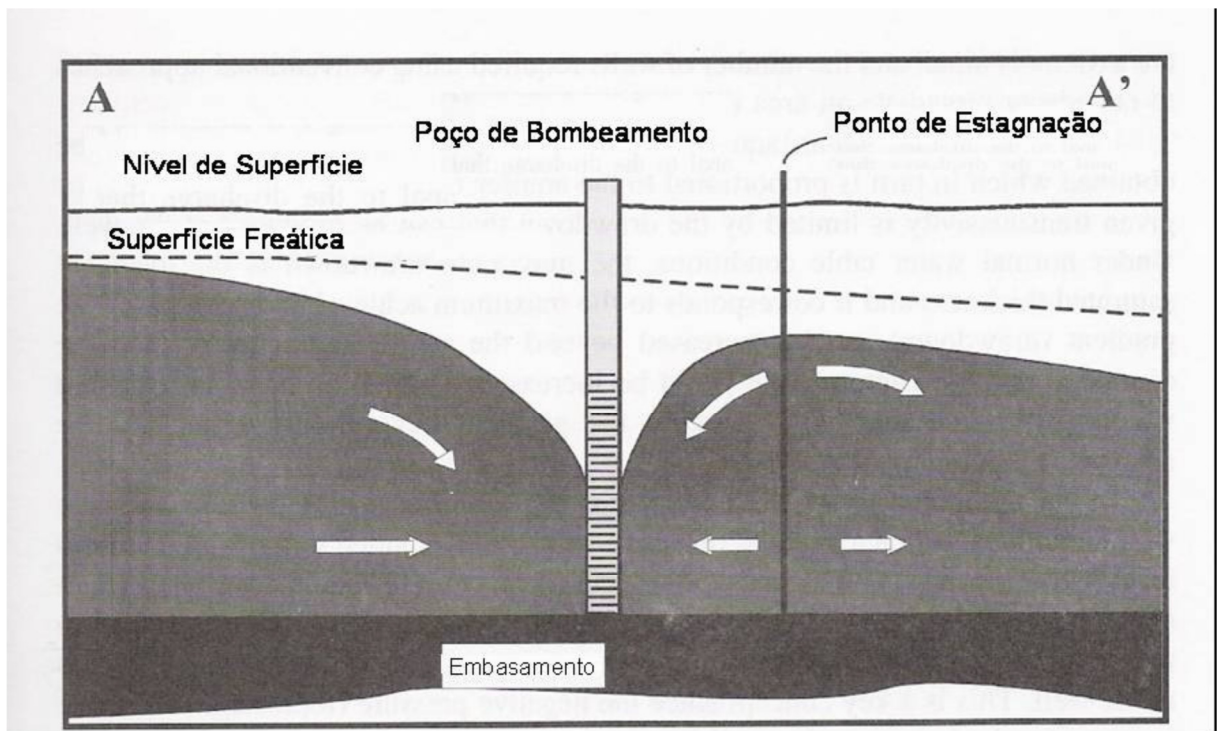


Figura 7 - Esquema da zona de captura. Fonte: Adaptado NYER, 2001).

A figura 8, a seguir, mostra o comportamento da água próxima ao poço de extração nas diferentes situações. Quando não houver bombeamento, o rebaixamento será igual à diferença no nível de água estático, mostrado no esquema A, e o nível de água dinâmico, mostrado no esquema B. A situação muda quando o poço de extração estiver somente sob o efeito do vácuo, resultando em um aumento do lençol freático igual ao vácuo aplicado. O sistema de extração multifásica está representado no esquema D, no qual a combinação do

bombeamento e vácuo aumenta a taxa de extração de águas subterrâneas (SUTHERSAN, 1997).

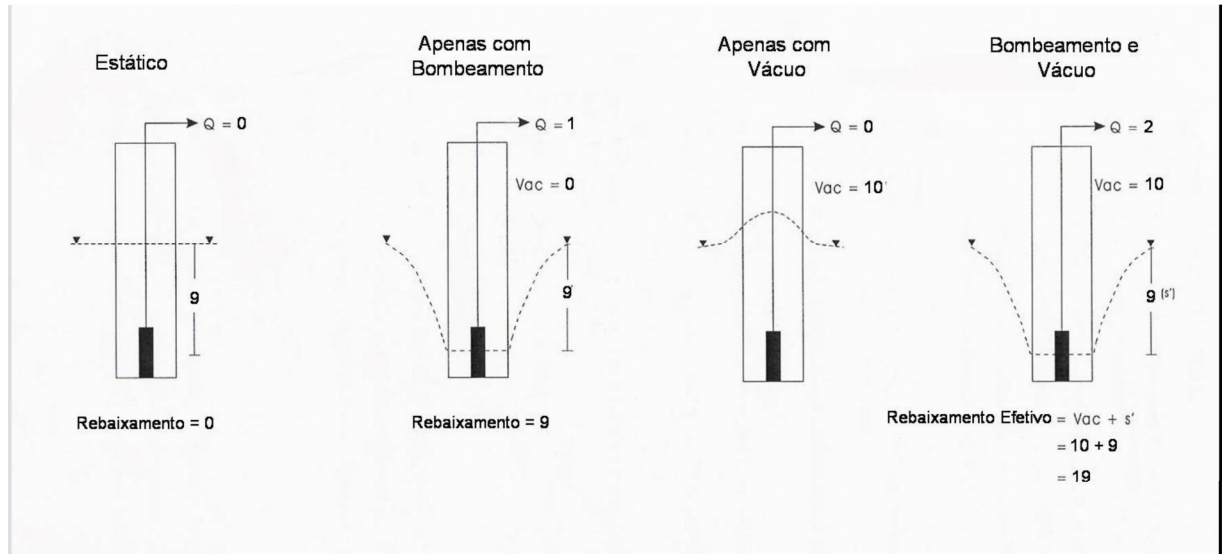


Figura 8 - Comportamento da água próxima ao poço de extração. Fonte: Adaptado do EPA, 1999.

Segundo a EPA (1999), as vantagens e desvantagens da implantação do sistema de extração multifásica MPE são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens da implantação do sistema de extração multifásica MPE

| Vantagens | Desvantagens |
|---|---|
| Potencial biodegradação aeróbica de BTEX dissolvidos | Requer bomba de vácuo ou soprador |
| Eficaz em solos de moderada a baixa permeabilidade. | Potencialmente maiores requisitos de tratamento, como resultado de emulsões NAPL e VOC |
| Remoção eficaz em locais de baixa permeabilidade, onde a única outra opção viável de reparação seria escavação. | Arranque inicial e os períodos de ajuste podem ser mais longos em comparação com abordagens convencionais de bombeamento. |
| Eficaz para remediação simultânea de fase dissolvida, vapor, residual e não aquosos. | Custos mais elevados de capital em comparação com abordagens convencionais de bombeamento. |
| Cria potencialmente grande raio de influência e aumentou zona de captura. | Limitações de profundidade se aplicam a algumas configurações MPE. |
| Aumenta a recuperação de fluido total, minimiza o levantamento e manchas de produto gratuito e maximiza a transmissividade do aquífero na cabeça do poço. | |
| Redução do número de poços necessários para recuperação. | |
| Eficaz para a remediação da zona capilar. | |
| Reduz a duração da reparação dos danos em comparação com abordagens convencionais de bombeamento. | |

Fonte: Adaptado EPA, 1999

4 METODOLOGIA DO ESTUDO

A metodologia utilizada neste projeto envolveu a escolha de uma área como estudo de caso com histórico de contaminação. O estudo de caso é essencial para tornar os resultados mais próximos da realidade, a partir os dados reais de campo. A área escolhida foi a de um Posto de Serviços Automotivos localizada na cidade de Araucária no estado do Paraná. Os dados prévios da área, monitoramento do nível de água, dados de sondagem, levantamento planoaltimétrico e análises laboratoriais de água subterrânea, já realizados, estavam disponíveis para este estudo.

A partir dos dados obtidos foi possível desenvolver um projeto de implantação do sistema de extração multifásica (MPE).

4.1 Monitoramento do nível d'água

O monitoramento do nível d'água dos poços de monitoramento é importante para a verificação da existência de fase livre, desenvolvimento do mapa potenciométrico e acompanhamento do nível da água subterrânea. Segundo Blake e Hall (1984), pode ocorrer o aumento aparente da espessura de fase livre devido à variação descendente do nível d'água afetando a mobilidade de hidrocarbonetos residuais anteriormente retidos abaixo do nível d'água. Na condição de elevação do nível de água pode ocorrer o inverso e a espessura aparente da fase livre diminuir, sendo parte retida entre os poros e parte transformada em fase residual ou adsorvida.

O nível d'água dos poços de monitoramento é obtido utilizando um medidor eletrônico, que deve ser descontaminado entre cada poço de monitoramento através da lavagem com água deionizada e detergente não fosfatado, conforme norma NBR 15.495 (ABNT, 2009). Segundo a empresa especializada em remediação ambiental, o medidor eletrônico funciona com uma marcação milimétrica conectado a um sensor de interface em sua extremidade inferior que emite um sinal sonoro ao atingir o nível d'água. O sinal sonoro se torna contínuo ao entrar em contato com a fase livre se existente, sendo necessária a utilização de um amostrador descartável denominado bailer transparente para medição da espessura da fase livre. A espessura da fase livre é visível no bailer transparentes em resposta as características do contaminante, pois os hidrocarbonetos são parcialmente miscíveis com a água subterrânea.

4.2 Sondagens e Instalação de Poços

Os poços de monitoramento têm como objetivo monitorar a área estudada, permitindo obtenção de amostras representativas da qualidade de água, obtenção do nível da água subterrânea e caracterização hidrogeológica adequada da área. A instalação dos poços de monitoramento requer uma metodologia específica, explicitada na norma “Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e Construção” NBR 15.495 (ABNT, 2009).

A instalação do poço de monitoramento depende da sondagem executada em trado mecanizado ou manual de quatro ou seis polegadas de diâmetro. Durante a execução das sondagens são feitas análises tátil do solo para desenvolvimento dos perfis litológicos e averiguação da existência de contaminação a partir do cheiro, cor e textura. A partir das sondagens os poços de monitoramento são instalados em tubos de PVC geomecanizado de duas e quatro polegadas de diâmetro interno e filtro de mesmo material com renhuras que variam de 0,25 a 1,25 mm, de acordo com a granulometria local. O pré-filtro, de material inerte com granulometria específica, preenche o espaço anular entre tubo e filtro com a finalidade de reter material e permitir a passagem da água subterrânea. O restante do espaço deve ser preenchido por betonina, material de argila expansiva, e por fim é essencial a aplicação da calda de cimento com baixa permeabilidade com o intuito de evitar o movimento das águas subterrâneas. A estrutura do poço de monitoramento é protegida com um cap ou plugue e uma câmara de calçada com tampa de ferro nivelada ao terreno externo.

Além da averiguação da existência de contaminação, durante a execução das sondagens é importante à identificação da existência de compostos orgânicos voláteis (VOC). Assim, a cada metro de sondagem é realizada a coleta de solo para medição de VOC através de um aparelho eletrônico. Na área estudada as concentrações de VOC foram medidas com um aparelho da marca *Ion Science*, modelo *Phocheck Tiger*, porém todas as medições foram nulas.

4.3 Levantamento Planialtimétrico

O levantamento planialtimétrico tem como objetivo determinar o sentido de migração das águas subterrâneas a partir do nível d'água e cota topográfica. Através da equação 1, é possível determinar as cargas hidráulicas e delinear a superfície potenciométrica local.

$$QH = Cc - NA$$

Equação 1 - Cargas hidráulicas

Onde QH representa a carga hidráulica em metros, Cc a cota corrigida em metros e NA o nível d'água em metros. A partir de um ponto com cota conhecida é possível determinar as cotas dos demais pontos através do processo de nivelamento geométrico com irradiações. As cotas topográficas, portanto, são relativas e dependem do ponto arbitrado com valor de 100 m.

4.4 Amostragem de água subterrânea

A partir dos poços de monitoramento é possível fazer a amostragem de água subterrânea, que determina a qualidade da água e, assim, comprova a contaminação. As análises de água são feitas para os principais contaminantes, BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), e os resultados obtidos são comparados com os valores orientadores da Resolução CONAMA nº 420/2009. A partir das concentrações, de cada contaminante encontrado, é possível gerar a pluma de contaminação dissolvida na água subterrânea e mensurar a contaminação da área.

A metodologia utilizada na amostragem é baseada na ABNT/NBR 15847/2010 - Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga (ABN, 2010). Utilizando bailers descartáveis, individuais para cada poço, a água é coletada através do método de purga, garantindo a menor incerteza possível a química da água subterrânea e representando da melhor maneira possível a área analisada.

As amostras coletadas e acondicionadas em frascos específicos para análises químicas são mantidas a uma temperatura inferior a 4°C e enviadas para o laboratório.

4.5 Avaliação da presença de VOC (compostos orgânicos voláteis)

Presentes na atmosfera são compostos que vaporizam facilmente devido sua alta pressão de vapor, maior que 10 Pa à 25°C, e participam de reações fotoquímicas, segundo a Environmental Protection Agency (EPA). Sua composição é a base de carbono, com 15 átomos de carbono ou menos, e temperatura de ebulição de 260°C à pressão atmosférica. A fácil exposição aos VOCs e sua nocividade, o torna um contaminante preocupante à saúde humana. Assim a avaliação de VOCs auxilia no mapeamento da contaminação, determinando a presença de vapores orgânicos no solo superficial.

As medições dos VOCs pode ser feitas através de um trado de 1" de diâmetro com uma sonda de 3/4" de diâmetro conectada por uma conectada por mangueira de teflon ao aparelho que mede gases, segundo as diretrizes da CETESB "DECISÃO DE DIRETORIA N° 010/2006/C". Neste procedimento é desenvolvida uma malha com pontos de perfuração simétricos, com ênfase nas áreas de suspeita de contaminação, e realizadas perfurações de 0,5m e 1m. Apesar de ser o método mais indicado para medição de VOCs, ao realizar as sondagens para instalação dos poços de monitoramento, é possível medir os VOC através de amostras de solo coletadas a cada metro de sondagens através do aparelho da marco *Ion Science*, modelo *Phocheck Tiger*.

5 RESULTADOS

5.1 Estudo de caso

5.1.1 Caracterização do empreendimento

O posto de serviços automotivos localiza-se no município de Araucária/PR, ocupando uma área de, aproximadamente, 6.500 m². O empreendimento opera como cliente revendedor, recebendo, armazenando e distribuindo gasolina comum, gasolina aditivada, etanol e diesel comum para o abastecimento de veículos.

O empreendimento dispõe de áreas de tancagem, abastecimento, lavagem de veículos e troca de óleo, pavimentadas em concreto com bom estado de conservação e apresentam canaletas de drenagem ligadas a caixa separadora de água e óleo (SAO).

A troca de óleo é realizada em valetas localizadas na área de abastecimento e pavimentadas em concreto. O óleo queimado é acondicionado em tanque subterrâneo e a destinação é feita por empresa especializada.

A água utilizada para uso geral e consumo humano é fornecida pela concessionária local SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Para lavagem de veículos é utilizada água proveniente de poço profundo existente na área do empreendimento.

O empreendimento opera com 03 tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, sendo 01 pleno e 02 bipartidos, cujas descrições encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição dos Tanques

| TANQUE | Capacidade (L) | Produto | Parede | Situação | Posição | Idade (anos) |
|---------------|-----------------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|---------------------|
| TQ-01 | 15.000/15.000 | D/ET | Dupla | Ativo | Subterrâneo | 7 |
| TQ-02 | 15.000/15.000 | GA/GC | Dupla | Ativo | Subterrâneo | 7 |
| TQ-03 | 30.000 | DC | Dupla | Ativo | Subterrâneo | 7 |
| TQ-04 | 30.000 | DC | Dupla | Ativo | Subterrâneo | 7 |
| TQ-05 | 30.000 | DC | Dupla | Ativo | Subterrâneo | 7 |
| TQ-06 | 5.000 | OQ | Dupla | Ativo | Subterrâneo | 7 |

GC: Gasolina Comum; GA: Gasolina Aditivada; DC: Diesel Comum; ET: Etanol.

Fonte: Adaptada da empresa especializada em remediação ambiental

Os tanques de armazenamento de combustível possuem parede dupla, boca de visita com *sump's*, apresentam descarga selada e câmara de contenção de descarga.

O empreendimento consta a existência de 28 poços de monitoramento na área do empreendimento (PM-01 ao PM-24). Segundo a empresa especializada, não foram constatados indícios de vazamentos nas bombas, filtros, mangueiras, bicos de abastecimento e/ou indícios de derrames nos pontos de descarga de combustível.

5.1.2 Caracterização geológica e hidrogeológica da área

A cidade de Araucária está inserida na Bacia do Paraná e na Meso-região Metropolitana, geograficamente corresponde ao Primeiro Planalto. Segundo o relatório “Potencialidades e fragilidades das rochas do Estado do Paraná” (MINEROPAR, 2006) Araucária está localizada na região 1 denominada cristalino, na qual diversos tipos litológicos são representados, ocupando cerca de 10% do território paranaense (21.000 km²). A região do cristalino tem grande potencial mineral, principalmente para minerais metálico, além de intensa exploração de matérias primas para a construção civil.

A região de Araucária possui depósitos constituídos por argilitos, arcósios, depósitos rudáceos e margas, da Formação Guabirotuba, aluviões, Complexo Cristalino (Embasamento) e Formação Guabirotuba (Bacia Sedimentar de Curitiba). As altitudes na região variando entre 860 e 940 metros, dividida em três aspectos morfogenéticos, as Regiões Planas, Colinas Baixas e Arredondas e Planícies Aluvionares.

Segundo a Prefeitura de Araucária, a irrigação é feita por quatro bacias hidrográficas: Rio Iguaçu, Rio Passaúna, Rio Barigui e Rio Cachoeira. Devido às declividades naturais da região situada entre a Represa do Passaúna e do Rio Barigui, a drenagem se torna favorável, com profundidade do lençol freático situado entre 3 e 6 metros nas partes mais altas e 1 metro nas partes aluvionares.

5.1.3 Histórico da área

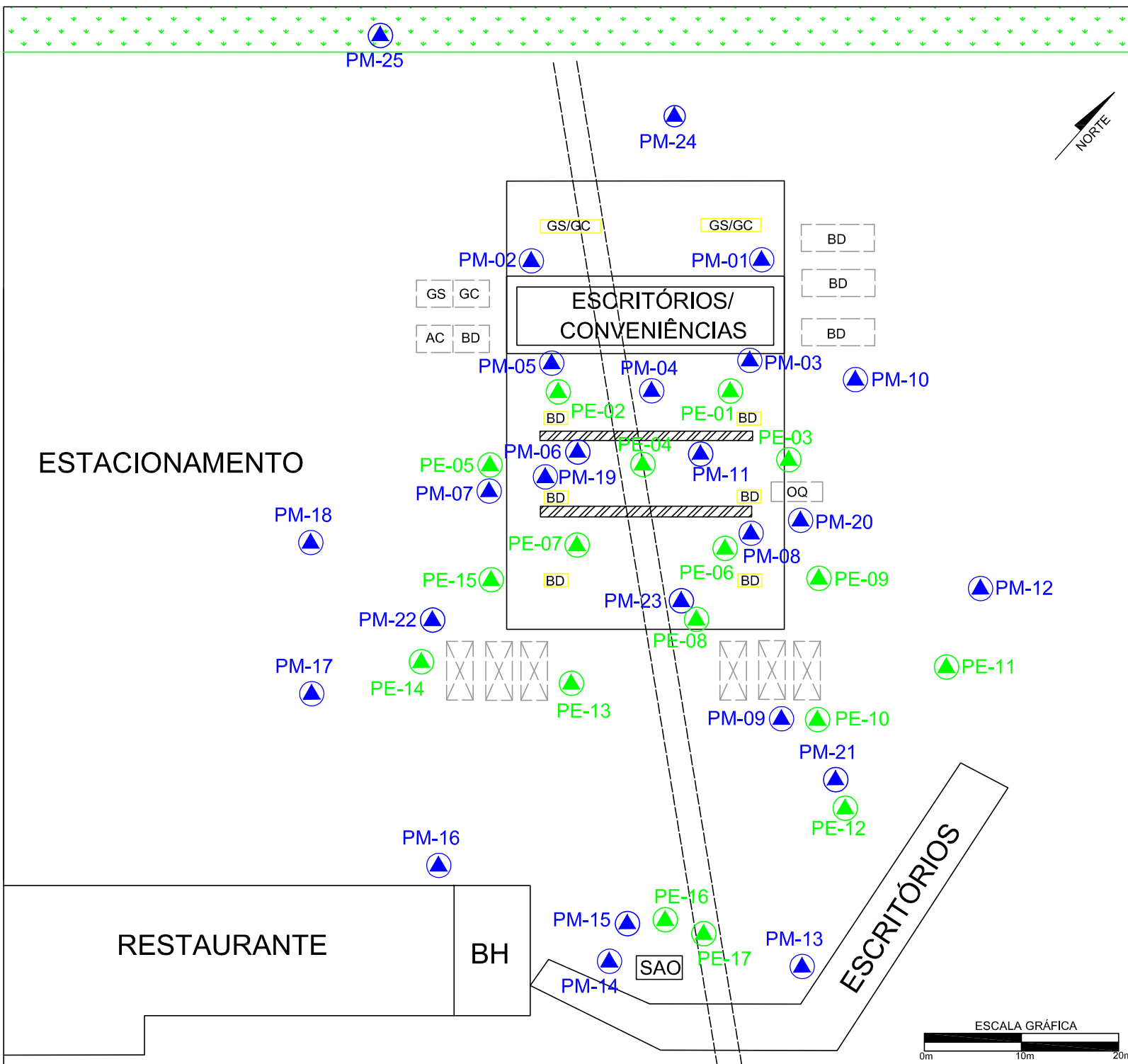
O histórico da área foi fornecido pela empresa especializada de remediação, de acordo com informações obtidas junto ao responsável pelo empreendimento. Segundo o responsável, houve dois vazamentos no empreendimento, o primeiro de 4 mil litros de diesel a partir das linhas subterrâneas em 2005 e o segundo de 10 mil litros de diesel dos tanques subterrâneos em 2006.

Devido a constante contaminação da área, diversas empresas especializadas em remediação realizaram estudos no local desde 2006. Em 2006 foram realizadas investigações ambientais e em 2007 foi desenvolvido um relatório de estanqueidade. Ainda em 2007 foi realizado o diagnóstico complementar com análise de risco RBCA Tier 2 na área.











A fase livre estava presente em diversos poços de monitoramento, com espessuras variando de 0,01m a 0,42m. Em julho de 2010, foi realizada uma campanha analítica na qual foram apresentados concentrações acima dos valores de referência para os compostos: benzeno, xileno totais, tolueno, etilbenzeno, fenantreno e criseno.

A Figura 9 apresenta a planta baixa do empreendimento e os poços de monitoramento existentes.

Figura 9 - Planta baixa do empreendimento



Legenda:

-  Tanque subterrâneo bicompartimentado
-  Tanque subterrâneo simples
-  Tanque subterrâneo desativado
-  Canteiro
-  PM-01 Poço de Monitoramento Existente
-  PE-01 Poço de Extração
-  Canalização
-  Caixa d'água
-  Valas
-  Bomba de abastecimento
- BD** Bomba de Diesel
- GC** Gasolina Comum
- AC** Álcool Comum
- GS** Gasolina Supra

Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

5.2 Monitoramento do nível d'água

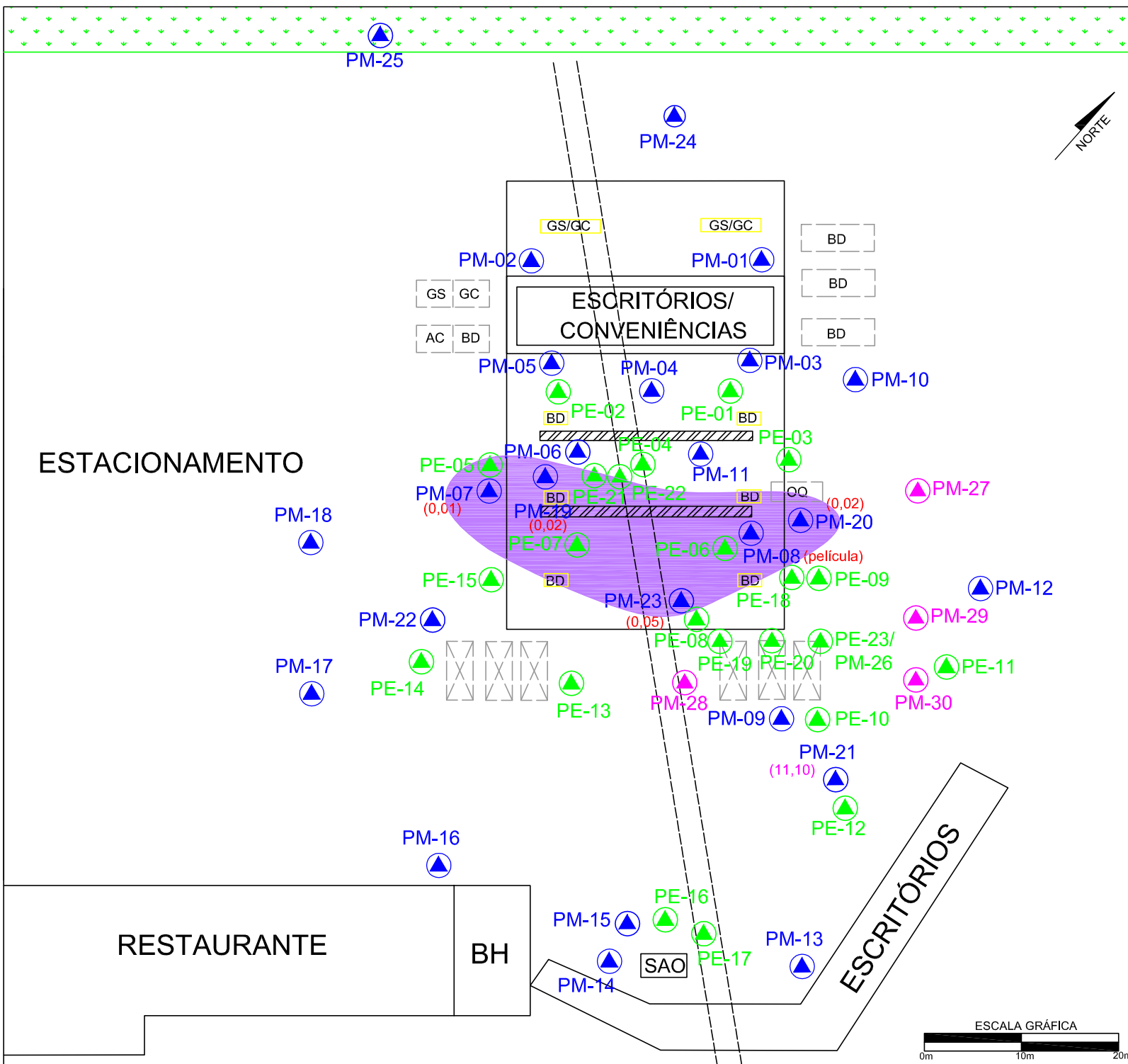
A tabela 5 apresenta os dados de monitoramento da água subterrânea e a ausência ou presença de fase livre no poço de monitoramento com as espessuras respectivas. Os poços de monitoramento que não apresentam nível de água são devido à presença de fase livre que dificulta o monitoramento. O mapeamento da pluma de contaminação de fase livre é feito a partir dos dados da tabela 5, segundo diretrizes da CETESB Decisão de Diretoria Nº 263/2009/P (CETESB, 2009). A pluma deve estar restrita à área do empreendimento e ser delimitada de forma adequada, sendo necessário um número suficiente de pontos limitantes a fim de fechar a pluma. Assim, a pluma de fase livre chega à metade da distancia entre um poço de monitoramento que apresenta fase livre e outro poço que não apresentou fase livre. O software AutoCAD foi utilizado para gerar a pluma estimada de fase livre apresentada na Figura 10.

Tabela 5 – Dados de monitoramento da água subterrânea














| <i>Poço</i> | <i>Nível d'água (m)</i> | <i>Hidrocarbonetos (m)</i> |
|-------------|-------------------------|----------------------------|
| PM-01 | - | Ausente |
| PM-02 | 3,48 | Ausente |
| PM-03 | 3,39 | Ausente |
| PM-04 | 3,47 | Ausente |
| PM-05 | 3,53 | Ausente |
| PM-06 | - | Ausente |
| PM-07 | 3,87 | 0,01 |
| PM-08 | - | Película |
| PM-09 | 3,49 | Ausente |
| PM-10 | 3,37 | Ausente |
| PM-11 | 3,41 | Ausente |
| PM-12 | 2,72 | Ausente |
| PM-13 | 3,20 | Ausente |
| PM-14 | 3,59 | Ausente |
| PM-15 | 3,80 | Ausente |
| PM-16 | - | Ausente |
| PM-17 | 4,25 | Ausente |
| PM-18 | 4,30 | Ausente |
| PM-19 | - | 0,02 |
| PM-20 | - | 0,02 |
| PM-21 | 3,43 | Ausente |
| PM-22 | 4,14 | Ausente |
| PM-23 | - | 0,05 |
| PM-24 | 3,61 | Ausente |
| PM-25 | 3,96 | Ausente |

Fonte: Adaptada da empresa especializada em remediação ambiental.

Figura 10 - Pluma estimada de fase dissolvida



Legenda:

-  Tanque subterrâneo bicompartimentado
-  Tanque subterrâneo simples
-  Tanque subterrâneo desativado
-  Canteiro
-  Poço de Monitoramento existente
-  Poço de Extração
-  Poço de monitoramento instalado
-  Canalização
-  Caixa d'água
-  Valas
-  Bomba de abastecimento
-  Espessura de fase livre (m)
-  Pluma de fase livre com espessura

Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

5.3 Levantamento Planialtimétrico

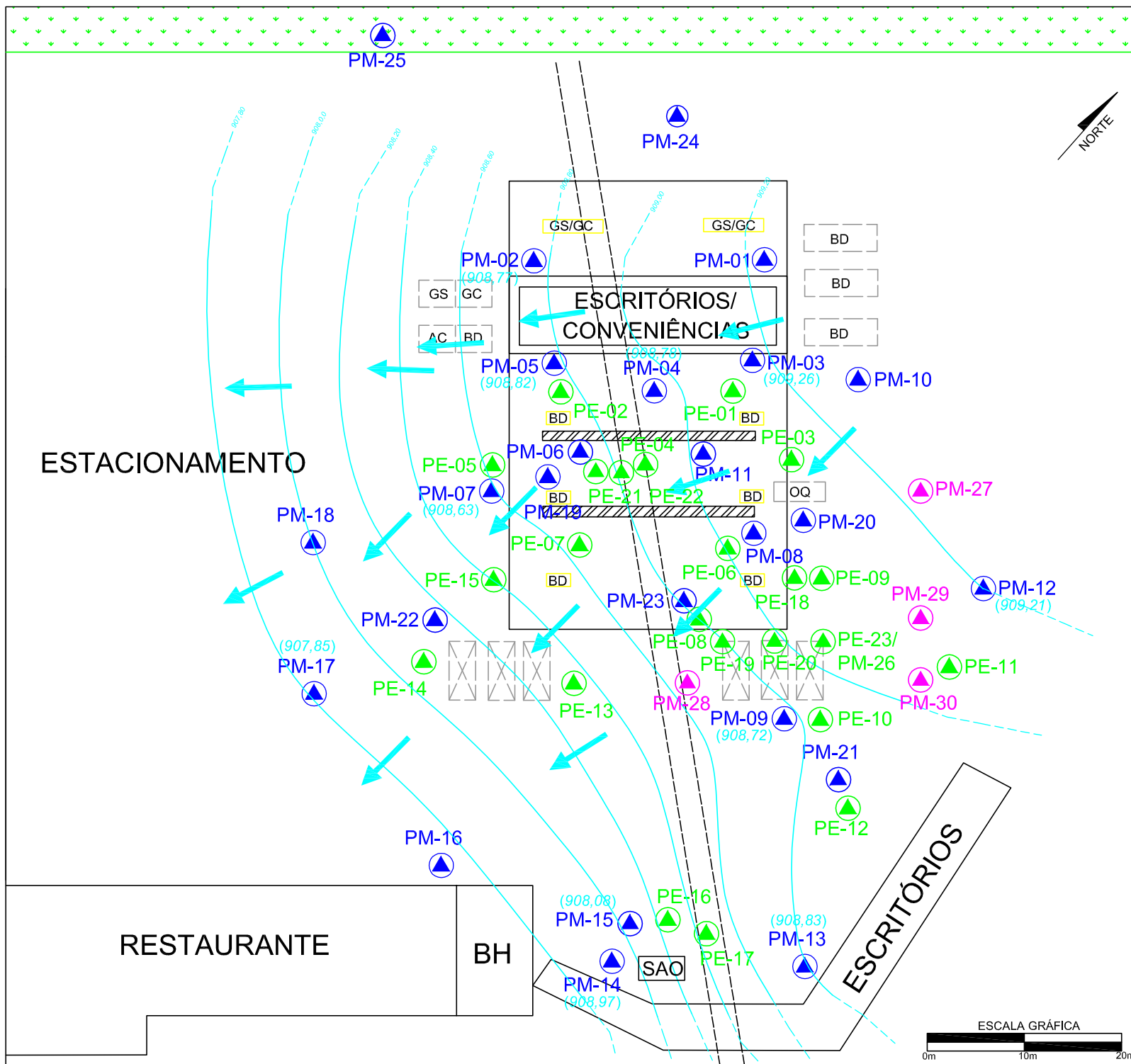
A Tabela 6 apresentada as cotas, profundidade do nível d'água, carga hidráulica corrigida e espessura de fase livre sobrenadante obtida para cada ponto verificado. Em alguns poços não foi possível determinar a carga hidráulica devido à falta de informações. A partir dos dados da Tabela 6 foi gerada a Figura 11, que apresenta o mapa potenciométrico da área.

Tabela 6 – Cálculo das cargas hidráulicas (m)















| POÇO | Cota | Nível d'água | Hidrocarbonetos | Nível d'água corrigido | Carga Hidráulica |
|-------|--------|--------------|-----------------|------------------------|------------------|
| PM-02 | 912,25 | 3,48 | 0,00 | 3,48 | 908,77 |
| PM-03 | 912,65 | 3,39 | 0,00 | 3,39 | 909,26 |
| PM-04 | 912,25 | 3,47 | 0,00 | 3,47 | 908,78 |
| PM-05 | 912,35 | 3,53 | 0,00 | 3,53 | 908,82 |
| PM-07 | 912,50 | 3,87 | 0,00 | 3,87 | 908,63 |
| PM-09 | 912,21 | 3,49 | 0,00 | 3,49 | 908,72 |
| PM-12 | 911,93 | 2,72 | 0,00 | 2,72 | 909,21 |
| PM-13 | 912,03 | 3,20 | 0,00 | 3,20 | 908,83 |
| PM-14 | 912,58 | 3,59 | 0,02 | 3,61 | 908,97 |
| PM-15 | 911,88 | 3,80 | 0,00 | 3,80 | 908,08 |
| PM-17 | 912,10 | 4,25 | 0,00 | 4,25 | 907,85 |

Fonte: Adaptada da empresa especializada em remediação ambiental

Figura 11 - Mapa Potenciométrico



Legenda:

-  Tanque subterrâneo bicompartimentado
-  Tanque subterrâneo simples
-  Tanque subterrâneo desativado
-  Canteiro
-  PM-01 Poço de Monitoramento existente
-  PE-01 Poço de Extração
-  PM-06 Poço de monitoramento instalado
-  Canalização
-  Caixa d'água
-  Valas
-  Bomba de abastecimento
-  Linhas Equipotenciométricas
-  Sentido do Fluxo
-  Carga Hidráulica (m)

Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

ESCALA GRÁFICA



5.4 Sondagens realizadas

A localização dos poços instalados foi definida a partir dos estudos anteriores da área, com o objetivo de tornar a remediação o mais eficiente possível. Assim foram instalados cinco poços de monitoramento e cinco poços de extração. As nomenclaturas são dadas a partir dos poços de monitoramento e extração existentes, assim nas sondagens ST-01, ST-02, ST-03, ST-09 e ST-10 foram instalados os poços de extração PE-09 ao PE-13 e nas sondagens ST-04, ST-05, ST-06, ST-07 e ST-08 foram instalados os poços de monitoramento PM-26 ao PM-30. A profundidade máxima dos poços foi de seis metros, resultando em 53,00 metros de poços instalados com duas polegadas e 55,00 metros de poços instalados com quatro polegadas.

A Tabela 7 apresenta a relação de sondagens com poços de monitoramento e extração instalados e suas respectivas profundidades (m) e diâmetro (pol).

Tabela 7 – Sondagens realizadas e poços de monitoramento instalados

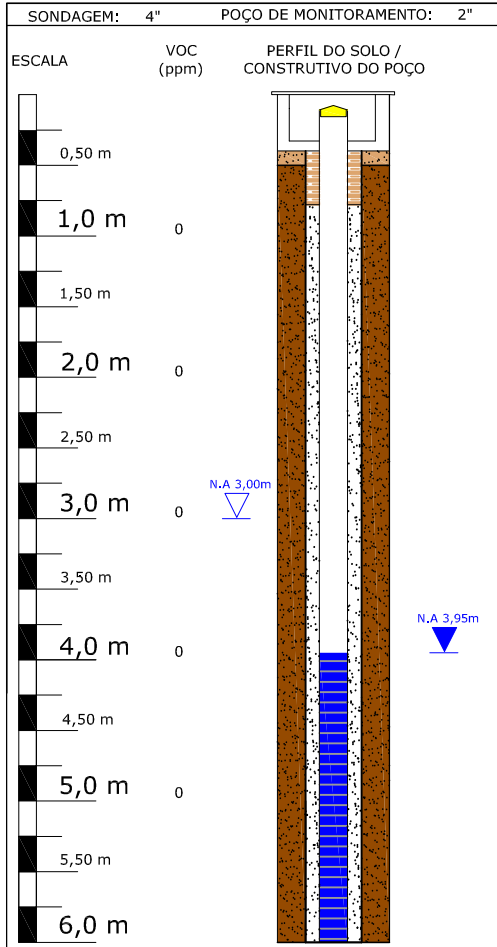
| Sondagem | Diâmetro (pol) | Profundidade (m) | Poço Instalado | Diâmetro (pol) | Profundidade (m) |
|----------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| ST-01 | 4" | 6 | PE-09 | 2" | 6 |
| ST-02 | 4" | 5,5 | PE-10 | 2" | 5 |
| ST-03 | 4" | 5 | PE-11 | 2" | 4,5 |
| ST-04 | 4" | 5,5 | PM-26 | 2" | 5 |
| ST-05 | 4" | 5,5 | PM-28 | 2" | 5,5 |
| ST-06 | 4" | 5,5 | PM-27 | 2" | 5 |
| ST-07 | 4" | 5,5 | PM-29 | 2" | 5,5 |
| ST-08 | 4" | 5,5 | PM-30 | 2" | 5,5 |
| ST-09 | 4" | 5,5 | PE-12 | 2" | 5,5 |
| ST-10 | 4" | 5,5 | PE-13 | 2" | 5,5 |

ST: Sondagem; PE: Poço de extração; PM: Poço de monitoramento;

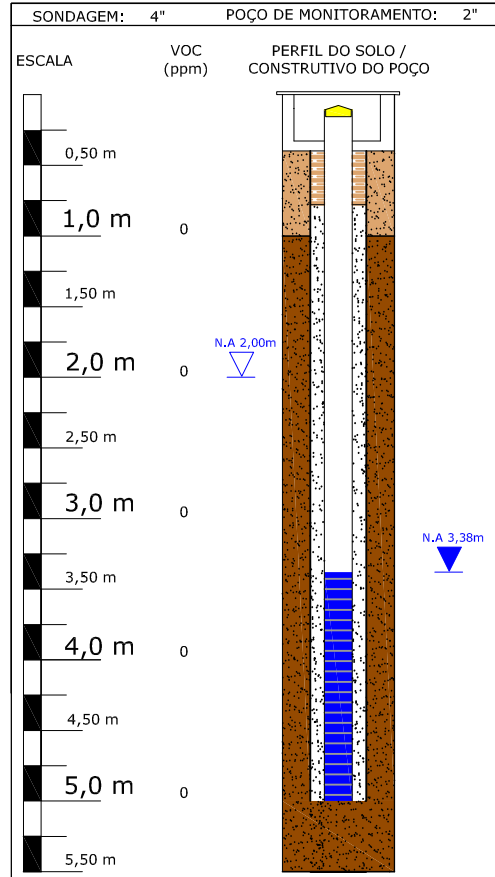
Fonte: Adaptada da empresa especializada em remediação ambiental

A Figuras 12 apresenta a localização das sondagens realizadas e poços instalados e as Figuras 13, 14 e 15 apresentam os perfis litológicos das sondagens e construtivos dos poços.

ST - 01 / PE - 18



ST - 02 / PE - 19



ST - 03 / PE - 20

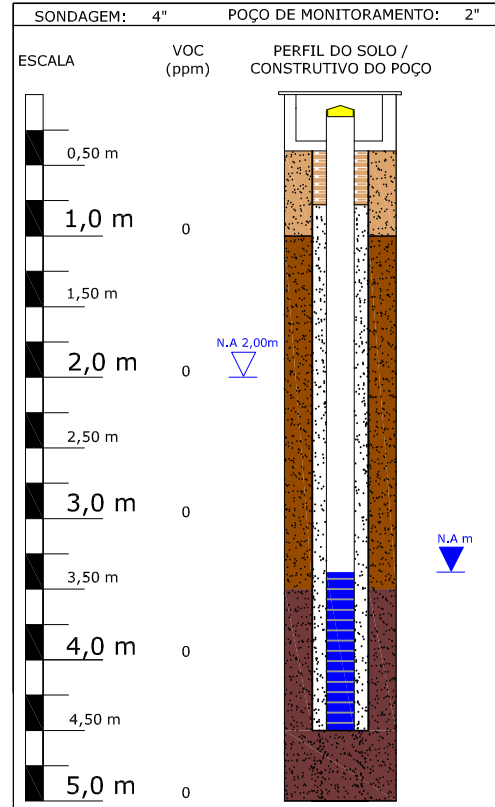


Figura 13 - Perfis Litológicos

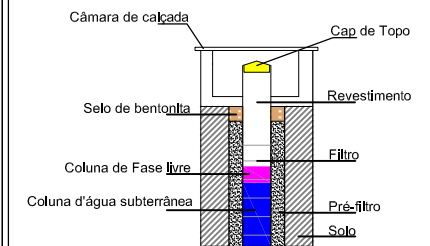
Legenda:

Descrição do Perfil de Solo

- Aterro (pedra e areia)
- Silto argiloso marron escuro
- Argilo arenoso avermelhado com manchas cinza
- Silto argiloso marrom avermelhado
- Silto arenoso acinzentado
- Silto arenoso cinza avermelhado
- Silto arenoso marrom com manchas cinza

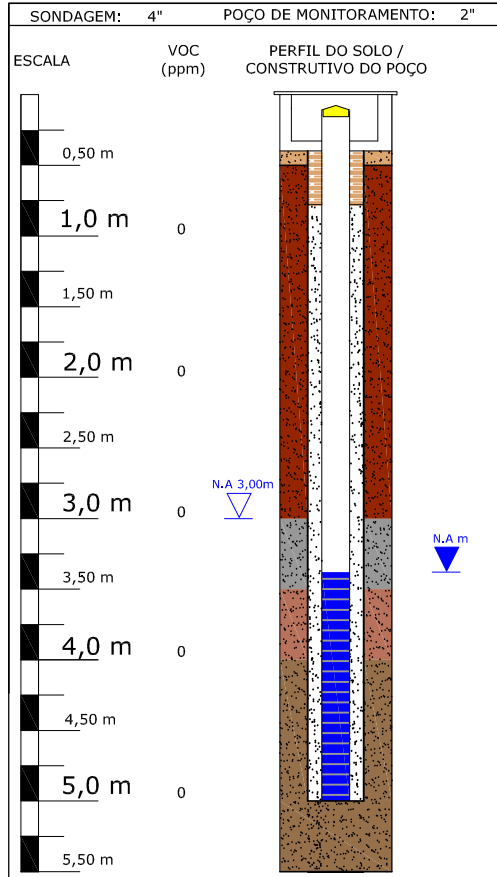
Simbologia

- Entrada de água verificada na sondagem
- Nível d'água subterrânea estabilizada
- Presença e espessura da fase livre

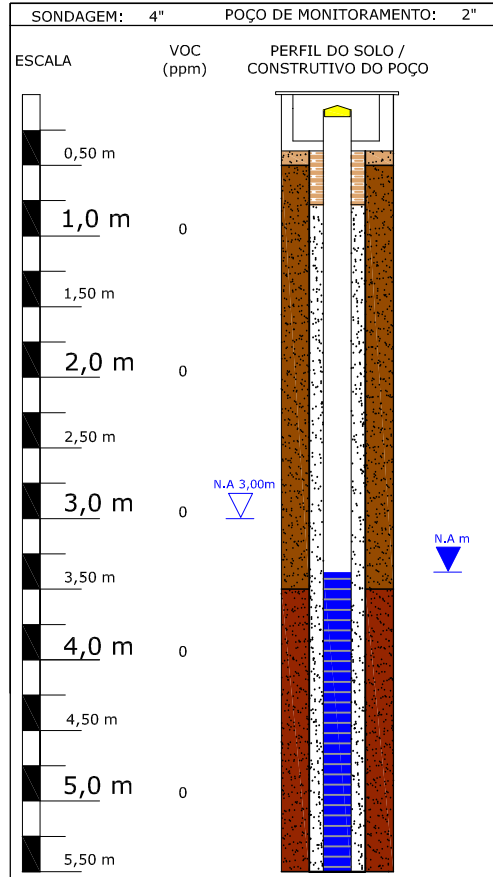


Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

ST - 04 / PE-23 / PM - 26



ST - 05 / PM - 28



ST - 06 / PM - 27

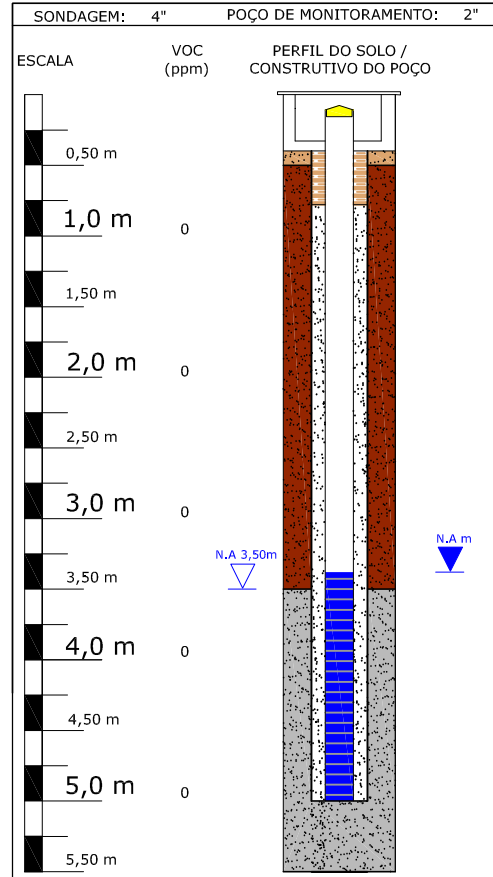


Figura 14 - Perfis Litológicos

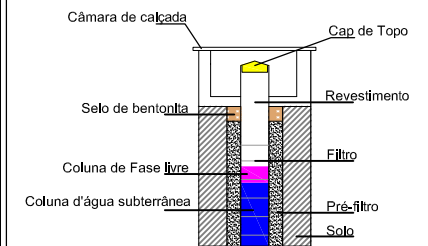
Legenda:

Descrição do Perfil de Solo

- Aterro (pedra e areia)
- Silto argiloso marrom escuro
- Argilo arenoso avermelhado com manchas cinza
- Silto argiloso marrom avermelhado
- Silto arenoso acinzentado
- Silto arenoso cinza avermelhado
- Silto arenoso marrom com manchas cinza

Simbologia

- N.A Inicial 2,00m
Entrada de água verificada na sondagem
- N.A 1,79m
Nível d'água subterrânea estabilizada
- FASE LIVRE: 4cm
Presença e espessura da fase livre



Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

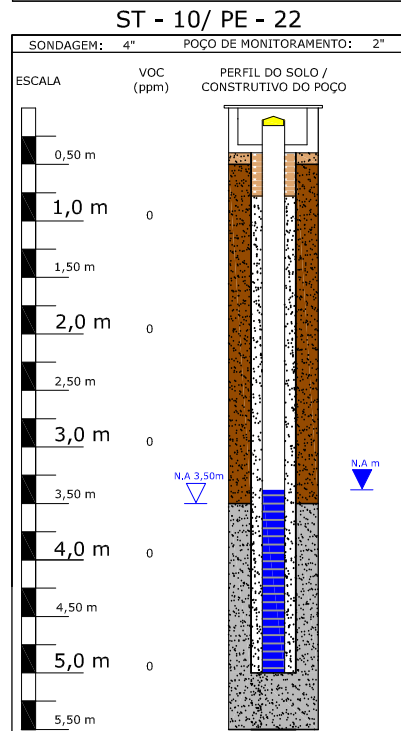
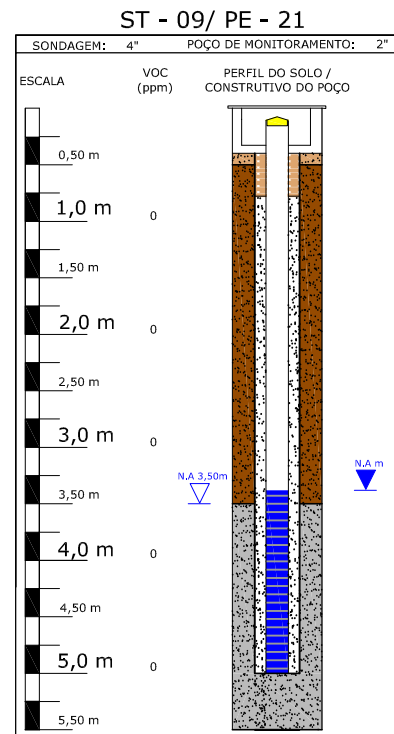
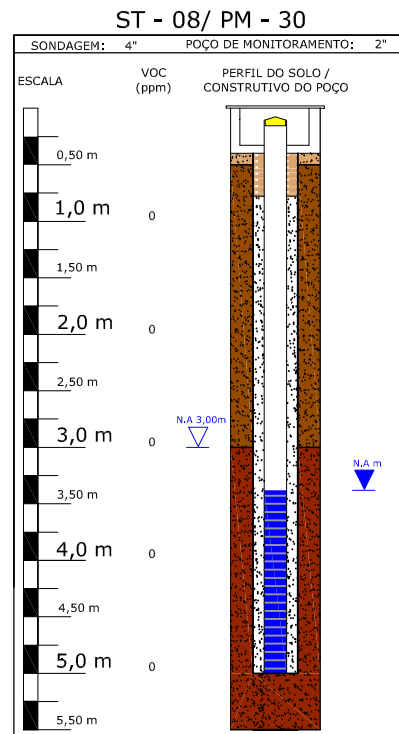
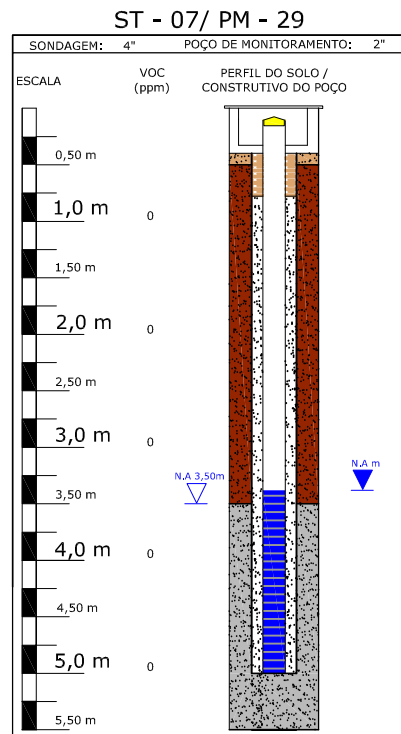


Figura 15 - Perfis Litológicos

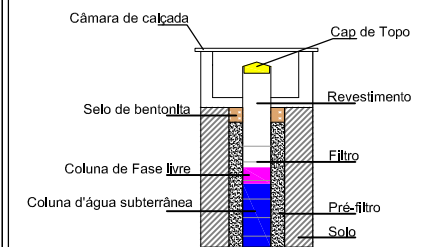
Legenda:

Descrição do Perfil de Solo

- Aterro (pedra e areia)
- Silto argiloso marron escuro
- Argilo arenoso avermelhado com manchas cinza
- Silto argiloso marrom avermelhado
- Silto arenoso acinzentado
- Silto arenoso cinza avermelhado
- Silto arenoso marrom com manchas cinza

Simbologia

- Entrada de água verificada na sondagem
- Nível d'água subterrânea estabilizada
- Presença e espessura da fase livre



Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

5.5 Análises físico-químicas

A partir da avaliação da qualidade da água subterrânea foi possível mapear a pluma de contaminação de fase dissolvida, segundo diretrizes da CETESB Decisão de Diretoria Nº 263/2009/P (CETESB, 2009). Assim como a pluma de fase livre, a pluma de fase dissolvida deve conter pontos-limites necessários para o fechamento da mesma, levando em consideração os valores de intervenção (VI) definidos pela CETESB ou o limite de detecção (LD) quando este estiver ausente. A pluma de fase dissolvida chega à um quarto da distância entre um poço de monitoramento que apresentou concentração superior ao valor de intervenção e outro poço que não apresentou concentração superior ao valor de intervenção. Através do software AutoCAD foi gerado a pluma estimada de fase dissolvida.

5.5.1 Resultados Analíticos das Amostras de Água Subterrânea

Os poços de monitoramento que apresentaram fase livre ou obstrução não puderam ser amostrados, assim apenas os poços PM-02, PM-03, PM-04, PM-05, PM-10, PM-11, PM-12, PM-13, PM-14, PM-15, PM-16, PM-17, PM-18, PM-21, PM-22, PM-24 e PM-25 foram amostrados para os parâmetros BTEX e HPA. Os resultados analíticos de água subterrânea são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10 e colocados em comparação com uma campanha analítica anterior. O poço de monitoramento não amostrado foi devido à presença de fase livre ou obstrução do poço por caminhões ou entulho.

A maioria dos poços analisados apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção ou abaixo do valor orientador definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, para ambos os parâmetros. Apenas os poços de monitoramento PM-21 e PM-22 apresentaram concentração de benzeno acima do valor orientador definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009. Na campanha analítica anterior, todos os poços de monitoramento amostrados apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção ou abaixo do valor orientador definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009. A Figura 16 mostra a pluma de fase dissolvida de benzeno na área do empreendimento.

Tabela 8 - Resultados Analíticos da Água Subterrânea (µg/L)

| COMPOSTOS | Limite de Quantificação (L.Q.) | POÇO AMOSTRADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|----------------|------------------------|----------|-------|---------------|-------|----------|-------|----------|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|----------|------------------------|----------|-------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|------|------|
| | | PM-01 | | PM-02 | | PM-03 | | PM-04 | | PM-05 | | PM-06 | PM-07 | | PM-08 | | PM-09 | | PM-10 | | CONAMA Nº | | | | | | | | | |
| | | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | 420/2009 | | | | | | | | | |
| BTEX | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benzeno | 2,000 | ND | Obstruído | ND | ND | Não amostrado | ND | ND | ND | ND | Obstruído | Obstruído | Não amostrado | Obstruído | Não amostrado | Obstruído | ND | Obstruído | ND | ND | 5 | | | | | | | | | |
| Tolueno | 1,000 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 700 | |
| Etilbenzeno | 2,000 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 300 |
| Xilenos Totais | 2,000 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 500* |
| HPA (HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Naftaleno | 0,050 | ND | Obstruído por Caminhão | ND | ND | Não amostrado | ND | ND | ND | 6,72 | Obstruído por Caminhão | Obstruído por Caminhão | Não amostrado | Obstruído por Caminhão | Não amostrado | Obstruído por Caminhão | ND | Obstruído por Caminhão | ND | ND | 140 | | | | | | | | | |
| Acenaftileno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | - | |
| Acenafteno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | - | |
| Fluoreno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | - | |
| Fenantreno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 140 | |
| Antraceno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | - | |
| Fluoranteno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1 | |
| Pireno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | - | |
| Benzo(a)antraceno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 1,75 | |
| Criseno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,05 | |
| Benzo(b)fluoranteno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | - | |
| Benzo(k)fluoranteno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,05 | |
| Benzo(a)pireno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,7 | |
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 0,050 | ND | | ND | ND | | ND | ND | ND | ND | | | | | | | ND | | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,17 | |
| Dibenzo(a,h)antraceno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,18 | | | | | | | | | | |
| Benzo(g,h,i)perileno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 0,05 | | | | | | | | | | |

(-) Não há valores de comparação. (*) Somatória de xilenos. NC: Não calculado. ND: Abaixo do limite de detecção analítico. (191,40) - Concentração acima dos valores do SSTL 1 calculado para a área.

Tabela 9 - Resultados Analíticos da Água Subterrânea (µg/L)

| COMPOSTOS | Limite de Quantificação (L.Q.) | POÇO AMOSTRADO / DATA DA AMOSTRAGEM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CONAMA Nº 420/2009 | | |
|--|--------------------------------|-------------------------------------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|------------------------|--------------------|------------------------|------|
| | | PM-11 | | PM-12 | | PM-13 | | PM-14 | | PM-15 | | PM-16 | | PM-17 | | PM-18 | | PM-19 | | PM-20 | | | | |
| | | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | | | |
| BTEX | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benzeno | 2,000 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | Obstruído | Não amostrado | Obstruído | 5 |
| Tolueno | 1,000 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 700 |
| Etilbenzeno | 2,000 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 300 |
| Xilenos Totais | 2,000 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 500* |
| HPA (HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Naftaleno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | Obstruído por Caminhão | Não amostrado | Obstruído por Caminhão | 140 |
| Acenaftileno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | - |
| Acenafteno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | - |
| Fluoreno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | - |
| Fenantreno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 140 |
| Antraceno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | - |
| Fluoranteno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 1 |
| Pireno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | - |
| Benzo(a)antraceno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 1,75 |
| Criseno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 0,05 |
| Benzo(b)fluoranteno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | - |
| Benzo(k)fluoranteno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 0,05 |
| Benzo(a)pireno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 0,7 |
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | 0,17 |
| Dibenzo(a,h)antraceno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | 0,18 | |
| Benzo(g,h,i)perileno | 0,050 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | 0,05 | |

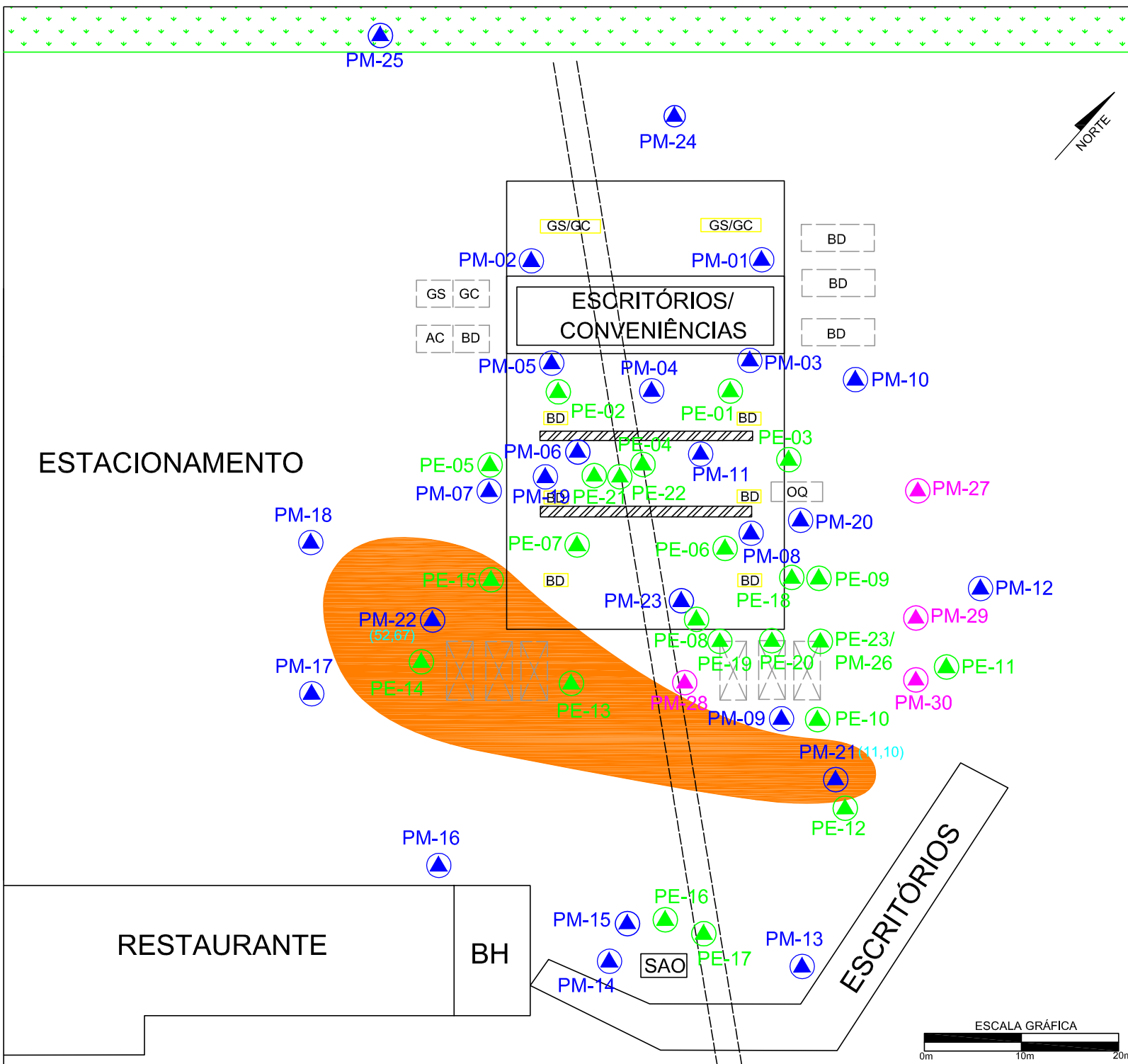
(-) Não há valores de comparação. (*) Somatória de xilenos. NC: Não calculado. ND: Abaixo do limite de detecção analítico. (191,40) - Concentração acima dos valores do SSTL 1 calculado para a área.

Tabela 10 - Resultados Analíticos da Água Subterrânea (µg/L)














| COMPOSTOS | Limite de Quantificação (L.Q.) | POÇO AMOSTRADO | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|----------------|-------|--------|---------------|-----------|---------------|-------|-------|--------------------|
| | | PM-21 | | PM-22 | PM-23 | | PM-24 | | PM-25 | CONAMA Nº 420/2009 |
| | | Anterior | Atual | Atual | Anterior | Atual | Anterior | Atual | Atual | |
| BTEX | | | | | | | | | | |
| Benzeno | 0,900 | Não amostrado | 11,10 | 52,67 | Não amostrado | Obstruído | Não amostrado | ND | ND | 5 |
| Tolueno | 0,900 | | ND | 12,81 | | | | ND | ND | 700 |
| Etilbenzeno | 0,900 | | 25,78 | 41,11 | | | | ND | ND | 300 |
| Xilenos Totais | 0,900 | | 34,49 | 153,90 | | | | ND | ND | 500* |
| HPA (HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS) | | | | | | | | | | |
| Naftaleno | 0,050 | Não amostrado | ND | ND | Não amostrado | | Não amostrado | ND | ND | 140 |
| Acenaftileno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | - |
| Acenafteno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | - |
| Fluoreno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | - |
| Fenantreno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 140 |
| Antraceno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | - |
| Fluoranteno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 1 |
| Pireno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | - |
| Benzo(a)antraceno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 1,75 |
| Criseno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 0,05 |
| Benzo(b)fluoranteno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | - |
| Benzo(k)fluoranteno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 0,05 |
| Benzo(a)pireno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 0,7 |
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 0,17 |
| Dibenzo(a,h)antraceno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 0,18 |
| Benzo(g,h,i)perileno | 0,050 | | ND | ND | | | | ND | ND | 0,05 |

(-) Não há valores de comparação. (*) Somatória de xilenos. NC: Não calculado. ND: Abaixo do limite de detecção analítico. (191,40) - Concentração acima dos valores do SSTL 1 calculado para a área.

Figura 16 - Pluma estimada de fase dissolvida



Legenda:

-  Tanque subterrâneo bicompartimentado
-  Tanque subterrâneo simples
-  Tanque subterrâneo desativado
-  Canteiro
-  Poço de Monitoramento existente
-  Poço de Extração
-  Poço de monitoramento instalado
-  Canalização
-  Caixa d'água
-  Valas
-  Bomba de abastecimento
-  Concentração de benzeno µg/L
-  Pluma de fase dissolvida de benzeno

Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

ESCALA GRÁFICA



5.5.2 Resultados da avaliação de VOC

A medição de VOC foi realizada durante a execução das sondagens de metro em metro e foram obtidas apenas concentrações nulas. Segundo a CETESB Decisão de Diretoria Nº 263/2009/P (CETESB, 2009), concentrações nulas de VOC devem ser seguidas pelas seguintes medidas: próximo às fontes primárias amostragens devem ser realizadas na franja capilar, a 5m de profundidade nas áreas de tanques subterrâneos e a 2 m nas áreas que abriguem as demais fontes primárias, desde que o nível de água esteja abaixo dessas profundidades.

6. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

A partir da confirmação da contaminação da área a técnica de remediação escolhida foi por extração multifásica (MPE). A tecnologia MPE, quando aplicada em cenários ideais de hidrogeologia e contaminação, pode ser altamente eficaz. A área atende os pré-requisitos necessários para implantação e assim é esperado que obtenha resultados satisfatórios na recuperação da área.

6.1. Extração Multifásica - *Multi-Phase Extraction* (MPE)

A técnica *in situ* de remediação por extração multifásica (MPE) é a mais indicada para extração de fase livre, fase dissolvida e fase vapor presentes no solo contaminado. Segundo (USEPA,1999) as principais características do sistema são:

- Atua nas principais fases de hidrocarbonetos (fase livre/residual, dissolvida e vapor);
- Remove contaminantes em solos com baixa permeabilidade;
- Utilizada em zonas não saturada, franja capilar e saturada;
- Grande abrangência na zona de captura por poço de extração;
- Tempo reduzido de remediação se comparado a outras técnicas;
- Atua na biodegradação natural na zona não saturada.

A recuperação das principais fases de hidrocarbonetos é feita através da aplicação de vácuo nos poços de extração por meio de um tubo (*slurper*) e indução de um fluxo multifásico em subsuperfície. A aplicação de vácuo induz a migração de vapores através do meio poroso e assim, disponibiliza oxigênio suficiente na zona não saturada para que a biodegradação ocorra e degrade a fase residual dos compostos presentes no solo. A extração da fase líquida também é feita através da aplicação de vácuo que causa um rebaixamento no nível de água que conseqüentemente aumenta a camada não saturada (COUTINHO e GOMEZ, 2007).

Os efluentes bombeados são separados no tanque de vácuo em fase gasosa e líquida, os gases então são direcionados para um tanque de carvão ativado com o intuito de reduzir as concentrações dos compostos orgânicos voláteis presentes. Os efluentes líquidos, por sua vez, são direcionados para uma caixa separadora de água e óleo, com o produto recuperado armazenado em tambores e a água com

hidrocarbonetos em fase dissolvida redirecionada para um filtro de carvão ativado, que também reduzirá as concentrações dos compostos. A destinação final dos gases tratados é a atmosfera e a água com hidrocarbonetos em fase dissolvida tratada pode ser descartada na caixa separadora de água e óleo (SAO) da área ou pode retornar ao aquífero sendo reinjetada (EPA,1999). O produto armazenado nos tambores é coletado por uma empresa especializado e destinado conforme legislação pertinente. O sistema é planejado para operar durante 24 horas por dia, porém queda de energia, queima de fusíveis no painel de controle da bomba, podem causar o desligamento do sistema.

A figura 17 apresenta um esquema do sistema de remediação por extração multifásica (MPE).

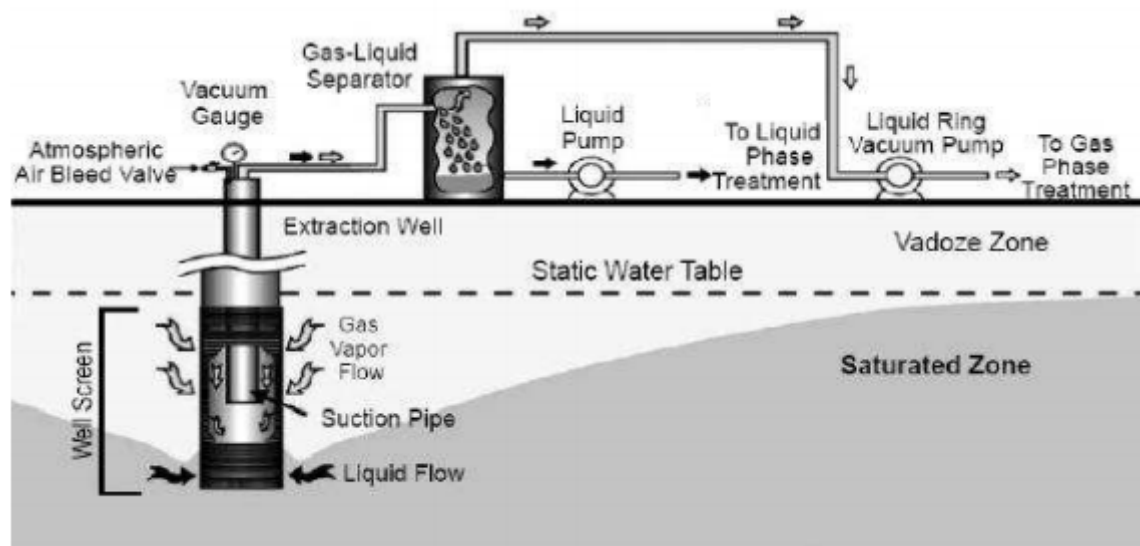


Figura 17 - Sistema de Remediação por Extração Multifásica (MPE) (Fonte: MILANI, 2008)

6.1.1 Remoção da fase livre

A extração da fase livre acontece através do aumento do gradiente hidráulico e do rebaixamento efetivo possibilitando a drenagem da água subterrânea juntamente com os contaminantes presentes. Os primeiros compostos a serem extraídos são os hidrocarbonetos leves, ou seja, fase livre sobrenadantes (LNAPL).

A equação geral de fluxo de água subterrânea em direção a um poço totalmente penetrante pode auxiliar no cálculo do raio de influência. Através do método gráfico, os valores de rebaixamento, em escala linear, são locados em relação às distâncias, em escalas logarítmica, dos poços observados ao poço

relação às distâncias, em escalas logarítmica, dos poços observados ao poço bombeado (KRESIC, 1997). A equação 2 apresenta a equação geral de fluxo de água subterrânea.

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}$$

Equação 2 - Equação geral de fluxo de água subterrânea

Onde:

h = Carga hidráulica medida a uma distância r a partir do poço de bombeamento

H = Carga hidráulica inicial

R = Raio de influência do poço

Q = Vazão de bombeamento

K = Condutividade hidráulica

A equação 3 é a equação 2 rearranjada de uma maneira que os dados referentes ao cone de rebaixamento se tornarão uma reta quando locados em um gráfico mono-logarítmico, obedecendo à função regente $H^2 - h^2 = f(\ln r)$.

$$H^2 - h^2 = \text{const.} - \frac{0,733 \cdot Q}{K} \ln r$$

Equação 3 - Equação geral de fluxo de água subterrânea rearranjada

6.1.2 Remoção de vapores do solo

Assim como a fase livre, a fase vapor também é extraída através da do aumento do gradiente hidráulico devido a aplicação de pressão negativa, resultando em um fluxo de ar na zona vadosa que além de extrair a fase vapor auxilia na fase adsorvida. Como mencionado anteriormente, esse processo auxilia na biodegradação, uma vez que o aumento na oxigenação impulsiona a degradação dos contaminantes.

Quando se trata de remoção de vapores do solo é importante ressaltar a complexibilidade da quantificação da fase vapor. As concentrações de VOC, base da quantificação da fase vapor, são realizadas através de um medidor de gás portátil, calibrado com hexano de peso molecular 86g/g mol. A equação a seguir mostra como é calculada a concentração de VOC.

$$C = PM \cdot ppm - v / 24,45$$

Equação 4 - Concentração de VOC

Onde:

C = Concentração de VOC em mg/m^3

PM = Peso molecular do equivalente hexano ($86\text{g}/\text{g mol}$)

$ppm - v$ = Leitura obtida através do medidor de gás portátil

$24,45$ = Volume molar em litros ($760 \text{ mmHg } 25^\circ\text{C}$)

A partir da concentração de VOC é possível mensurar a taxa máxima removida pela equação a seguir.

$$T = Q \cdot C$$

Equação 5 - Taxa máxima removida

Onde:

T = Taxa máxima removida

Q = Vazão dos gases na saída da bomba de vácuo

C = Concentração de VOC

6.2. Infraestrutura do Sistema de Remediação MPE

A técnica opera, em áreas de superfícies de nível de água rasas, de maneira que o líquido e os gases são bombeados por uma única tubulação e bomba, chamada de Two Phase Extraction. O mesmo poço de extração remove a fase líquida e a fase vapor através da bomba de vácuo, diminuindo o custo de implantação e operação do sistema. Porém essa configuração do sistema não consegue grandes alcances de profundidade devido à dificuldade de se balancear o vácuo em múltiplos poços e a necessidade de se manter a alta pressão negativa para extração dos líquidos (SUTHERSAN, 1997). Com o objetivo de otimizar a remoção dos contaminantes, os poços de extração são equipados com uma ponteira reguladora que permite focar a extração mais para a fase vapor ou para a fase livre. A figura 18, a seguir, mostra um esquema simplificado de um poço de bombeamento.

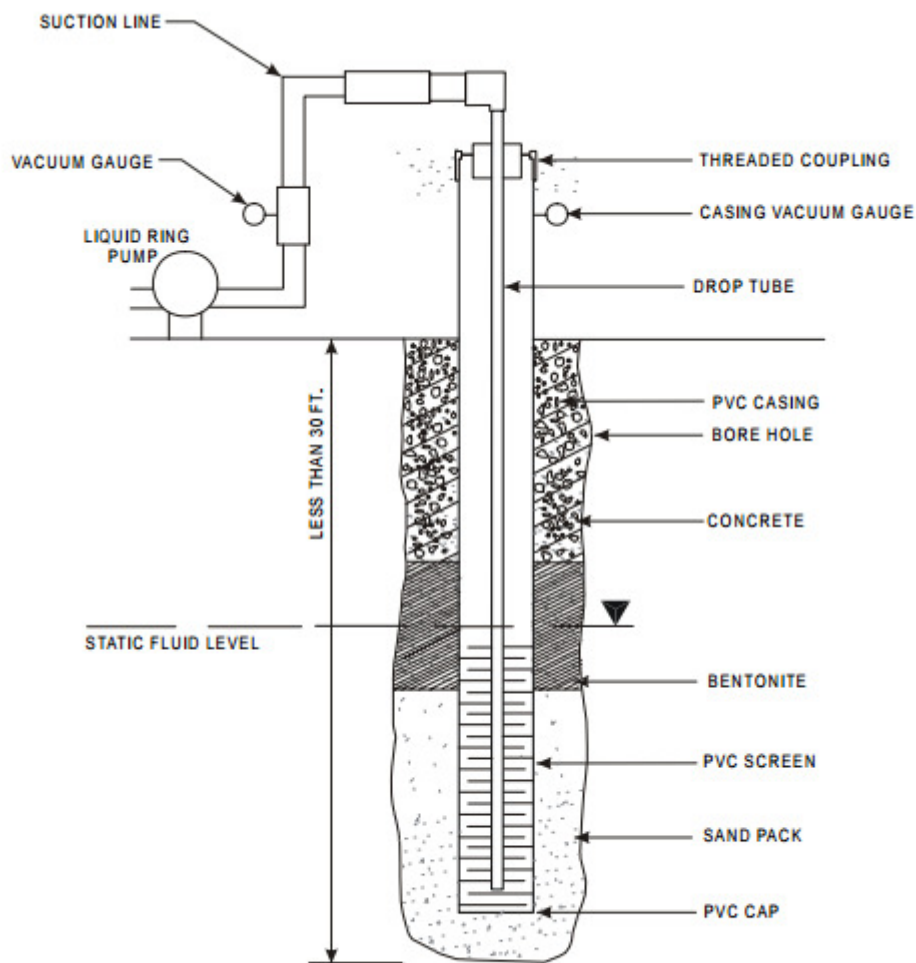


Figura 18 - Ilustração esquemática do poço de bombeamento simples MPE (Fonte: SUTHERSAN, 1997)

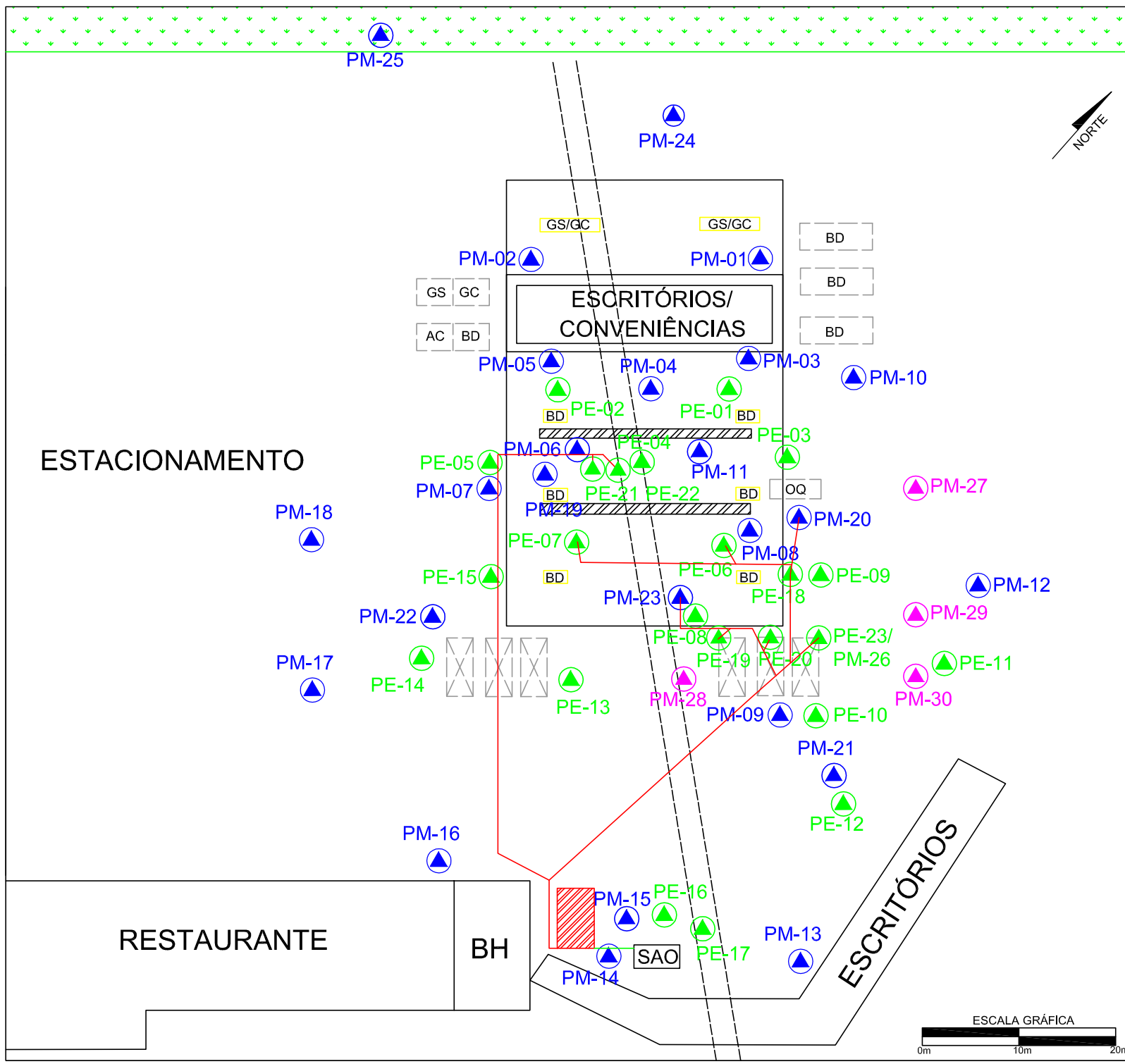
O líquido e gases extraídos pelos poços de extração são conduzidos através de tubulações subterrâneas até o sistema de remediação através de tubos e conexões de PVC rígido marrom com diâmetro de 50mm. O procedimento para instalação dessa tubulação seguiu os passos: remoção dos bloquetes, abertura da vala, apiloamento de fundo, lançamento da tubulação em berço de areia, reaterro de material selecionado compactação em camada de 0,20 m e reconstituição do piso original. Os poços de extração contam ainda com mangueiras flexíveis transparentes com espiral azul de 1" de diâmetro, no interior da câmara de calçada.

Assim como mencionado anteriormente, o líquido e gases seguem para o tanque de vácuo em fase gasosa e líquida, os gases então são direcionados para um tanque de carvão ativado. Os efluentes líquidos são descartados através de tubos e conexões de PVC rígido marrom com diâmetro de 50 mm, que unem a saída do tambor de carvão ativado até a caixa SAO do empreendimento.








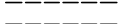

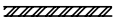

Após a implantação do sistema é essencial que seja realizado o teste em branco para confirmação que o sistema está operando de maneira prevista e que todos os equipamentos estão funcionando corretamente. A manutenção do sistema deve ser feita mensalmente, além da verificação do nível de produto armazenado no tambor para quando cheio seja destinado corretamente.

A figura 19 apresenta a localização das linhas e equipamentos do sistema de remediação para implantação na área.

Figura 19 - Localização das linhas e equipamentos do sistema de remediação MPE



Legenda:

-  Tanque subterrâneo bicompartimentado
-  Tanque subterrâneo simples
-  Tanque subterrâneo desativado
-  Canteiro
-  Poço de Monitoramento Existente
-  Poço de Extração
-  Poço de Monitoramento instalado
-  Canalização
-  Caixa d'água
-  Valas
-  Bomba de abastecimento

Fonte: Adaptação da empresa especializada em remediação ambiental

6.3. Operação do Sistema de Remediação

O sistema MPE requer um monitoramento mensal para otimizar a operação, assim são coletados dados de medição do nível de água, verificação de indício visual de hidrocarbonetos e medidas de pressão dos poços de monitoramento e extração. Além do acompanhamento dos demais equipamentos que compõe o sistema de remediação como hidrômetros, horímetros, vazões vapores e frequência das bobas, incluindo a limpeza da caixa separadora de água e óleo (SAO) com remoção da fase separada de óleo, esgotamento da caixa e lavagem com água corrente.

As campanhas de amostragem de água subterrânea são responsáveis pela verificação da fase dissolvida devem ser feitas mensalmente para acompanhamento do desenvolvimento da contaminação. Com o objetivo de analisar a eficácia do sistema de remediação é essencial que análises físico químicas sejam realizadas mensalmente após a passagem do efluente pelo filtro de carvão ativado. As análises dos resultados obtidos *in situ* e em laboratório possibilitaram propor ajustes ao sistema, aumento da eficiência, comprovação da remoção dos contaminantes e a redução na dimensão da pluma de fase livre.

Os parâmetros representativos essenciais na operação do sistema são:

- Pressão do tanque de vácuo: valores medidos através do vacuômetro acoplado ao tanque de vácuo. Este parâmetro mostra o vácuo aplicado e detecta problemas nas linhas subterrâneas e a necessidade de manutenção.
- Inversores de frequência: as velocidades das bombas de vácuo e de transferência são ajustadas através dos inversores de frequência de acordo com as distribuições dos poços de extração, litologia local e as dimensões do site.
- Horímetro: As horas de operação do sistema MPE são calculadas pela diferença dos valores do horímetro.
- Filtros de carvão ativado: o acompanhamento dos filtros de carvão ativado possibilita o monitoramento tanto a recuperação da fase vapor como a eficiência do tratamento e acompanhar a qualidade do carvão ativado.

- Bomba de vácuo: apresenta uma capacidade de vazão de 136m³/h, porém para assegurar um funcionamento de 24/h é preciso calibrar para 53% da capacidade de vazão, resultando em uma vazão média de 72 m³/h.

Os dados de operação apresentados foram fornecidos pela empresa especializada em remediação ambiental.

6.4. Cálculo de eficiência do sistema de extração multifásica MPE

A análise de eficiência da extração multifásica pode ser feita a partir dos seguintes cálculos:

- Cálculo da taxa de bombeamento (Q)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Equação 6 - Taxa de bombeamento

Onde:

Q = Taxa de bombeamento

V = Volume de água bombeada

t = Tempo total de bombeamento

- Cálculo do Volume de Contaminação Removido (ΔV)

$$V = A_p \cdot h \cdot \eta_e$$

Equação 7 - Volume de contaminação removido

Onde:

A_p = Área da pluma de contaminação (m²)

h = Profundidade da pluma de contaminação

η_e = Porosidade efetiva

A taxa de bombeamento quando comparada mensalmente pode fornecer um panorama técnico do desempenho do sistema de remediação, importante na análise de eficiência. Assim como o cálculo do volume de contaminação removido que

fornece o volume total de contaminação removido após um tempo t a partir da pluma de contaminação. Uma vez determinada a área da pluma de contaminação multiplica-se pela espessura da pluma e pelo valor da porosidade efetiva como mostra a equação 7. A comparação das plumas pode ser feita é assim obtida a porção de contaminação removida através da diferença de volumes de contaminação encontrados.

7 CONCLUSÃO

O sistema de remediação por extração multifásica foi escolhido para recuperação da área devido à sua eficiência na remoção dos hidrocarbonetos, praticidade, viabilidade econômica, além de ser uma técnica *in situ*, evitando contaminações secundárias. A eficiência da extração multifásica se destaca por sua remoção simultânea da fase livre e dissolvida de hidrocarbonetos através da bomba de vácuo. A aplicação de vácuo induz a extração de vapores e fase líquida que são separados no tanque de vácuo. Os gases são direcionados para um filtro de carvão ativado e liberado para atmosfera, enquanto o efluente líquido passa pela caixa separadora de água e óleo, com o produto recuperado armazenado em tambores e a água com hidrocarbonetos em fase dissolvida redirecionada para um filtro de carvão ativado.

No estudo de caso, o posto de serviços automotivos localizado em Araucária apresenta histórico de dois vazamentos, primeiro de 4 mil litros de diesel a partir das linhas subterrâneas em 2005 e o segundo de 10 mil litros de diesel dos tanques subterrâneos em 2006. Diversos estudos foram realizados na área por empresas especializadas em remediação, porém a constante presença de fase livre e concentrações de BTEX e HPA acima dos valores orientadores gera risco a saúde humana. Partindo desta premissa este trabalho, com base nos dados coletados por uma empresa especializada em remediação, propôs a melhor maneira de implantar o sistema de remediação por extração multifásica para recuperação da área.

Observou-se fase livre em cinco poços de monitoramento, os PM-07, PM-08, PM-19, PM-20 e PM-23 com espessuras de 0,01m, película, 0,02m, 0,02m e 0,05m respectivamente. A partir do mapa potenciométrico foi possível observar o fluxo de água subterrâneo e assim a direção da migração da contaminação, através do levantamento planialtimétrico. Com o objetivo de ampliar a área de monitoramento, foram realizadas 10 sondagens na área do empreendimento através da instalação de 5 poços de monitoramento e 5 poços de extração para implantação do sistema de remediação por extração multifásica. Por fim as análises físico-químicas da água subterrânea para os parâmetros BTEX e HPA mostraram que a maioria dos poços analisados apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção ou abaixo dos valores orientadores definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, para ambos

os parâmetros. Apenas os poços de monitoramento PM-21 e PM-22 apresentaram concentração de benzeno acima do valor orientador definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009.

Analisando os dados da área foi possível concluir que a técnica de remediação por extração multifásica é a mais indicada para área, devido as características hidrogeológicas, a presença de fase livre e o nível de água nos poços de monitoramento. Assim foi indicado a melhor localização para implantação das linhas subterrâneas junto com os equipamentos necessários para remediação. Uma vez que o sistema tenha sido implantado é importante que aja um monitoramento mensal da área e acompanhamento da operação do sistema. O acompanhamento mensal do nível de água, presença de fase livre, análises físico-químicas, acompanhamento das horas trabalhadas e verificação do produto extraído, são primordiais para que o sistema funcione com eficiência máxima. A eficiência do processo de remediação pode ser mensurado através da quantificação da remoção da fase livre e fase vapor, além do cálculo da taxa de bombeamento e volume de contaminação removido.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13786:2005 versão corrigida 2009**. Posto de serviço - Seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acessado em 15 de maio de 2016.

_____. **Sondagem de Reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento**< <http://www.abnt.org.br> > Acessado em 15 de maio de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2010. Disponível em<www.anp.gov.br>. Acesso em 30 de Maio de 2016.

ATSDR, **Benzene Toxicity, Revision Date: June 2000**. Disponível em <www.atsdr.cdc.gov/csem/benzene/docs/benzene.pdf> Acessado em 19 junho de 2016.

BOOPATHY, R. **Factors Limiting Bioremediation Technologies. Bioresource Technology**, v.74, p. 63-67, 2000

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2ed. São Paulo: CETESB, 2001.

_____. **Valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo**. 2014. Disponível em <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf>> Acesso em 01 de Maio de 2016.

_____. **Decisão de Diretoria Nº 263/2009/P Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis** 2009. Disponível em < <http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp>

content/uploads/sites/45/2015/06/05_camaras.pdf > Acesso em 10 de Outubro de 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 420/2009** - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama> > Acesso em 30 de maio de 2016.

_____. **Resolução Nº 273/2000** - Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300> > Acesso em 5 de maio de 2016.

HALL, R.A; BLAKE S.B. CHAMPLIN Jr, S.C **Fouth National Symposium on Aquifer Restoration and Groundwater Monitoring**, EUA – Columbus, OH.p. 300-304, 1984.

LINACH – LISTA NACIONAL DE AGENTES CANCERÍGENOS PARA HUMANOS 2014. Disponível em <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=1&pagina=140&data=08/10/2014&captchafield=firistAccess>> Acessado em 10 junho de 2016.

NETTO, Cláudia N. et al. **Estudo qualitativo de segurança em postos revendedores de combustíveis**. Dissertação (Especialista em Engenharia de Segurança no Trabalho) – Setor de Ciências Agrárias e de Tecnologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

NIOSH, **Documentation for immediately dangerous to life or health concentrations (IDLHs) – Benzene. c1994**. Disponível em <www.cdc.gov/niosh/idlh/71432> Acessado em 19 junho de 2016.

NOBRE, Manoel M. et al. **Remediação de Solos** - Revista Química e Derivados, 2003. Disponível em < <http://www.quimicaederivados.htm> > Acesso em 20 de Abril de 2016.

NYER, E.K. *et al.* **Lifecycle Design**; in NYER, E.K. *et al* **In Situ Treatment Technology** 2nd ed.; LEWIS PUBLISHERS; Boca Raton, 2001.

OLIVEIRA, E. **Solo contaminado e resíduo**. Disponível em <<http://www.abas.org/abasinforma/120/paginas/04.htm>>. Acessado em 10 de Maio de 2016.

PETROBRAS. **Saiba o que produzimos com cada barril de petróleo**, 2014. Disponível em <www.fatosedados.blogspot.com.br>. Acesso em 20 de Maio de 2016.

Prefeitura de Araucária. **Dados Gerais**. Disponível em <<http://www.araucaria.pr.gov.br/araucaria/dados-gerais>> Acessado em 19 de junho de 2016.

SUTHERSAN, S. S. **Remediation engineering**: Design Concepts; CRC Press, Inc.; BocaRaton, 1994, 362p. 2005.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEER. **Multi-Phase Extraction - Engineer Manual** - Washington D.C., 1999

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Multi-Phase Extraction: State-of-the-Practice**. Washington, 1999.

_____. **How to Effectively Recover Free Product at Leaking Underground Storage Tank Sites: A Guide for State Regulators**. 1989 e 1996.

_____. **Exposure Pathways**. Fevereiro, 2004a. Disponível em <<http://www.epa.gov/superfund/programs/er/hazsubs/pathways.htm>>. Acesso em 23/09/2004.

_____. **Fact sheet for the RBCA Tool Kit for Chemical Releases**. 2003.

COUTINHO, R.C.P., GOMES, C.C. **Técnicas para remediação de aquíferos contaminados por vazamento de derivados de petróleo em postos de combustíveis.** São Paulo, Brasil, 2007.

MILANI, A.S. **Tecnologias para remediação de solos e água subterrâneas.** Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.