

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

CARLOS EDUARDO DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO - SISTEMA DE REMEDIAÇÃO MULTI-EXTRAÇÃO DE FASES
EM LENÇOL FREÁTICO CONTAMINADO POR DERIVADOS DO PETRÓLEO**

SÃO PAULO
2020

CARLOS EDUARDO DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO - SISTEMA DE REMEDIAÇÃO MULTI-EXTRAÇÃO DE FASES
EM LENÇOL FREÁTICO CONTAMINADO POR DERIVADOS DO PETRÓLEO**

Versão corrigida

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do Certificado de Especialista em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano e Revitalização de Brownfields.

Orientadora: Dra. Mara Magalhães Gaeta Lemos.

SÃO PAULO

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Catálogo-na-publicação

Santos, Carlos Eduardo

Estudo de caso – Sistema de remediação multi-extração de fases em lençol freático contaminado por derivados de petróleo / C. E. Santos – São Paulo, 2020.

94 p.

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

1. Remediação do solo 2. Multi Extração de fases 3. Contaminantes 4. Hidrocarbonetos de petróleo – BTEX. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

À Deus, o maior cientista e criador de todas as coisas, por me capacitar e me sustentar por mais essa jornada.

Aos meus pais e minha irmã pelo apoio em todos os momentos, até nos mais difíceis, pelo encorajamento e pela torcida incessante desde sempre.

Aos amigos pelo auxílio nos estudos e por ajudarem a tornar os dias mais leves e divertidos.

À minha orientadora Mara, por compartilhar comigo seu conhecimento e sua sabedoria, por se fazer disponível para me atender todas as vezes que precisei, agradeço pelas palavras de encorajamento e pelos bons conselhos.

RESUMO

SANTOS, Carlos Eduardo. Estudo de caso – Sistema de remediação multi-extração de fases em lençol freático contaminado por derivados de petróleo. 2020. 94 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Técnicas de remediação vem sendo aplicadas e desenvolvidas para a diminuição das concentrações de contaminantes, para a redução dos riscos ambientais e à saúde humana. Diante deste cenário, este trabalho apresenta resultados de um sistema de Remediação Multi-Extração de fases (MPE), a partir de um estudo de caso da evolução da remediação e monitoramento da água subterrânea de uma área contaminada, com a remoção de óleo presente no solo e água subterrânea. Quanto aos resultados obtidos, verificou-se que o volume da solução composta de óleo + água removido nos poços de extração durante todo o período estudado foi de 448.159 litros. De acordo com os resultados analíticos para os Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) nenhuma das amostras apresentou concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ 1841.R2 do INEA e Resolução CONAMA 420/09. Já para TPH Finger Print, os resultados analíticos indicaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013), em inúmeros nos poços de monitoramento. As plumas dos contaminantes em fase livre se mantiveram ou até mesmo diminuíram de tamanho ao longo das campanhas realizadas, o que não se observou quanto a pluma de hidrocarboneto em fase dissolvida, que não obteve nenhuma diminuição significativa.

Palavras-chave: Remediação do solo, Multi Extração de fases, Contaminantes, Hidrocarbonetos de petróleo – BTEX.

ABSTRACT

SANTOS, Carlos Eduardo. Case study - Multi-extraction phase remediation system in pharmaceutical sheet contaminated by oil derivatives. 2020. 94 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Remediation techniques have been applied and developed to decrease the concentrations of contaminants, in order to reduce environmental and human health risks. In view of this scenario, this work presents results of a Multi-Extraction Remediation system (MPE), based on a case study of the evolution of remediation and monitoring of groundwater in a contaminated area, with the removal of oil present in the soil and groundwater, as well as recovery of the impacted area. As for the results obtained, it was found that the volume of the solution composed of oil + water removed in the extraction wells during the entire study period was 448,159 liters. According to the analytical results for Volatile Organic Compounds (VOC) and Semi-Volatile Organic Compounds (SVOC) none of the samples showed concentrations above the maximum values allowed by DZ 1841.R2 of INEA and CONAMA 420/09. As for TPH Finger Print, the analytical results indicated concentrations above the maximum values allowed by INEA's DZ-1841-R2 and NOP-INEA-05 (2013), in countless monitoring wells. The plumes of contaminants in the free phase remained or even decreased in size throughout the campaigns carried out, which was not observed in terms of the dissolved phase hydrocarbon plume, which did not obtain any significant decrease.

Keywords: Bioremediation, Multi Extraction Phases, Contaminants, Petroleum Hydrocarbons – BTEX Soil.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 Petróleo e seus derivados	14
3.2 Etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas	16
3.3 Amostragem de água subterrânea – baixa vazão	20
4. METODOLOGIA	23
4.1 Caracterização da Área de Estudo	23
4.2 Amostragem de Água Subterrânea e Medições dos Parâmetros Físico-Químicos.....	35
4.3 Sistema de Remediação	36
5. resultados.....	39
5.1 Monitoramento da espessura da Fase Livre	39
5.2 Pluviometria	43
5.3 Volume Extraído pelo Sistema (Água + Óleo)	46
5.4 Análise do processo de remediação Multi-Extração de fases MPE.....	48
5.4.1 Remediação da Área	48
5.4.2 Qualidade Águas Subterrâneas	51
5.4.3 Evolução da Contaminação	57
6 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXO A: Dados do monitoramento da fase livre	76
ANEXO B: Volume semanal de produto extraído pelo sistema MPE no período avaliado	80
ANEXO C: Dados referentes a qualidade de águas subterrâneas	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas Cadastradas: Constatações de grupos de contaminantes	13
Figura 2 - Mapa de Localização	26
Figura 3 - Foto com a Localização das sondagens (SO) - ícones na cor laranja .	29
Figura 4 - Foto com a Localização dos Poços de Monitoramento (PM) e Poços de Extração (PE).	30
Figura 5 - Perfil Litológico e construtivo dos Poços de Monitoramento e Poços de Extração.	31
Figura 6 - Perfil Litológico e construtivo dos Poços de Monitoramento	32
Figura 7 - Perfil Litológico e construtivo dos Poços de Monitoramento (sondagens 71 e 72) e Poços de Extração (sondagens 73 e 74).	33
Figura 8 - Pluma de Hidrocarboneto 1º Campanha.....	34
Figura 9 - modelos esquemático sistema multi-extração de fases (MPE)	37
Figura 10 - Monitoramento da fase livre para o período de 03 de abril de 2017 a 26 de dezembro	41
Figura 11 - Monitoramento da fase livre para o período de 03 de janeiro de 2018 a 22 de outubro de 2019	42
Figura 12 - Dados pluviométricos do período de funcionamento do sistema MPE entre março de 2017 a dezembro de 2018	45
Figura 13 - Dados pluviométricos do período de funcionamento do sistema MPE entre janeiro de 2019 a outubro de 2019	45
Figura 14 - Histórico do volume de produto extraído pelo sistema MPE	47
Figura 15 - Resultados da espessura da fase livre <i>versus</i> histórico volume mensal extraído pelo sistema <i>MPE</i> no período de 03/04/2017 a 26/12/2018.....	49
Figura 16 - Resultados da espessura da fase livre <i>versus</i> histórico do volume mensal extraído pelo sistema MPE no período de 03/01/2019 a 22/10/2019	50
Figura 17 - Pluma de TPH 1º Campanha	58

Figura 18 - Pluma de Hidrocarboneto 2º Campanha.....	59
Figura 19 - Pluma de Hidrocarboneto 3º Campanha.....	60
Figura 20 - Pluma de TPH 4º Campanha.....	61
Figura 21 - Pluma de Hidrocarboneto 4º Campanha.....	62
Figura 22 - Pluma de TPH 5º Campanha.....	63
Figura 23 - Pluma de Hidrocarboneto 5º Campanha.....	64
Figura 24 - Pluma de TPH 6º Campanha.....	65
Figura 25 - Pluma de Hidrocarboneto 6º Campanha.....	66
Figura 26 - Pluma de TPH 7º Campanha.....	67
Figura 27 - Pluma de Hidrocarboneto	68
Figura 28 - Pluma de TPH 8º Campanha.....	69
Figura 29 - Pluma de Hidrocarboneto 8º Campanha.....	70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas	18
Quadro 2 - Equipamentos do sistema MPE	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dados das Sondagens realizadas.....	27
Tabela 2 - Protocolo de armazenamento e preservação das amostras de água .	36
Tabela 3 - Resultados de BTEX para água subterrânea (µg/L)	53
Tabela 4 - Resultados de TPH Finger Print para água subterrânea (µg/L) – 1º, 2º, 3º e 4º Campanhas	54
Tabela 5 - Resultados de TPH Finger Print para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º, 7º e 8º Campanhas	56

1.INTRODUÇÃO

A problemática da gestão de áreas contaminadas tem adquirido grande importância nos últimos anos, principalmente nos países centrais, onde a dinâmica industrial tem levado ao aumento no desenvolvimento de muitos empreendimentos. Os estudos para a identificação, análise e recuperação dessas áreas, assim como leis, financiamentos e parcerias são bastante desenvolvidos nesses países, entre os quais se destacam: Alemanha, Holanda, Bélgica, Inglaterra, Irlanda do Norte, França, País de Gales, Canadá e Estados Unidos (OLIVEIRA, 2006).

Segundo a CETESB (2001), áreas contaminadas podem ser consideradas qualquer local onde exista confirmação de deposição de materiais ou substâncias, que por algum motivo, intencional ou acidental, ocorreu vazamento, derramamento, e/ou percolação no solo que possam causar risco aos bens a proteger.

Os contaminantes ou substâncias químicas podem se difundir por diferentes vias como as águas subterrâneas e superficiais, o ar e o próprio solo, de modo a modificar suas características naturais de qualidade e determinar impactos negativos e/ou riscos localizados na própria área ou em seus arredores (KOLESNIKOVAS, 2006).

Quanto aos tipos de atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas, é possível citar os comerciais, industriais, resíduos, área agrícola, acidentes e relacionados a combustíveis, entre outras. No tocante especificamente ao petróleo, é inegável sua importância, uma vez que é matéria prima para inúmeros produtos petroquímicos, como combustíveis, óleos, lubrificantes, além de produtos de limpeza, cosméticos, corantes e conservantes alimentares, asfaltos, tintas, plásticos e etc.

A relevância das fontes contaminantes provenientes de atividades relacionadas a combustíveis, é apresentada numericamente pelo relatório de relação de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo elaborado pela CETESB em 2019, onde 71% das áreas cadastradas é oriunda de postos de combustíveis, sendo o segundo lugar relativo a atividades industriais com 20% do total (CETESB, 2019).

Segundo Andrade e outros autores (2010), compostos como os BTEX são tóxicos tanto ao meio ambiente como ao ser humano, atuando como depressores do sistema nervoso central, mesmo em concentrações da ordem de microgramas por litro.

Técnicas de remediação vem sendo aplicadas e desenvolvidas para a diminuição das concentrações dos contaminantes, tanto de ordem física, química e biológica para a redução dos riscos ambientais e à saúde humana.

De acordo com Esteves (2012) a técnica de Multi-Extração de Fases (MPE) tem se apresentado como uma das tendências mais adotadas para a remediação de áreas contaminadas por LNAPL (líquido não aquoso menos denso que a água), na medida em que apresenta uma série de vantagens quando comparada com outras alternativas. Dentre estas vantagens, a possibilidade de tratamento simultâneo tanto da zona saturada como da zona vadosa, concede ao sistema certa flexibilidade, permitindo o tratamento de mais de um meio com o uso dos mesmos equipamentos.

2. OBJETIVOS

Este trabalho, tem por objetivo geral, demonstrar a operação do sistema de Remediação Multi-Extração de fases (MPE), a partir de um estudo de caso da evolução da remediação e monitoramento da água subterrânea de uma área contaminada com presença de óleo no solo e água subterrânea, bem como recuperar a área impactada.

Quanto aos dados apresentados neste trabalho, estes foram cedidos por uma empresa de engenharia ambiental, e são oriundos de oito campanhas de monitoramento e remediação, na área objeto deste estudo de caso.

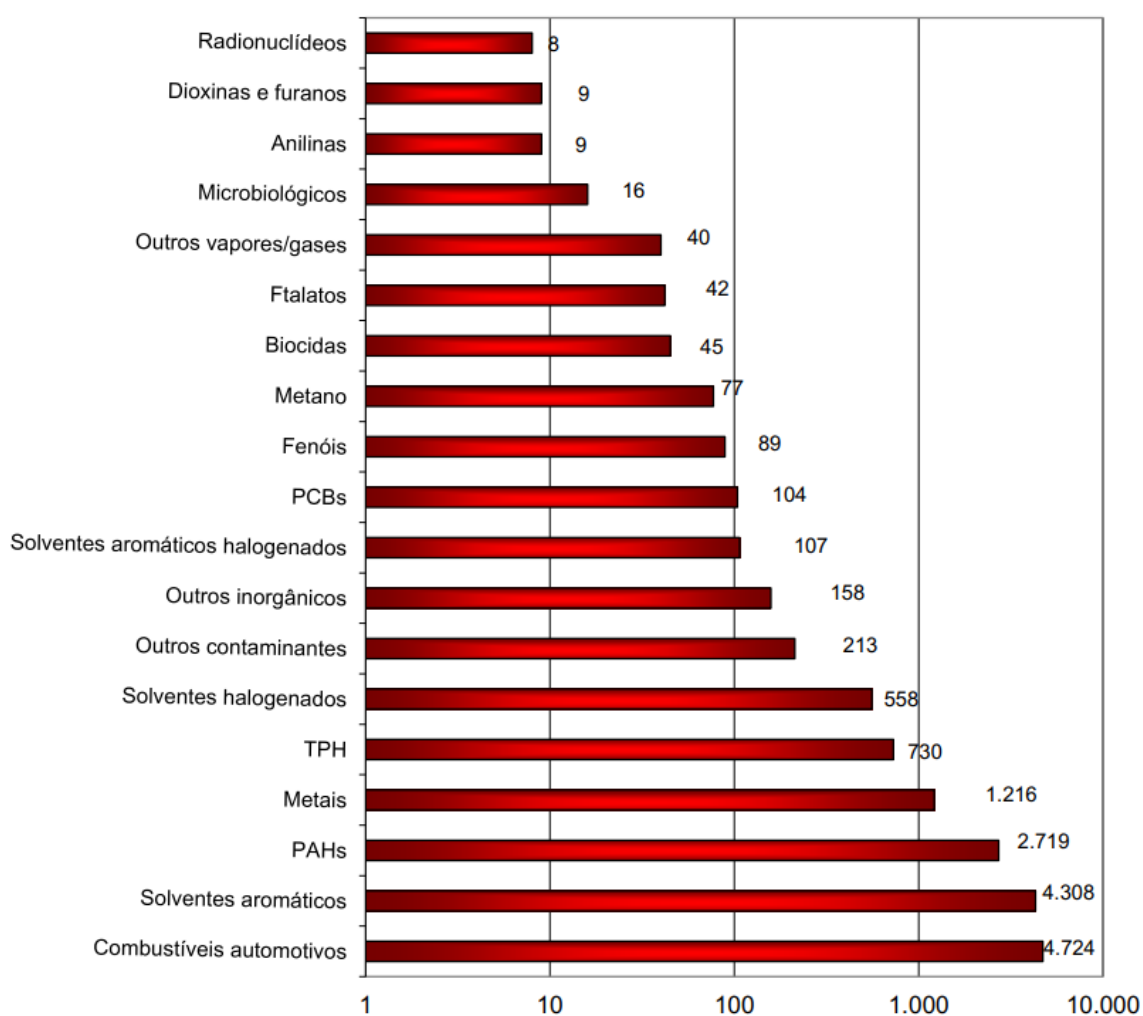
Dessa forma, pode-se dividir os objetivos específicos do presente trabalho nas seguintes etapas:

- Acompanhamento das variáveis de operação do sistema de remediação multi-extração de fases, aplicados as condições hidrogeológicas durante um determinado período de operação do sistema.
- Monitoramento do processo de remediação, através da medição de fase livre existente na área e concentração de contaminantes nos poços de monitoramento de controle das plumas de fase livre e fase dissolvida na área impactada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No relatório de relação de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo elaborado pela CETESB (2019), a contribuição de 71% refere-se a postos de combustíveis e os principais grupos de contaminantes encontrados nestas áreas foram: combustíveis líquidos, solventes aromáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), metais, TPH e solventes halogenados, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Áreas Cadastradas: Constatações de grupos de contaminantes



Fonte: CETESB (2019)

Aliando-se os dados citados, com o alvo deste trabalho, neste capítulo serão abordados os principais conceitos para adequado entendimento e análise do estudo de caso proposto.

3.1 Petróleo e seus derivados

Segundo Thomas (2001), o petróleo é um material fóssil, oleoso, composto em sua maior fração por uma mistura de inúmeros hidrocarbonetos. Além de outros elementos em menor proporção, tais como nitrogênio, oxigênio, enxofre e metais, denominados heteroátomos. Alguns exemplos de produtos derivados de petróleo são: GLP, gasolina, querosene, óleo diesel, óleos lubrificantes e matérias primas empregadas em outros diversos segmentos industriais.

Andrade e outros autores (2010), argumentam que o petróleo, justamente por possuir uma mistura tão complexa, exigem um grande nível técnico quando do tratamento de áreas contaminadas por essas substâncias. Assim, no tocante a questões ambientais, quando da contaminação por petróleo e seus derivados, alguns contaminantes merecem maior destaque, e normalmente, são os alvos principais de identificação e quantificação durante todo o processo de remediação, estes são: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (isômeros: orto-, meta- e para-xileno). Esses compostos, como já difundidos na literatura, conhecidos também como BTEX, são definidos como hidrocarbonetos monoaromáticos, cujas estruturas moleculares possuem como característica principal a presença do anel benzênico. São usados, principalmente, em solventes e em combustíveis e são os constituintes mais solúveis na fração da gasolina.

A alta mobilidade desses compostos no sistema solo-água está relacionada com o baixo coeficiente de partição octanol-água, que conduz a uma baixa adsorção no solo favorecendo a contaminação das águas subterrâneas (NAKHLA, 2003).

Compostos como os BTEX, constituem em um grande problema, não somente no Brasil, mas em todo o mundo. Esses compostos aromáticos são tóxicos tanto ao meio ambiente como ao ser humano, nos quais atuam como depressores do sistema nervoso central e apresentam toxicidade crônica mais significativa que os hidrocarbonetos alifáticos (também presentes no petróleo e derivados), mesmo em concentrações da ordem de microgramas por litro (Watts *et al.*, 2000 *apud* ANDRADE *et al.*, 2010).

O benzeno é reconhecidamente o composto mais tóxico dentre os BTEX e, por isso, pode ser apontado como o agente mais preocupante no tocante à saúde pública. O benzeno é um líquido incolor, volátil e inflamável largamente empregado na indústria química na síntese do Etilbenzeno, fenol, Ciclohexano e outros hidrocarbonetos aromáticos. É adicionado na gasolina como aditivo para aumentar a octanagem (CETESB, 2017).

É emitido ao ar por fornos a carvão, combustão de madeira, motores automotivos, fumaça de cigarro e durante sua produção. O tempo de permanência da substância no ar atmosférico varia de poucas horas a dias dependendo do ambiente, clima e concentração de outros poluentes. A principal fonte do composto na água é por deposição atmosférica, derramamento de petróleo e efluentes industriais (CETESB, 2017).

A principal rota de exposição humana ao benzeno é o ar. A inalação de altas concentrações do composto por curto tempo pode causar sonolência, enjoo, aceleração do ritmo cardíaco, cefaleia, tremor, confusão mental e inconsciência. A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o benzeno como cancerígeno humano- Grupo 1 (WHO, 2017).

Ainda segundo Andrade e outros autores. (2010), em áreas contaminadas por petróleo e seus derivados, além dos BTEX, outras classes de compostos também são relevantes, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), os compostos orgânicos voláteis (COV) totais e os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP). As razões pelas quais os compostos BTEX, HPA e HTP são escolhidos, é sobretudo, pela toxicidade, mobilidade e persistência no meio ambiente. Quanto aos COV totais, por representarem o total de emissões gasosas, como perdas por volatilização provenientes do derramamento. Assim, qualquer contaminação proveniente dessas fontes merece destaque, não apenas pelo contato direto (como a inalação de vapores) desses compostos indevidamente dispostos no solo, mas também quanto à sua presença em águas utilizadas para o consumo humano.

De acordo com a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer - IARC (2016), dentre os 16 compostos HPAs considerados prioritários para monitoramento ambiental, em função de sua carcinogenicidade e ocorrência, os mais tóxicos são

o benzo(a)pireno e dibenzo(a)antraceno, classificados pela Agência como substâncias carcinogênicas e, provavelmente, carcinogênicas para o homem, respectivamente. A IARC (2006) estabelece a seguinte classificação quanto ao potencial cancerígeno ao homem:

- ✓ Grupo 1: carcinogênico para humanos;
- ✓ Grupo 2A: provavelmente carcinogênico para humanos;
- ✓ Grupo 2B: possivelmente carcinogênico para humanos;
- ✓ Grupo 3: não classificável quanto à sua carcinogenicidade para seres humanos;
- ✓ Grupo 4: provavelmente não carcinogênico para humanos.

3.2 Etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Segundo Moraes, Teixeira e Maximiano (2014), o gerenciamento de uma área contaminada (GAC) abrange uma série de medidas visando ao conhecimento das características da contaminação e à eliminação ou minimização dos danos e/ou riscos por ela causados.

A Resolução CONAMA 420 (BRASIL, 2009) rege o gerenciamento de áreas contaminadas a nível federal, cujos objetivos são: eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana, eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente; evitar danos aos demais bens a proteger; evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação; e possibilitar o uso declarado ou futuro da área. Durante o gerenciamento, dependendo da etapa a área será classificada como segue:

- a) Área Suspeita de Contaminação (AS), aquela em que, após a realização de uma avaliação preliminar, forem observados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições que possam representar perigo;
- b) Área Contaminada sob Investigação (AI), aquela em que comprovadamente for constatada, mediante investigação confirmatória, a contaminação com

concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação de solo e água subterrânea;

- c) Área Contaminada sob Intervenção (ACI), aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco, a existência de risco à saúde humana;
- d) Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR), aquela em que o risco for considerado tolerável, após a execução de avaliação de risco;
- e) Área Reabilitada para o uso Declarado (AR), aquela que, após o período de monitoramento, confirme a eliminação do perigo ou a redução a níveis toleráveis.

A metodologia de gerenciamento consiste em três etapas: **Identificação, Diagnóstico e Intervenção**, e conforme dita Resolução CONAMA 420 (BRASIL, 2009), estas etapas são definidas da seguinte forma;

- ✓ Identificação: serão identificadas áreas suspeitas de contaminação (ASC) com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, I as normas técnicas ou procedimentos vigentes.
- ✓ Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.
- ✓ Intervenção: execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

O Quadro 1 apresenta para cada etapa as informações que deverão ser obtidas e apresentadas ao órgão ambiental competente. A Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou Normas Técnicas para as fases de investigação e de risco à saúde humana.

Quadro 1 - Etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Identificação	
Avaliação Preliminar (ABNT, 2007a)	Consiste na avaliação inicial da área suspeita de contaminação (AS) buscando evidências ou indícios da contaminação com base na análise dos dados existentes e na realização de inspeção de reconhecimento na área e entrevistas. Nesta etapa coletam-se dados que possibilitem reconstituir a forma como foram desenvolvidas as atividades potencialmente contaminadoras, o gerenciamento das substâncias contaminantes e as vias de transporte destas substâncias no meio físico, a localização e caracterização dos bens a proteger, entre outras informações que identifiquem a possível existência de contaminação no local
Investigação Confirmatória (ABNT, 2011)	Consiste na etapa realizada caso sejam encontrados indícios reais ou potenciais de contaminação em uma área suspeita de contaminação. Tem por objetivo comprovar a existência ou não de contaminação no solo ou nas águas subterrâneas, em concentração acima dos valores de investigação. Consiste na realização de análises químicas em amostras de solo e/ou água subterrânea coletadas em pontos suspeitos ou com indícios de contaminação, para as substâncias de interesse, e na comparação dos resultados obtidos com os valores orientadores estabelecidos na Resolução CONAMA 420/2009 ou outro valor estabelecido pelo órgão ambiental competente
Diagnóstico	
Investigação Detalhada (ABNT, 2013a)	é a etapa na qual são coletados e interpretados dados da área contaminada com o objetivo de conhecer a dinâmica da contaminação no meio físico afetado, a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existente, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso dos contaminantes no organismo dos receptores potencialmente expostos. Neste momento são avaliadas, qualitativamente e quantitativamente, as características da fonte de contaminação e do meio físico afetado
Avaliação de Risco à saúde humana (ABNT, 2013b)	é um processo de identificação, avaliação e quantificação dos riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido. Tendo por base o uso atual e pretendido da área, a avaliação de risco auxilia na determinação dos níveis de remediação aceitáveis. Os riscos que as concentrações dos contaminantes presentes oferecem à saúde humana são associados às vias de exposição, aos modelos de transporte dos contaminantes e às características físicas da área em estudo, compondo um modelo conceitual para a avaliação ambiental, permitindo avaliar os possíveis impactos da contaminação à saúde humana
Intervenção	
Ações de Reabilitação	São técnicas aplicadas em uma área contaminada com o intuito de eliminar ou reduzir os riscos identificados na fase do diagnóstico, visando a atingir um risco tolerável para o uso declarado ou futuro da área. Nesta etapa são definidas as medidas de intervenção mais adequadas e o estabelecimento do plano de intervenção
Monitoramento	consiste no acompanhamento contínuo ou periódico da qualidade do meio ou das suas características para verificação da eficácia das ações executadas.

Fonte: Do próprio autor.

No estado de São Paulo, a CETESB publicou a Decisão de Diretoria (DD) nº 38 (São Paulo, 2017) que apresenta as seguintes estratégias de intervenção:

a) A eliminação, contenção ou isolamento das fontes primárias e secundárias de contaminação;

b) A prevenção ou o controle da exposição dos receptores: i. Por meio da eliminação dos caminhos de exposição; ii. Por meio da remoção dos receptores expostos;

c) A remoção de massa de contaminantes;

d) A retração das plumas de contaminação;

e) A contenção do avanço das plumas de contaminação de modo a evitar o atingimento ou o agravamento da contaminação de corpos d'água superficiais e subterrâneos.

Segundo a DD supracitada as medidas de contenção, de controle institucional e de controle de engenharia devem ser aplicadas nas situações em que as medidas de remediação por tratamento não se mostrem, a curto e médio prazos, suficientes para o controle dos riscos, em que sua aplicação se mostre inviável técnica e economicamente ou que sua aplicação possa intensificar o risco aos receptores ou o dano ao ambiente.

Segundo Yoshikawa e Maximiano (2014), medidas de remediação visam à remoção ou redução da massa dos contaminantes a níveis de risco toleráveis, à prevenção da migração destes contaminantes através do solo ou à diminuição/eliminação do potencial tóxico dos contaminantes (atenuação).

As tecnologias de remediação podem ser classificadas segundo o local de sua aplicação da seguinte forma:

a) ***in situ***: quando são aplicadas sem a remoção do meio físico contaminado (sem escavação);

- b) **ex situ**: quando ocorre a remoção física do meio contaminado (com escavação). Quando aplicadas no local onde ocorre a contaminação são denominadas *on site*. Caso contrário, quando o tratamento é realizado em local fora da área onde ocorre a contaminação, são denominadas *off site*.

Existem inúmeras técnicas de remediação de solos e águas subterrâneas contaminados por hidrocarbonetos, contudo este trabalho irá focar na metodologia adotada no estudo, de multi-extração de fases.

3.3 Amostragem de água subterrânea – baixa vazão

A amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento ocorre para se obter dados analíticos da água subterrânea do aquífero da área de interesse.

Os poços de monitoramento apresentam em seu interior água estagnada, presente acima do tubo-filtro e água do fluxo natural, que está em constante movimento na zona filtrante do poço, porém a água presente no poço de monitoramento não é considerada representativa para o aquífero freático, pois pode haver incidência de fluxos verticais entre essas águas levando a ocorrência de alterações químicas através da interferência do ar atmosférico e podendo acarretar reações devido à exposição ao O₂ e CO₂ (volatilização), com o material dos tubos-filtro e de revestimento (dessorção e adsorção), processos biológicos (biodegradação), contaminação a partir da superfície e mistura da coluna de água. (NIELSEN, 2005 e 2006).

Para realizar a coleta de amostras são utilizados alguns métodos de purga, para retirada da água estagnada, sendo que os métodos adotados devem seguir as legislações e normas vigentes no Brasil ou serem justificadas tecnicamente por profissionais habilitados.

Hoje vigora a ABNT NBR 15.847:2010 – “Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de Purga” (ABNT, 2010), a qual este trabalho utilizou-se como principal referência.

Essa norma tem como objetivo padronizar os processos utilizados usualmente no Brasil, para a amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento, visando obter amostras representativas da formação (aquífero freático).

A purga de um poço durante a amostragem é realizada com o objetivo de assegurar que água representativa da formação seja captada, minimizando a incerteza da qualidade química da água subterrânea.

Segundo os critérios da Norma ABNT NBR 15.847:2010 (ABNT, 2010) para identificar o melhor método de purga a ser realizado em um poço, deve-se considerar suas condições hidráulicas, que são relacionadas diretamente à transmissividade da formação, ao coeficiente de armazenamento específico e ao projeto, construção, desenvolvimento e manutenção do poço a ser amostrado. Os poços com boa recarga hidráulica requerem otimização da vazão de purga para que se controlem o sentido e a velocidade de fluxo da água, além do transporte de coloides e material em suspensão. A dinâmica da água subterrânea não deve ser alterada de forma significativa durante a purga, de modo a evitar que água de áreas distantes do ponto de monitoramento seja atraída por fluxo induzido ou por inversão do sentido de fluxo, causados por taxas de purga elevadas ou períodos de purga muito longos.

No método de baixa vazão, a purga é realizada por meio de taxas de bombeamento reduzidas (entre 0,05 L/min e 1,0 L/min), compatíveis com a capacidade de recarga do poço de monitoramento, que causem o rebaixamento excessivo do nível da água, evitando a coleta da água não representativa. Durante o bombeamento, parâmetros indicadores são monitorados até que seja obtida a estabilização das suas leituras, indicativo de que água representativa da formação está sendo coletada e que a purga está completa.

O equipamento de amostragem deve ser posicionado de forma lenta no interior do poço de monitoramento, preferencialmente no meio do tubo-filtro, para que a bomba possa captar a água do fluxo natural do aquífero. A finalização da purga será definida por meio da estabilização dos parâmetros indicadores.

A vazão de bombeamento deve ser definida de forma a minimizar os distúrbios que podem ser gerados pelo rebaixamento excessivo do nível da água do poço de monitoramento e na formação, pelo aumento da velocidade de movimentação da água subterrânea no aquífero e pelo aumento da zona de captura do poço, respeitando a variação de $\leq 25\text{cm}$ do nível estático.

Após a estabilização hidráulica busca-se a estabilização química, que é feita por meio do monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos, indicativos da qualidade da água que determinará momento em que a purga pode ser encerrada.

Os parâmetros indicativos da qualidade da água que devem ser monitorados durante a purga são: temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução e oxigênio dissolvido. Pesquisas científicas (PULS; BARCELONA, 1996) e a experiência prática (dos autores) demonstraram que a condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido são os parâmetros mais confiáveis para a determinação da estabilização, sendo este o último o mais conservador de todos, por ser o mais sensível a interferências.

As faixas de variação das leituras recomendadas pela Norma ABNT NBR 15.847:2010 (ABNT, 2010) são as seguintes: temperatura: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; pH: $\pm 0,2$ unidade; condutividade: $\pm 5,0\%$ das leituras; oxigênio dissolvido: $\pm 10\%$ das leituras ou $\pm 0,2\text{ mg/L}$, o que for maior e potencial de oxirredução: $\pm 20\text{ mV}$.

Após a estabilização química inicia-se a coleta das amostras propriamente dita, seguindo procedimento padronizados para amostras de água.

4. METODOLOGIA

O presente capítulo visa descrever a área de estudo e as metodologias utilizadas nas oito campanhas de Evolução da Operação do Sistema de Remediação e o Monitoramento da Qualidade da água subterrânea, realizado após o período de operação do sistema de remediação, da área alvo do estudo de caso deste trabalho.

4.1 Caracterização da Área de Estudo

Por motivos de confidencialidade, no presente documento não serão fornecidas maiores informações acerca da empresa de engenharia ambiental que cedeu os dados para este trabalho, bem como da indústria, cuja área está sob processo de remediação, contudo é possível citar que esta última é tem por atividade principal a reciclagem de resíduos metálicos. Possui uma área de aproximadamente 134.697,26 m², e sua localização é apresentada na Figura 2.

A empresa de engenharia ambiental foi contratada em setembro de 2016 para realizar um processo de remediação da área contaminada, alvo do estudo de caso deste trabalho.

Para avaliar a hidrogeologia local foram realizadas sondagens, com equipamento Hollow Stem Auger com brocas de quatro polegadas, visando obter as seguintes informações:

- Descrição do perfil litológico do subsolo local; e
- Verificação da ocorrência de resíduos ou produtos químicos no subsolo e a coleta de amostras de solo para análises físicas e químicas, conforme as especificações da ABNT NBR 15.492:2007 (ABNT, 2007b) “Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento” e do “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas” (CETESB, 2001).

Foram executadas 10 sondagens de investigação (SD-65 a SD-74) sendo determinada a litologia do solo, a partir da análise tátil visual do solo e com isso

caracterizar a geologia subsuperficial local, em atendimento aos critérios estabelecidos pela Norma ABNT NBR 6.502:1995 “Rochas e solos: Terminologia” (ABNT, 1995).

A geologia no Estado do Rio de Janeiro é caracterizada por abundante granitogênese neoproterozóica, associada à deformação e metamorfismo da sequência metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul, resultantes do Ciclo Orogênico Brasileiro. Granitoides metaluminosos pré a sincolisionais alcançam sua mais importante expressão nos batólitos Serra dos Órgãos e Rio Negro, incluindo associações calcioalcalinas expandidas (Complexo Rio Negro). Magmatismo peraluminoso, sincolisional, do tipo S, representado por granitoides intensamente deformados e estirados segundo o trend NE-SW, está relacionado predominantemente ao Batólito/Arco Rio de Janeiro. São associados aos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul, dos quais derivam por processos de fusão parcial. Também ocorrem inúmeros plútons calcioalcalinos de natureza milonítica, controlados pelas zonas de cisalhamento direcionais, e corpos não deformados, cuja distribuição aparentemente independe da estruturação principal do orógeno, ou seja, não estão compartimentados pelas estruturas N45E, além de uma geração tardia de posicionamento pós-tectônico.

A geologia geral local é representada por rochas proterozóicas como ortognaisses bandados e migmatitos variegados (Complexo Rio Negro) no sudoeste e oeste do município e plutonitos de composição granítica e granodiorítica (Unidade Serra dos Órgãos) no restante de sua área. Estruturas como diques e falhas estão orientadas, predominantemente, com direção NE-SW (SILVA; CUNHA, 2001).

A geologia na área de estudo é caracterizada por uma região de baixada que foi aterrada para possibilitar a construção de estruturas residenciais e comerciais em função do solo mole originário da área. O aterro caracteriza-se por uma camada de argila siltosa com areia marrom avermelhada enquanto que o solo original da área caracteriza por uma camada de argila siltosa mole cinza com características orgânicas, intercalada com uma argila siltosa marrom e marrom claro também mole.

A Unidade Geomorfológica, em que a área da bacia de estudo está inserida, é de domínio da Mata Atlântica, constituída por planícies, colinas, maciços costeiros e

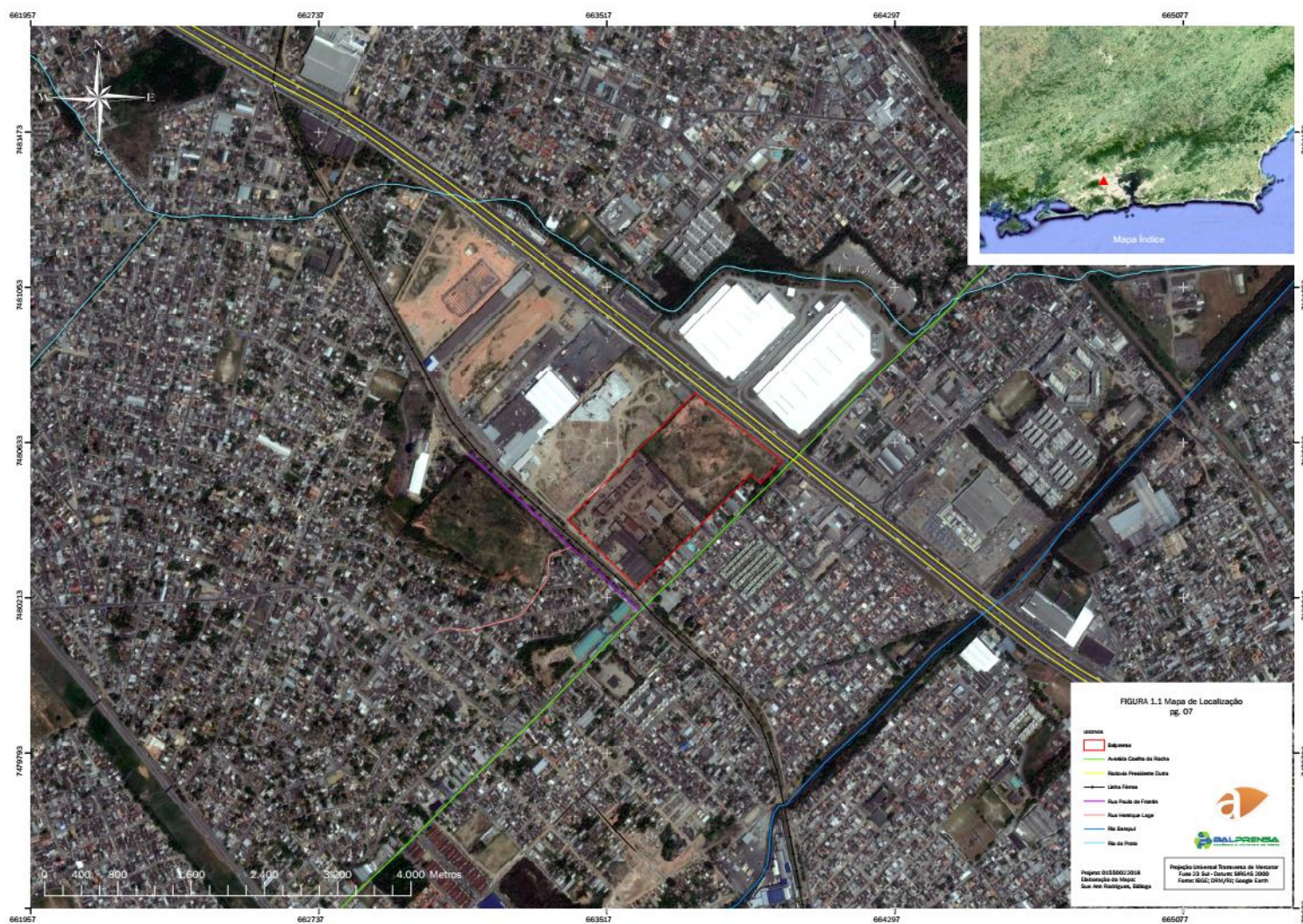
pelas escarpas da Serra do Mar. As áreas de planície correspondem à Baixada Fluminense, apresentam terrenos argilo-arenosos, sedimentos com cascalhos e matéria orgânica, mal drenados, com escavabilidade variável de fácil a moderada com possibilidade de apresentar dificuldade devido à baixa coesão e nível d'água raso, além da possibilidade de recalques diferenciais (DANTAS *et al.*, 2000).

O município onde está inserida a área de estudo é margeado pelos Rios Iguaçu, Sarapuí e Botas, seu solo argilo-arenosos caracterizado por uma sedimentação de interface entre ambientes continentais e marinhos ou transicionais, resultante de fluxo aluviais e gravitacionais de transporte de materiais de alteração de vertentes. Esses depósitos sedimentares apresentam em sua composição material de espessura e granulometria variada, desde a argila até os blocos rochosos.

O escoamento natural do fluxo subterrâneo na área apresenta sentido preferencial para o Sudeste (SE). Este fluxo principal aparentemente está alinhado ao sentido geral do fluxo da área, que tende para uma descarga natural para o rio Sarapuí, que por sua vez desagua na Baía de Guanabara.

As condutividades hidráulicas (K) obtidas para o aquífero nos poços de monitoramento ensaiados apresentaram “k” médio de $2,37 \times 10^{-5}$ m/s e a velocidade de fluxo da água subterrânea calculada foi 87,67 metros/ano do PM-53 ao PM-51.

Figura 2 - Mapa de Localização



Fonte: APOLLO, 2019.

Para a verificação da ocorrência de produtos químicos foram coletadas amostras de solo a cada 0,50 m durante a realização das sondagens e divididas em duas alíquotas, acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e auto selantes, sendo uma delas acondicionada sob refrigeração, à temperatura de até 4 °C, para a posterior leitura dos compostos orgânicos voláteis com equipamento de ionização catalítica modelo O Gastech Innova SV, que possui a eliminação do Metano (CH₄).

A seleção da amostra de solo por sondagem, a ser encaminhada para análise química em laboratório seguiu as diretrizes estabelecidas no Manual de Gerenciamento (CETESB, 2001) e a DD CETESB nº 038 (São Paulo, 2017). Esses documentos determinam que após as leituras dos compostos orgânicos voláteis, nas amostras de solo coletadas no perfil de sondagem, deverá ser encaminhada a amostra que apresentar a maior concentração a partir das leituras realizadas. Caso não seja detectada concentrações de voláteis, a amostra coletada na franja capilar deverá ser encaminhada ao laboratório. Nas sondagens SD-67 a SD-74, foram coletadas 02 amostras de solo por sondagem em diferentes profundidades.

A Tabela 1 apresenta, as profundidades totais de cada furo de sondagem e as justificativas para a localização e realização das sondagens de investigação.

Tabela 1 - Dados das Sondagens realizadas

Sondagem	Poço de Monitoramento	Nível d'água durante a perfuração (m)	Profundidade (m)	Justificativa
SD-65	PM-52B	2,40	6,00	Delimitar contaminação
SD-66	PM-53B	2,80	6,00	Delimitar contaminação
SD-67	PM-54B	1,90	6,00	Delimitar contaminação
SD-68	PM-55	2,10	5,00	Delimitar contaminação
SD-69	PM-56	2,90	7,00	Delimitar contaminação
SD-70	PM-57	0,91	5,00	Investigação de possível Contaminação
SD-71	PM-58	0,85	4,80	Investigação de possível Contaminação
SD-72	PM-59	1,46	6,00	Delimitar contaminação
SD-73	PE-03	2,30	6,00	Extração de contaminante
SD-74	PE-04	0,60	5,50	Extração de contaminante

As Figura 3 e Figura 4 apresentam respectivamente, a localização das sondagens, e a localização dos poços de monitoramento instalados, e as Figura 5, Figura 6 e Figura 7 apresentam os perfis litológicos das sondagens e os perfis construtivos dos poços de monitoramento, bem como as respectivas profundidades das amostras de solo enviadas para análises.

A pluma de hidrocarboneto em fase livre foi estimada (Figura 8) considerando as características hidrogeológicas da área, bem como a observação da presença de produto oleoso nos poços ao redor da área impactada.

Figura 3 - Foto com a Localização das sondagens (SO) - ícones na cor laranja



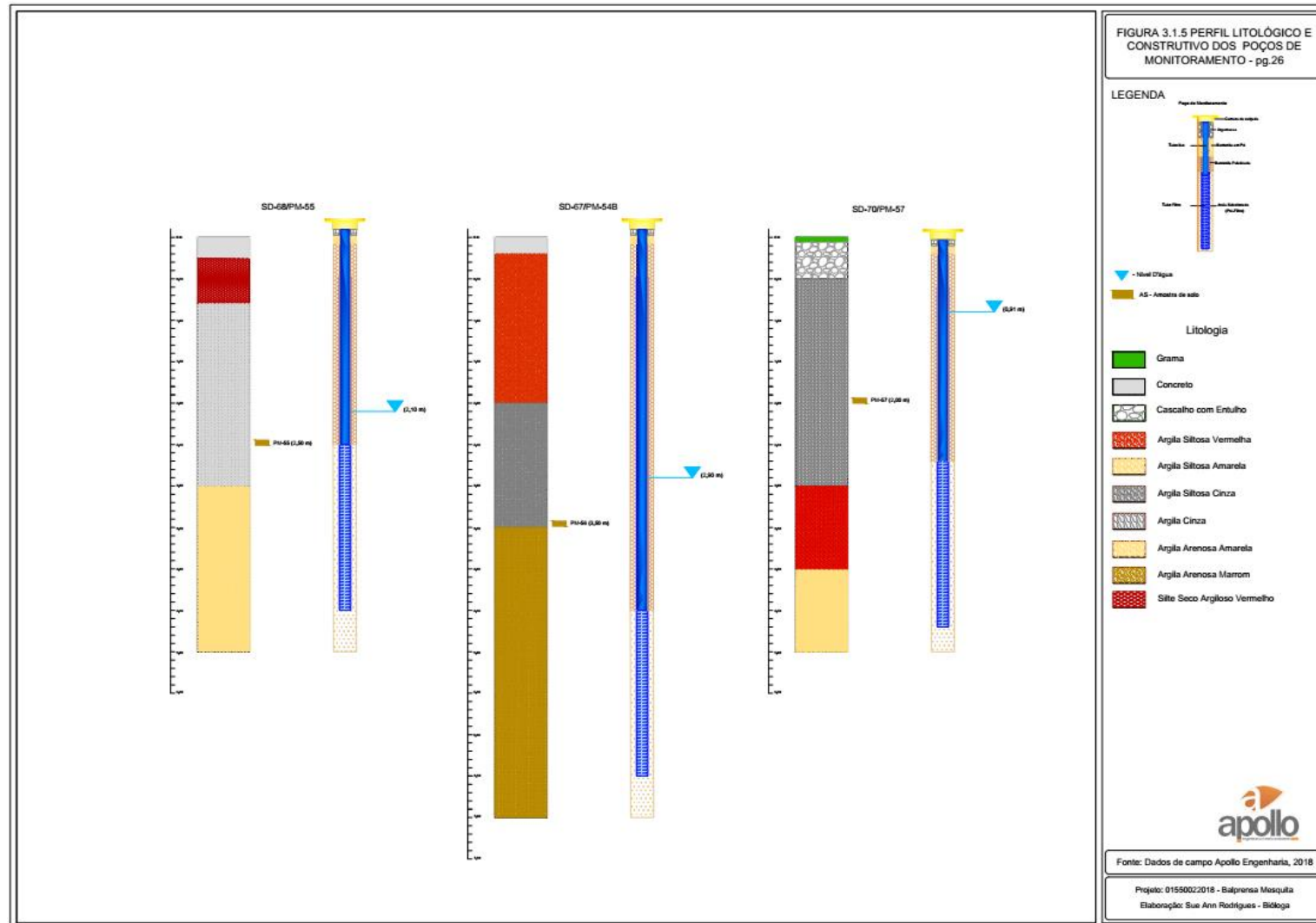
Fonte: APOLLO, 2019

Figura 4 - Foto com a Localização dos Poços de Monitoramento (PM) e Poços de Extração (PE).



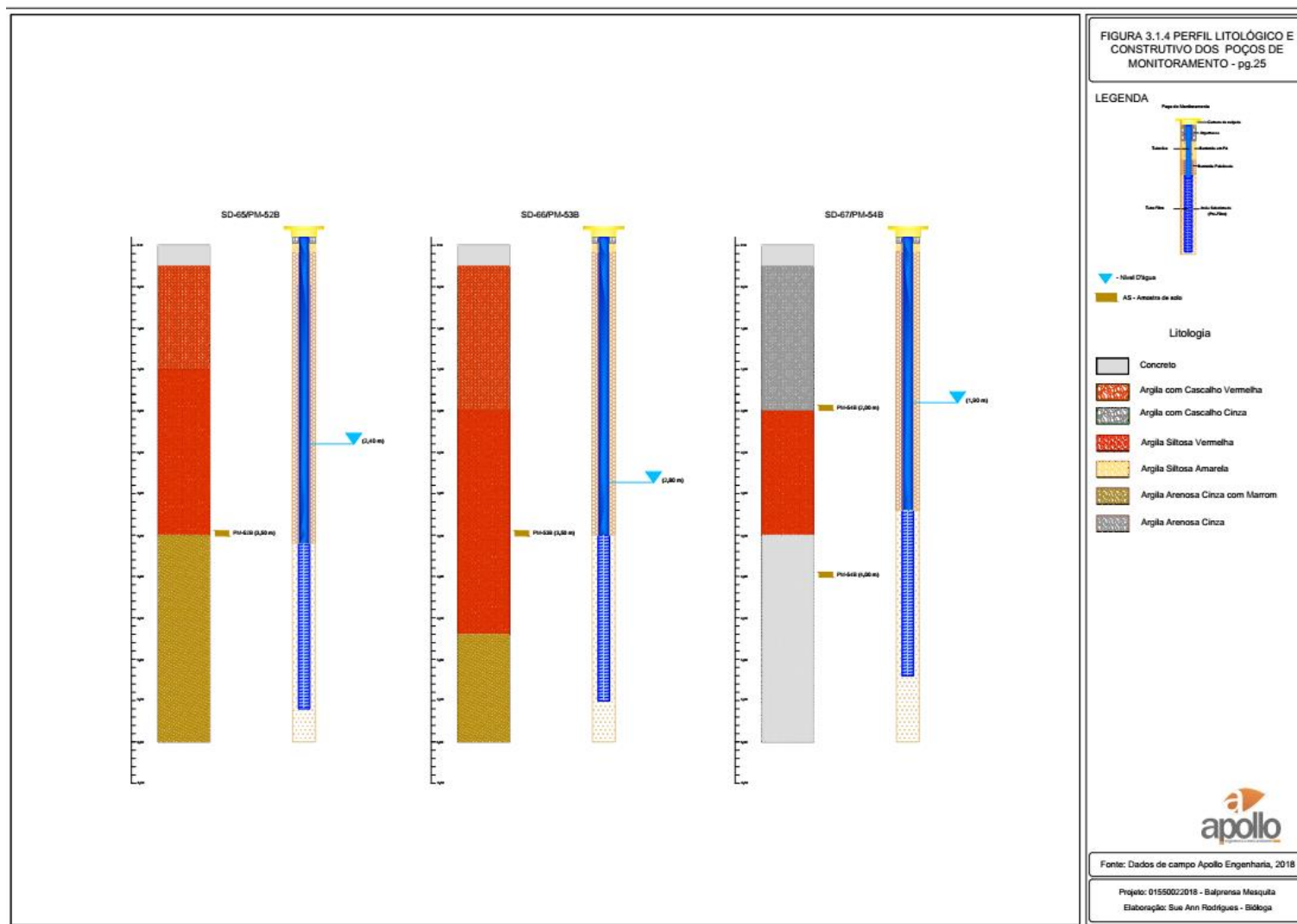
Fonte: APOLLO, 2019

Figura 5 - Perfil Litológico e construtivo dos Poços de Monitoramento e Poços de Extração.



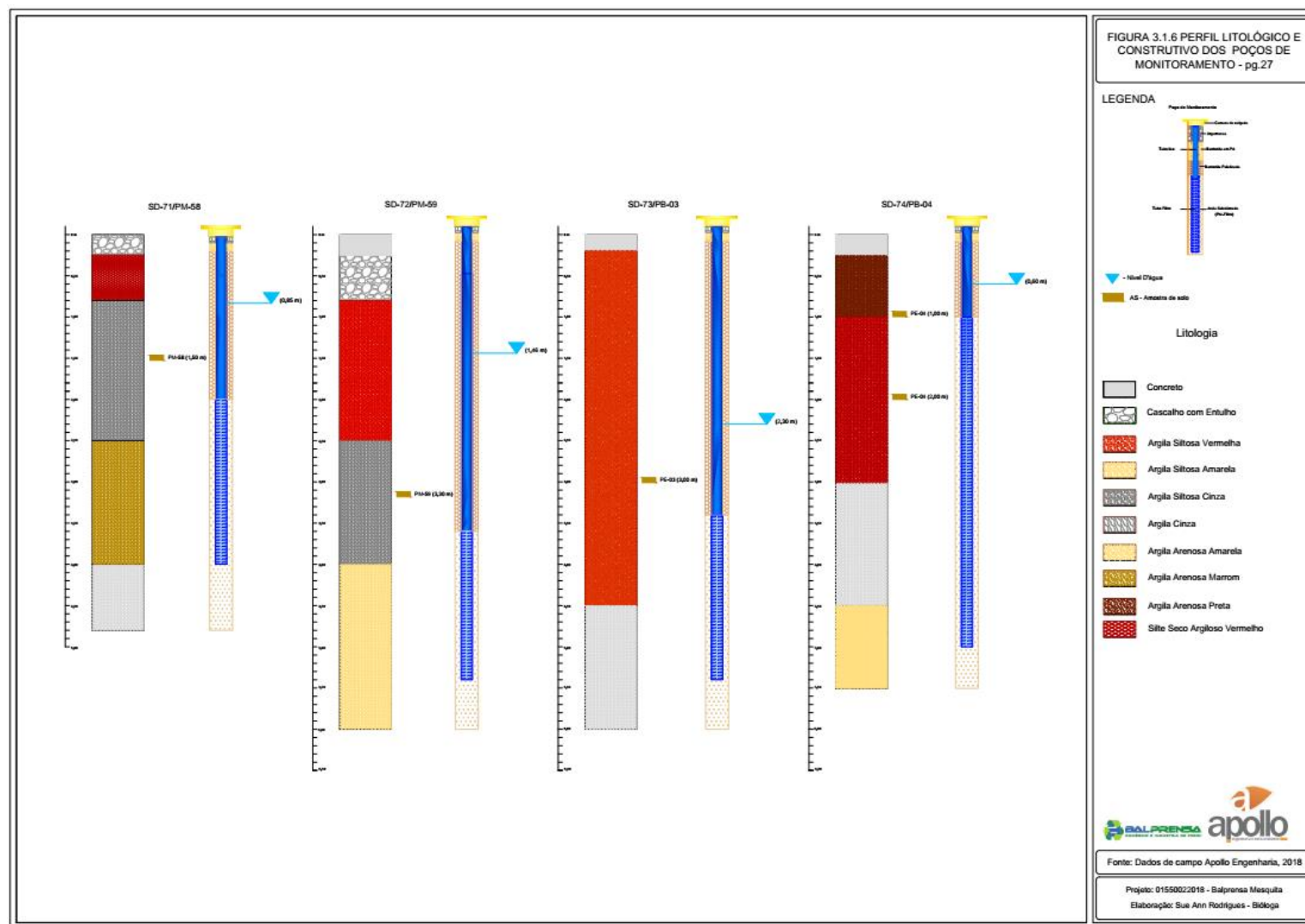
Fonte: APOLLO, 2019

Figura 6 - Perfil Litológico e construtivo dos Poços de Monitoramento



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 7 - Perfil Litológico e construtivo dos Poços de Monitoramento (sondagens 71 e 72) e Poços de Extração (sondagens 73 e 74).



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 8 - Pluma de Hidrocarboneto 1º Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

4.2 Amostragem de Água Subterrânea e Medições dos Parâmetros Físico-Químicos.

Após a instalação e desenvolvimento dos poços de monitoramento e dos poços de extração pela empresa de engenharia ambiental, foram realizadas, oito Campanhas de Amostragens de água subterrânea nos poços de monitoramento PM-22, PM-51, PM-52B, PM-53B, PM-54B, PM-55, PM-56, PM-57, PM-58 e PM-59.

A metodologia de baixa vazão utilizada na Campanha de Monitoramento segue os critérios de amostragem descritos na Norma ABNT NBR 15.847:2010 “Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de Purga” (ABNT, 2010), no “Standard Practice for Low-Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground- Water Quality Investigations” (ASTM, 2007) e no “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas” (CETESB, 2001).

Todas as amostras foram acondicionadas em frascos adequados de acordo com o Guia nacional de coleta e preservação de Amostras (CETESB/ANA, 2011), imediatamente após a coleta, as amostras foram armazenadas em isopor com gelo, com intuito de se preservar as amostras na temperatura de 2°C a 6°C, para posterior entrega ao laboratório.

Como forma de assegurar a rastreabilidade das análises químicas, juntamente com as amostras foi encaminhada a cadeia de custódia, contendo a identificação das amostras, matriz, data e hora das coletas.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros amostrados em cada campanha de coleta das amostras de água subterrânea enviadas ao laboratório na campanha.

Tabela 2 - Protocolo de armazenamento e preservação das amostras de água

Parâmetros	Método de Análise	Prazo para Análise	Preservação
VOC	USEPA 8260 (B):2006	14 dias (para análise e extração)	refrigerar a 4° c
SVOC	USEPA 8260 (B):2006	07 dias (extração) 40 dias (análise)	refrigerar a 4° c
	USEPA 8015 (D)	07 dias (extração) 40 dias (análise)	
TPH FINGER PRINT	MA INO 033 / MA INO 044 MA INO 045	demais metais – 6 meses	refrigerar a 4° c
VOC – compostos orgânicos voláteis; SVOC – compostos orgânicos semi-voláteis			

Fonte: Do próprio autor.

4.3 Sistema de Remediação

O sistema de Remediação instalado na área é composto de um equipamento Multi-Extração de fases (MPE), com o objetivo principal de remover o óleo presente no solo e água subterrânea, bem como recuperar a área impactada.

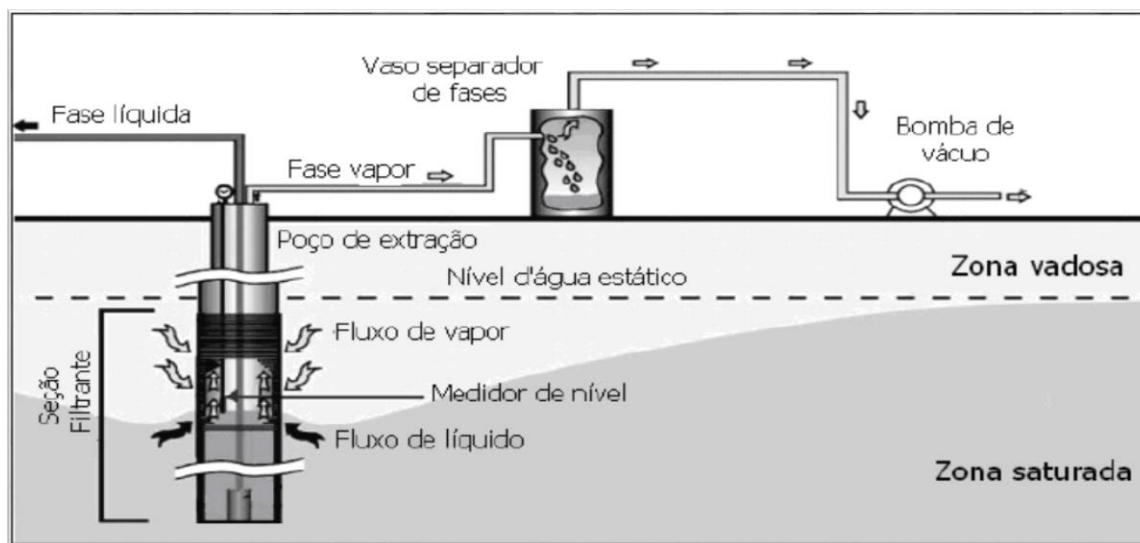
O princípio do sistema de remediação por extração consiste na indução de fluxo de ar no solo, aplicado através da diferença de pressão entre o solo e o sistema, acarretando um movimento global de massa (águas subterrâneas, fase livre e vapores do solo), resultante da transferência de quantidade de movimento entre correntes. A extração ocorre num tubo único, e devido a corrente mais viscosa ser mais sensível ao movimento, está desenvolve um perfil de velocidade capaz de ser extraída do solo.

O Sistema MPE também promove a renovação de ar nos poros e na franja capilar do solo, fornecendo uma fase gasosa mais rica em oxigênio, capaz de transferir para a fase aquosa e ativar o metabolismo aeróbio dos microrganismos para oxidação dos produtos indesejáveis que se encontram presentes no solo. A baixa pressão aplicada ao solo provoca também maior volatilização dos compostos orgânicos voláteis existentes.

A Extração Multifásica – MPE ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo em poços de extração distribuídos na área de interesse, visando criar uma zona de influência do sistema em toda a extensão da pluma de contaminação (Figura 9).

Os vapores e líquidos do Sistema MPE são enviados para um tanque de vácuo, onde ocorre a separação das fases líquida e gasosa, sendo a primeira enviada para uma caixa separadora de água e óleo, onde ocorre a separação da fase livre de produto (quando presente) da água contaminada. Esta é direcionada para tratamento no filtro de carvão ativado e posteriormente para a caixa SAO, efluente ou rede de esgoto da área.

Figura 9 - modelos esquemático sistema multi-extração de fases (MPE)



Fonte: Adaptado de MILANI, 2008

O sistema MPE foi instalado em 05 poços de extração, sendo estes denominados de PE-01 e PE-02, no poço de monitoramento PM-16 e no conjunto de poços multiníveis PMN-01A e PMN-01B, para a extração da fase livre e dissolvida na área.

O presente estudo avalia o processo de remediação em oito campanhas de monitoramento trimestrais, de 03 de abril de 2017 a 22 de outubro de 2019.

Para medir o processo de remediação do tipo MPE, se faz necessário monitorar e controlar dados técnicos dos equipamentos em operação, como por exemplo a pressão de vácuo no sistema, pois este será responsável por retirar do subsolo os contaminantes na fase líquida (presentes na água subterrânea) e na fase vapor (adsorvidos nas partículas do solo). Ainda o monitoramento da qualidade da água subterrânea, irá apontar a evolução do tratamento realizado, a partir dos resultados

medidos *in situ* e das amostras de água que deverão ser direcionadas ao laboratório.

A Quadro 2 apresenta a relação dos equipamentos do sistema instalado.

Quadro 2 - Equipamentos do sistema MPE

Sistema	Equipamento	Fabricante	Características
MPE	Bomba de vácuo.	Bombeq	4,60 HP, 6,3 m ³ /min (ar)
	Tanque metálico	Empresa Engenharia Ambiental	Fabricado com chapas de aço de 3 mm, pintado pelo processo eletrostático.
	Bomba helicoidal de transferência.	NETZSCH	MODELO NM021BY01L06B – 800 L/h
	Painel Elétrico de Controle.	Empresa Engenharia Ambiental	Proteções contra sobre-amperagem e falta de fase.
	Caixa separadora de água e óleo.	ALFAMEC	Capacidade de 800 L/h.
	Filtro para fase líquida.	Empresa Engenharia Ambiental	Montado em tambor de polietileno com capacidade nominal de 200 litros.

Fonte: Do próprio autor.

Os dados do monitoramento de vácuo exercido pelo sistema MPE operante na área, durante toda a campanha de evolução, variou entre 150 e 200 mmHg, tendo como médias 198 mmHg, no período de abril de 2017 a dezembro de 2018, 172 mmHg no período de janeiro a outubro de 2019, sendo a média do período de 185 mmHg. Os valores apresentados são aceitáveis para um sistema de remediação e as oscilações observadas se devem aos ajustes realizados em campo.

5.RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes a evolução da operação do sistema de remediação e o monitoramento da qualidade da água subterrânea na área alvo do estudo de caso deste trabalho, durante o período de operação do sistema de remediação da contaminação de derivados de petróleo por extração multifásica (MPE). Cabe destacar que o sistema esteve paralisado, devido a um problema na bomba, entre os dias 10 de outubro de 2019 e 29 de outubro de 2019.

5.1 Monitoramento da espessura da Fase Livre

O período de operação do sistema de remediação MPE, para o estudo de caso abordado, se deu entre os dias 03 de abril de 2017 a 22 de outubro de 2019, no qual foram realizadas medidas as espessuras de fase livre em metros, nos poços PE-01, PE-02, PE-3, PE-04 e PE-05, no poço de monitoramento PM-16 e no conjunto de poços multiníveis PMN-01A e PMN-01B.

As Tabelas A.1 e A.2, contidas no anexo A e os gráficos apresentados nas Figura 10 e Figura 11 reproduzem os resultados das ocorrências de fase livre, medida pela sua espessura em cada poço do sistema de remediação e por campanha de amostragem, durante o período considerado.

Na tentativa de facilitar a compreensão da análise dos resultados, os gráficos foram divididos em oito períodos (T1 a T8), não necessariamente coincidentes com a periodicidade das campanhas de monitoramento, e sim por semelhança de comportamento.

Quatro poços apresentaram ocorrência mensurável da espessura da fase livre, PE-1, PM-16, PMN-01B e PMN-01A. Pode-se observar que ocorreu três condições distintas de queda da espessura da fase livre. Nos poços PE-1 e PM-16 houve uma drástica redução da fase livre no T1. No PMN-01B houve uma grande flutuação da espessura entre T1 e T5. Para o PMN-01A a fase livre ampliou e caiu consideravelmente no T6.

É possível observar no T1 que há uma nítida queda nos níveis de espessura de fase livre diante da introdução do sistema de remediação MPE, na ordem de cerca

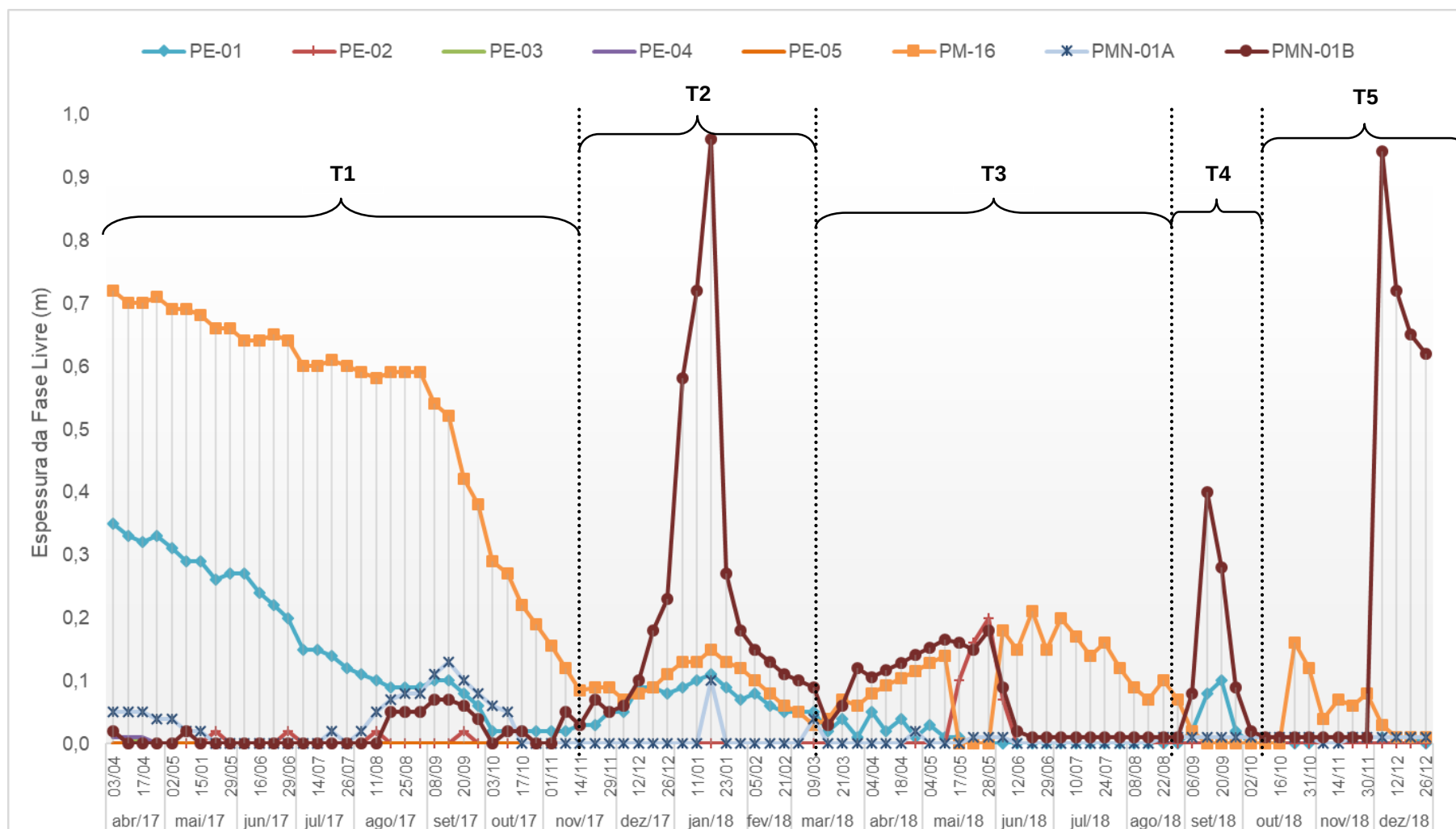
de 88% nos poços PE-1 e PM-16. O mesmo observou-se no T6, com cerca de 93 e 68% para os poços PMN-01A e PMN-01B respectivamente. Contudo entre os períodos T1 a T5, percebe-se que a curva de espessura da fase livre vem tendendo a zero e sofre picos de crescimento, notadamente para o PMN-01B.

Há também a presença de tendência de estabilidade da espessura da fase livre em níveis não mensuráveis nos dois últimos períodos (T7 e T8) para a maioria dos poços, com exceção do PMN-01B.

Embora as oscilações sejam esperadas em razão de efeitos como o próprio meio funcionar como uma fonte secundária de contaminação, liberando por ação mecânica, gradativa o material contaminado do solo e águas subterrâneas aos poços analisados, há ainda que se levar em consideração fatores como índice de precipitação na região, em períodos antecedentes ao monitoramento.

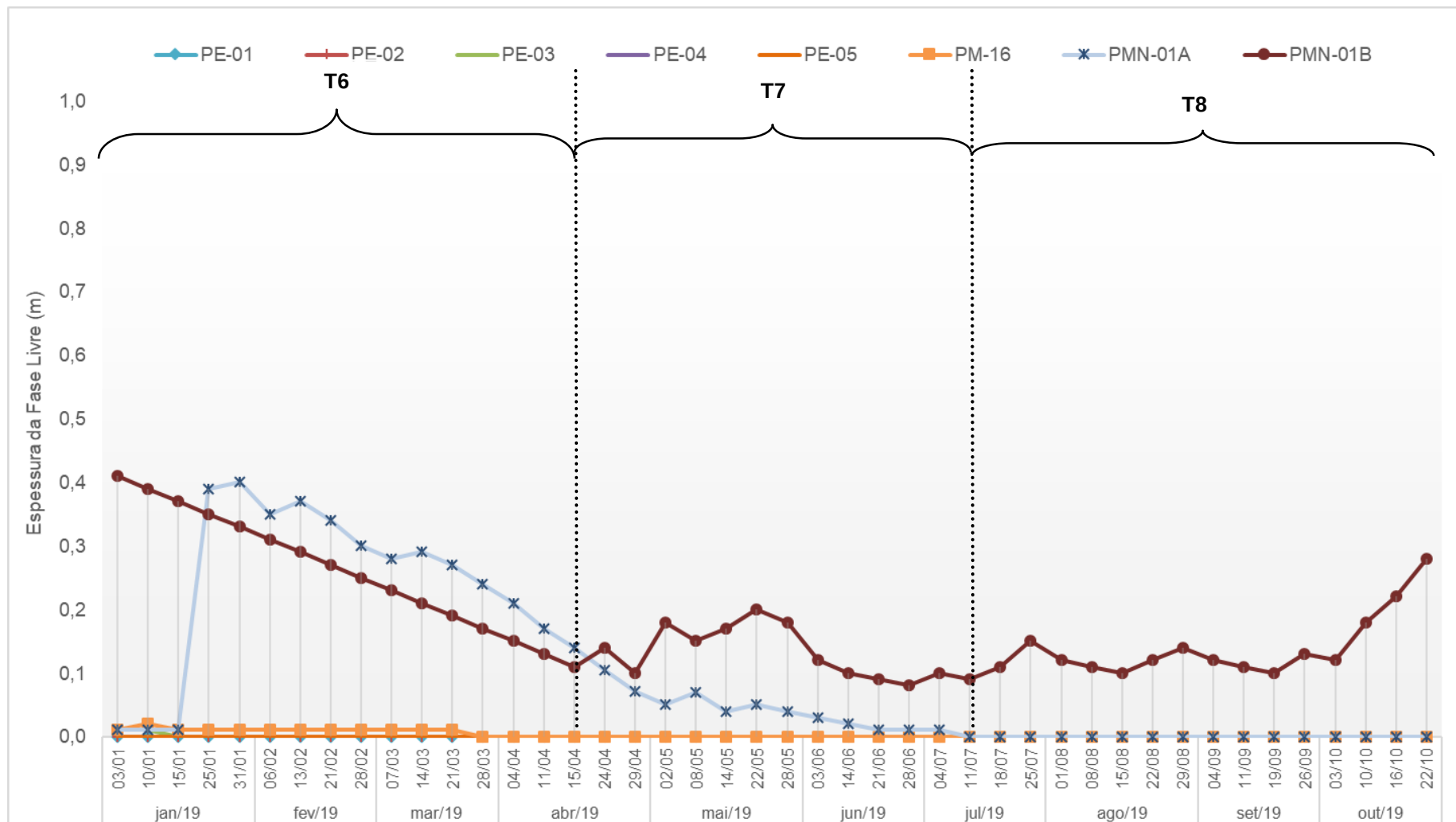
Portanto a avaliação dos resultados deve ser feita de maneira global e contínua, sendo a proposta da divisão dos resultados de espessura da fase livre ao longo do tempo, ser meramente qualitativa, e com a finalidade de buscar possíveis causas das oscilações verificadas.

Figura 10 - Monitoramento da fase livre para o período de 03 de abril de 2017 a 26 de dezembro



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 11 - Monitoramento da fase livre para o período de 03 de janeiro de 2018 a 22 de outubro de 2019



Fonte: APOLLO, 2019

5.2 Pluviometria

As coletas de informações pluviométricas, com o intuito de verificar a influência nos dados hidroquímicos e hidrodinâmicos, relacionando-os às oscilações do nível d'água e fase livre no local, obtida durante o funcionamento do sistema de Extração Multifásica – MPE.

Estes dados pluviométricos foram obtidos no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia¹¹ – da estação pluviométrica Vila Militar (A621), sob o código OMM 86879, localizada no bairro de Realengo, na cidade do Rio de Janeiro, que dista cerca de 9.443 metros da área de estudo. Ressalta-se que a estação pluviométrica escolhida para a obtenção dos dados é a que melhor representa as características da área, bem como a sua proximidade.

Nota-se que o regime de chuva da região não foi uniforme ao longo do período, com picos de precipitação nos meses de janeiro, fevereiro e novembro de 2018, salvo um dia em novembro de 2017 (98,7 mm), conforme apresentado na Figura 12.

Em 2019, é possível perceber picos de precipitação no final de janeiro, nos meses de fevereiro e março, e um dia em abril (137 mm), conforme apresentado na Figura 13.

Comparando-se a Figura 10 com a Figura 12 e a Figura 11 com a Figura 13, mais precisamente os períodos T2, T5 e T7 é possível considerar que o aumento da espessura de fase livre nos poços monitorados tenham forte influência do volume de chuva no período em questão.

No que diz respeito ao T2, que vai de 14 de novembro de 2017 a 09 de março de 2018, verifica-se que os aumentos da espessura da fase livre coincidem com um período de forte precipitação, que foi entre os dias próximos a 19 de novembro de 2017 e 08 de janeiro de 2018, ocorrendo no dia 20/11/2017 o pico em volume de chuva de 98,7 mm. Considerando que há uma defasagem de tempo entre a resposta em termos de aumento da espessura da fase livre, com

¹¹ INMET – Instituto Nacional de Meteorologia disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>.

o aumento do volume de água na região contaminada por precipitação e a velocidade que este material chegar aos poços de avaliados. O mesmo raciocínio se aplica aos períodos T5 e T7.

Figura 12 - Dados pluviométricos do período de funcionamento do sistema MPE entre março de 2017 a dezembro de 2018

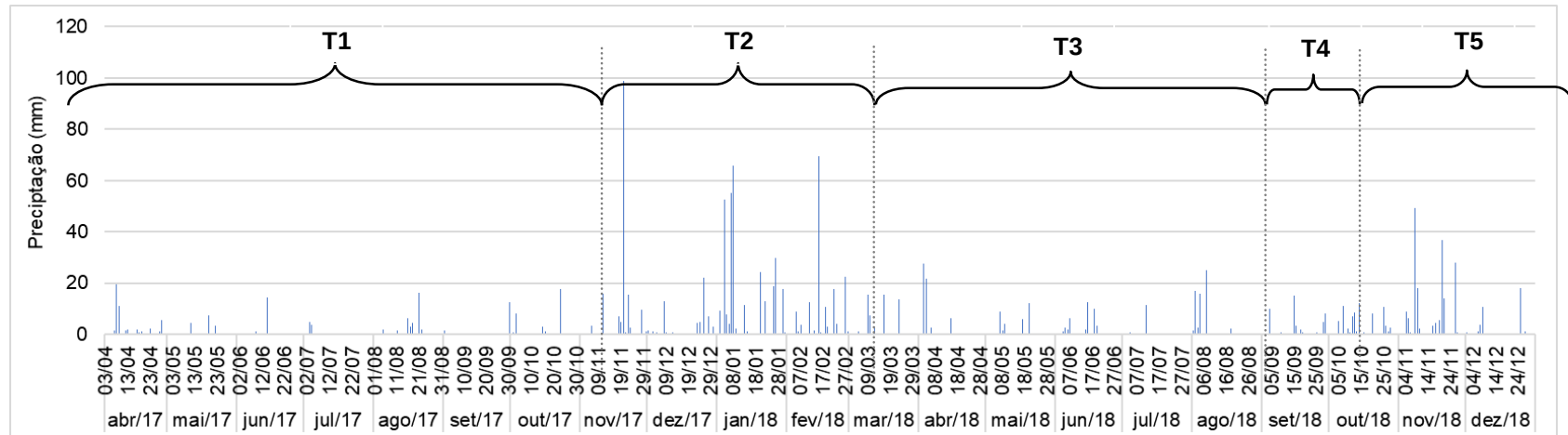
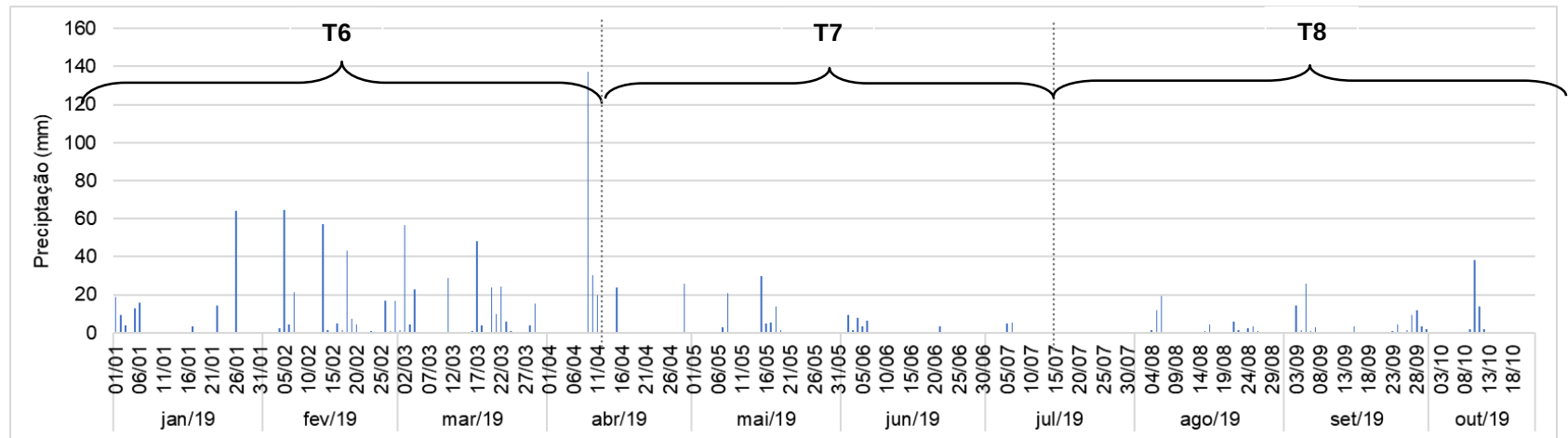


Figura 13 - Dados pluviométricos do período de funcionamento do sistema MPE entre janeiro de 2019 a outubro de 2019



Fonte: APOLLO, 2019.

5.3 Volume Extraído pelo Sistema (Água + Óleo)

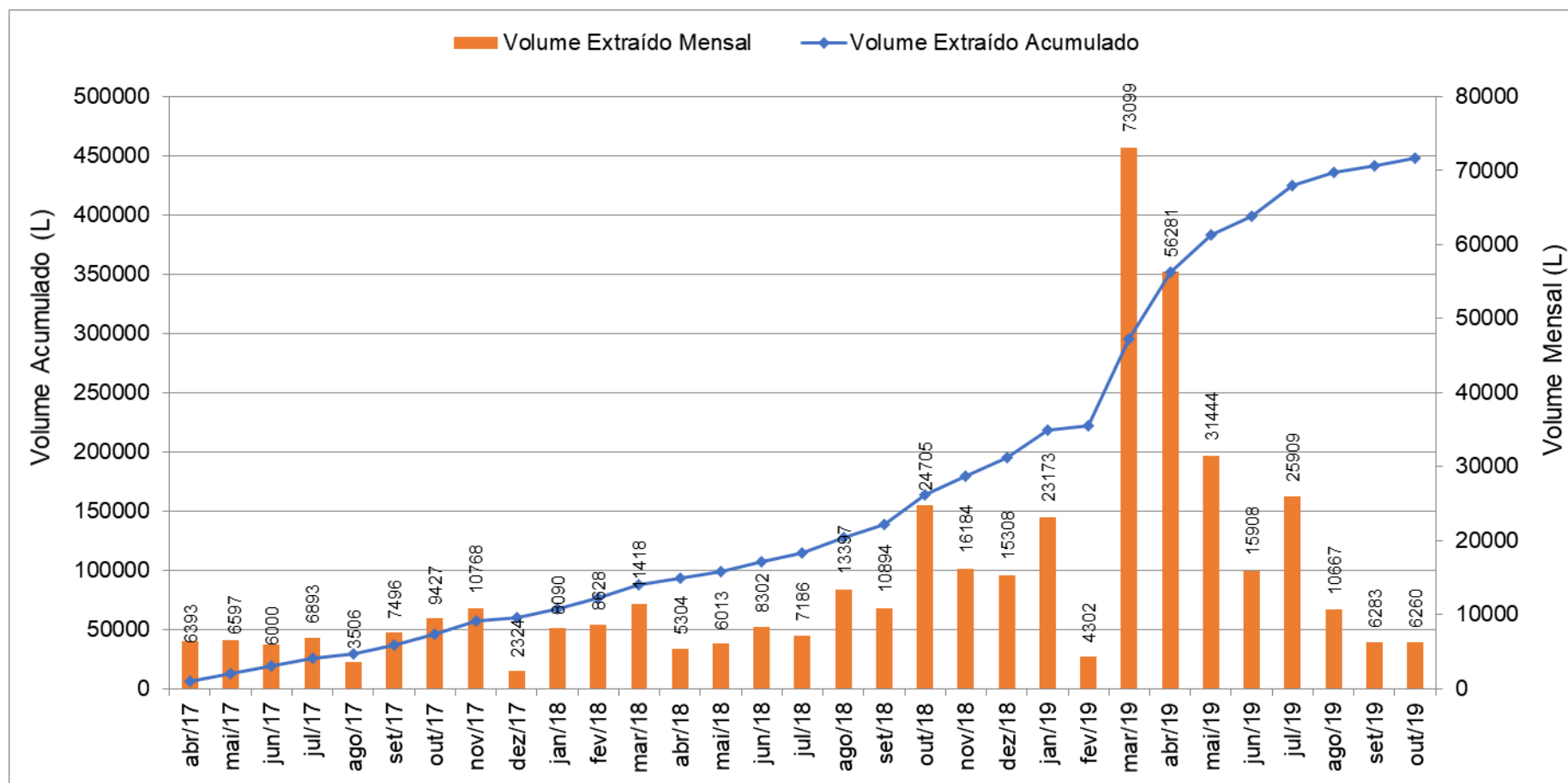
Na Tabela B.1, apresentada no Anexo B são exibidos os dados referentes ao volume de solução composta de água e óleo, extraído pelo sistema durante todo o período de funcionamento avaliado, ou seja, a partir do dia 03 de abril de 2017.

A Figura 14 apresenta o gráfico dos volumes mensais extraídos e acumulado para o período de estudo, no qual é possível verificar uma pequena variação do volume retirado mensalmente em 2017, em média 6.600 litros. Nos anos de 2018 e 2019, o mesmo comportamento não se observa, sendo as médias de retirada 11.285 e 25.332 litros respectivamente. Em 2019, mais precisamente nos meses de março e abril, há um volume de retirada considerável, chegando a ser aproximadamente o triplo do maior volume retirado mensalmente durante todo o processo de remediação.

O volume da solução composta de óleo e água removido nos poços de extração está sujeito a permeabilidade e transmissividade do subsolo, fatores hidrogeológicos ligados diretamente as características da litologia do solo na área e podem estar associados as precipitações pluviométricas ocorridas na área de estudo.

Vale ressaltar que o volume bombeado não necessariamente representa o volume de óleo recuperado do solo e água subterrânea, uma vez que o sistema MPE remove uma solução aquosa com a presença do contaminante (óleo) e o mesmo é direcionado para o sistema de tratamento de oleosos do próprio sistema, notadamente a Caixa Separadora de Água e Óleo. O volume de óleo, de acordo com as medições realizadas pela equipe de operação do sistema, foi cerca de 30% do volume total extraído.

Figura 14 - Histórico do volume de produto extraído pelo sistema MPE



Fonte: APOLLO, 2019.

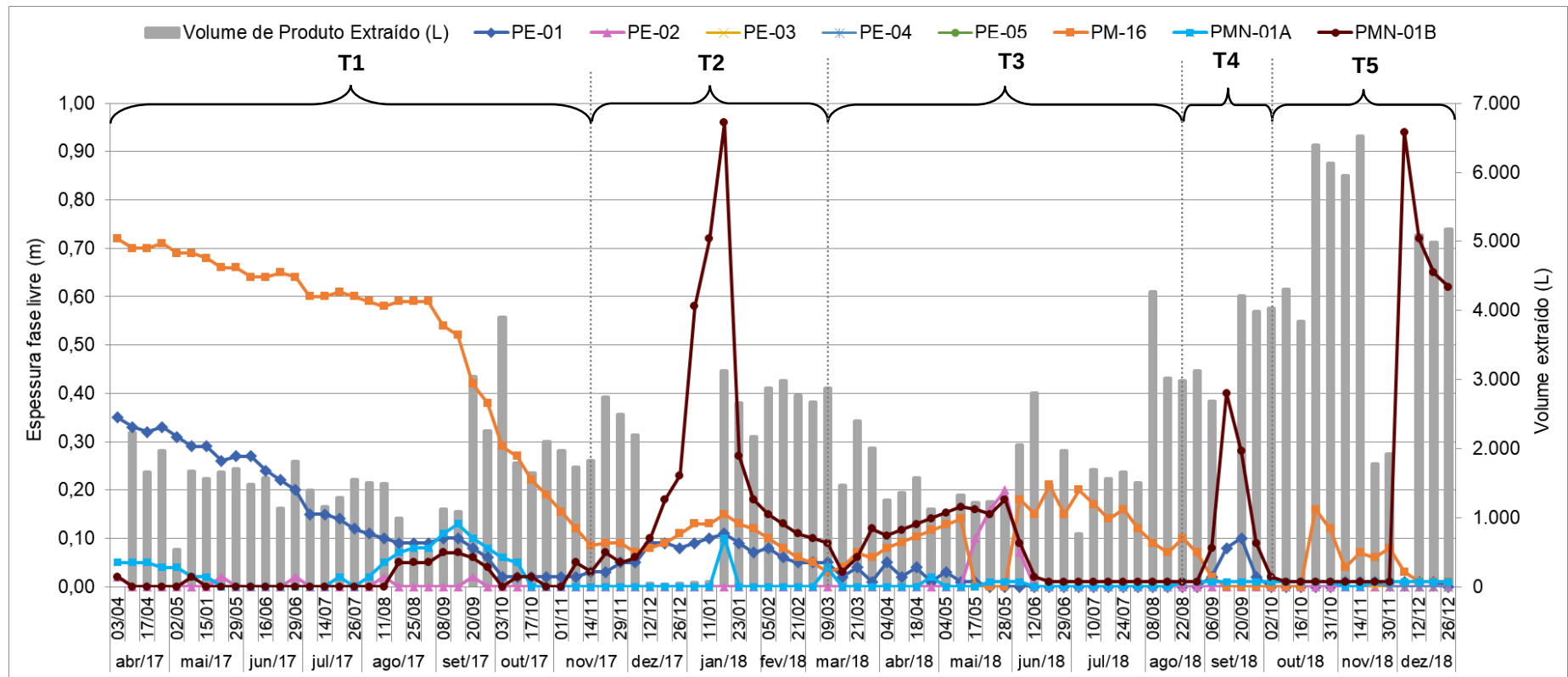
5.4 Análise do processo de remediação Multi-Extração de fases MPE

5.4.1 Remediação da Área

Neste item será realizada uma comparação entre os dados de espessura de fase livre e volume de extração da solução composta de água e óleo, em termos da análise do processo ao longo do tempo. As Figura 15 e Figura 16 trazem gráficos sobrepostos para os mesmos períodos de tempo, das informações de espessura de fase livre e produto extraído da área contaminada, a partir dos quais é possível fazer as seguintes observações:

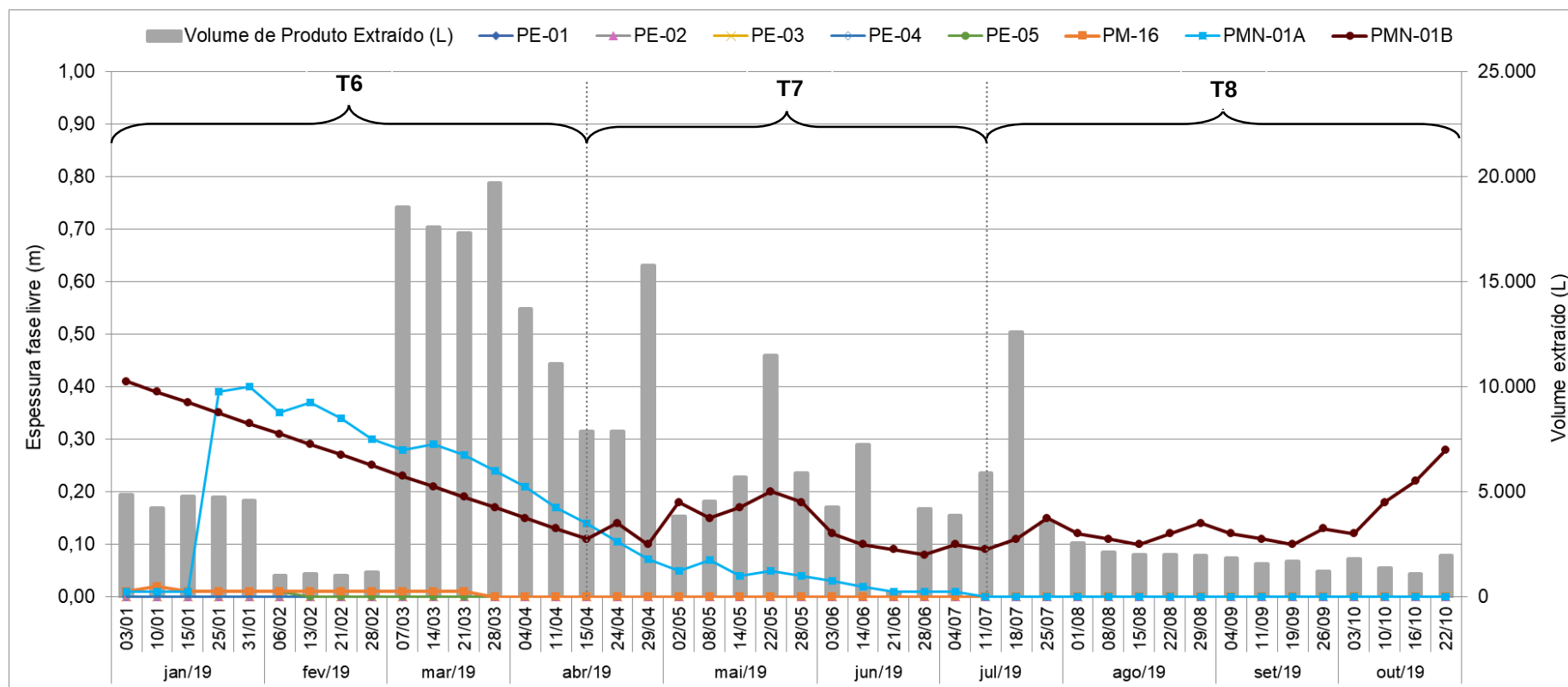
- ✓ No período T1 verifica-se que a reduções dos níveis de espessura de fase livre estão em coerência com o aumento no volume extraído. Condição semelhante nos períodos T3, T7 e T8;
- ✓ Na intercessão entre períodos T1 e T2, as curvas relativas à espessura de fase livre tendem a zero, notadamente no T2, aonde se percebe que há um aumento considerável deste em contraponto a paralisação do sistema de retirada de material contaminado. Aliando estas observações à grande precipitação na área da estudada, no mesmo período de tempo, é possível compreender que a paralisação do sistema foi realizada de forma estratégica, aguardando que o volume de produto contaminado alcançasse novamente as áreas relativas aos poços de extração. O mesmo processo se verifica nos períodos T4, T5 e T6.

Figura 15 - Resultados da espessura da fase livre *versus* histórico volume mensal extraído pelo sistema MPE no período de 03/04/2017 a 26/12/2018



Fonte: APOLLO, 2019.

Figura 16 - Resultados da espessura da fase livre versus histórico do volume mensal extraído pelo sistema MPE no período de 03/01/2019 a 22/10/2019



Fonte: APOLLO, 2019.

5.4.2 Qualidade Águas Subterrâneas

As Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5 apresentam os resultados dos parâmetros de qualidade da água subterrânea, que foram detectados em cada campanha, mostrando a fase dissolvida no final de cada período de avaliação da espessura da pluma.

Os resultados das substâncias que não apresentaram concentrações superiores aos limites se encontram no Anexo C.

- **1º Campanha – out/17 (T1) (03/04/2017 - 10/10/2017)**

De acordo com os resultados analíticos obtidos na campanha de monitoramento da água subterrânea, em outubro de 2017 encontrou-se concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013) para TPH Finger Print, nos poços de monitoramento PM-51 (746µg/L), PM-52 (661µg/L) e PM-53 (1540µg/L), e concentração abaixo do limite no poço de monitoramento PM-54 (369 µg/L).

- **2º Campanha mar/18 (T2)**

Nesta campanha foi verificado concentração acima dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 420 (BRASIL, 2009) e pela Diretriz do INEA DZ 1841.R2, no PM-53 para Benzeno (165 µg/L), Tolueno (762 µg/L), e Etilbenzeno (361 µg/L).

Já a análise de TPH Finger Print, o PM-53, indicou concentração de 1117 µg/L para TPH Finger Print Total, acima do limite dos valores máximos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013).

- **3º Campanha mai/18 (T3)**

O TPH Finger Print do PM-53, indicou concentração de 1217 µg/L, acima do limite dos valores máximos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013).

- **4º Campanha – out/18 (T4)**

A análise de TPH Finger Print, o PM-51, indicou concentração de 1208 µg/L e o PM-55 indicou a concentração de 687µg/L, valores estes acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013).

- **5º Campanha – jan/19 (T5)**

O TPH Finger Print, indicou concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013), em todos os poços de monitoramento amostrados, sendo eles PMN-01A (14100 µg/L), PM-21 (1140 µg/L), PM-51 (2770 µg/L), PM-52B (930 µg/L), PM-53B (2590µg/L), PM-55 (1410 µg/L), PM-56 (1730 µg/L) e PM-59 (860 µg/L).

- **6º Campanha- abr/19 (T6)**

Foram encontrados traços de Tolueno nos poços de monitoramento PM-51 e PM-56, de Etilbenzeno no PM-51.

Já para TPH Finger Print, os resultados analíticos indicaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013), em todos os poços de monitoramento, sendo eles PMN-01A (7490 µg/L), PM-21 (810 µg/L), PM-51 (2730 µg/L) e PM-52B (740 µg/L), e ainda traços com valores altos nos poços de monitoramento PM-54B, PM-55, PM-56 e PM-59.

- **7º Campanha – jul/19 (T7)**

Não foi possível realizar amostragem no poço de monitoramento PM-55 visto que o mesmo se encontra destruído, devido as atividades realizadas no local.

Foram observados traços de Benzeno, Etilbenzeno, Tolueno, Fenantreno, Naftaleno e Cresóis no poço de monitoramento PM-51, e Naftaleno no PMN-53B.

Já para TPH Finger Print, os resultados analíticos indicaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013), nos poços de monitoramento PMN-01A (8.490 µg/L), PM-51 (1.480 µg/L) e PM-54B (2.000 µg/L), e ainda traços nos poços de monitoramento PM-21, PM-52B, e PM-56.

- **8º Campanha out/10 (T8)**

Foram encontrados traços de Naftaleno no PMN-01A, Naftaleno, Fenantreno e Antraceno no PM-51 e Fenol no PM-54B.

Já para TPH Finger Print, os resultados analíticos indicaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013), nos poços de monitoramento PMN-01A (7.780µg/L), PM-21 (870µg/L), PM-51 (1.710µg/L), PM-52B (640µg/L) e PM-53B (1.070µg/L), e ainda traços nos poços de monitoramento PM-54B, PM-56 e PM-59.

Tabela 3 - Resultados de BTEX para água subterrânea (µg/L)

	BTEX	PM-51	PM-52	PM-53	PM-54	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
1º Campanha	Benzeno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	5	5
	Tolueno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	170	700
	Etilbenzeno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	200	300
	Xilenos	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	300	N.R.
2º Campanha	Benzeno	< 1,00	< 1,00	165	-	5	5
	Tolueno	< 1,00	< 1,00	762	-	170	700
	Etilbenzeno	< 1,00	< 1,00	19,4	-	200	300
	Xilenos	< 1,00	< 1,00	361	-	300	N.R.
3º Campanha	Benzeno	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	5	5
	Tolueno	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	170	700
	Etilbenzeno	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	200	300
	Xilenos	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	300	N.R.

Tabela 4 - Resultados de TPH Finger Print para água subterrânea (µg/L) – 1º, 2º, 3º e 4º Campanhas

	TPH	PM- 22	PM-51	PM-52	PM-52B	PM-53	PM-53B	PM-54	PM-55	PM-56	PM-57	PM-58	PM-59	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)	NOP-INEA-05, 2013 (µg/L)
1º Campanha	TPH Finger Print (C8-C11)	-	5	< 0,001	-	3	-	< 0,001	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C11-C14)	-	68	63	-	175	-	57	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C14-C20)	-	183	155	-	390	-	108	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C20-C40)	-	490	443	-	976	-	203	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print Total	-	746	661	-	1540	-	369	-	-	-	-	-	600	N.R.	600
2º Campanha	TPH Finger Print (C8-C11)	-	< 0,001	< 0,001	-	28,2	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C11-C14)	-	10,3	37,9	-	149	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C14-C20)	-	66,3	121	-	437	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C20-C40)	-	112	128	-	503	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print Total	-	189	286	-	1117	-	-	-	-	-	-	-	600	N.R.	-
	HPR (Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo)	-	0,009	0,012	-	0,093	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	N.R.	-
3º Campanha	MCNR (Mistura Complexa Não Resolvida)	-	0,18	0,275	-	1,02	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	N.R.	-
	TPH Finger Print (C8-C11)	-	< 300	< 300	-	< 300	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C11-C14)	-	< 300	< 300	-	< 300	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C14-C20)	-	< 300	< 300	-	494	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print (>C20-C40)	-	< 300	< 300	-	565	-	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	-
	TPH Finger Print Total	-	< 300	< 300	-	1217	-	-	-	-	-	-	-	600	N.R.	-
	HPR (Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo)	-	< 0,300	< 0,300	-	< 0,300	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	N.R.	-
3º Campanha	MCNR (Mistura Complexa Não Resolvida)	-	< 0,300	< 0,300	-	1,12	-	-	-	-	-	-	-	N.R.	N.R.	-

Tabela 4 - Resultados de TPH Finger Print para água subterrânea (µg/L) – 1º, 2º, 3º e 4º Campanhas (continuação)

TPH		PM- 22	PM-51	PM-52	PM-52B	PM-53	PM-53B	PM-54	PM-55	PM-56	PM-57	PM-58	PM-59	DZ- 1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)	NOP-INEA-05, 2013 (µg/L)
4º Campanha	TPH Finger Print (C8-C11)	< 300	-	-	c	-	< 300	-	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	N.R.	N.R.	N.R.
	TPH Finger Print (>C11-C14)	< 300	-	-	< 300	-	< 300	-	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	N.R.	N.R.	N.R.
	TPH Finger Print (>C14-C20)	< 300	-	-	< 300	-	< 300	-	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	N.R.	N.R.	N.R.
	TPH Finger Print (>C20-C40)	< 300	-	-	< 300	-	< 300	-	498	< 300	< 300	< 300	< 300	N.R.	N.R.	N.R.
	TPH Finger Print Total	< 300	-	-	494	-	< 300	-	687	< 300	< 300	368	< 300	600	N.R.	N.R.
	HPR (Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo)	< 300	-	-	< 300	-	< 300	-	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300	N.R.	N.R.	N.R.
MCNR (Mistura Complexa Não Resolvida)		< 300	-	-	398	-	< 300	-	627	< 300	< 300	< 300	< 300	N.R.	N.R.	N.R.

Tabela 5 - Resultados de TPH Finger Print para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º, 7º e 8º Campanhas

	TPH	PMN-01A/ AA-01A	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ- 1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)	NOP-INEA- 05, 2013 (µg/L)
5º Campanha	TPH Faixa Gasolina (C8-C11)	250	< 0,05	< 0,05	< 0,05	160	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	N.R.	-
	TPH Faixa Querosene (C11-C14)	340	< 0,05	100	< 0,05	370	< 0,05	70	50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Diesel (C14-C20)	4390	230	440	300	760	220	420	210	-	N.R.	-
	TPH Faixa Óleo Lubrificante (C20-C40)	9100	880	2200	560	1300	1160	1220	580	-	N.R.	-
	TPH Detectado	Não Combina	Não Combina	Óleo Lubrificante	Não Combina	Óleo Lubrificante	Não Combina	Óleo Lubrificante	Óleo Lubrificante	-	-	-
	TPH Total (C8-C40)	14100	1140	2770	930	2590	1410	1730	860	600	N.R.	600
6º Campanha	TPH Faixa Gasolina (C8-C11)	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	N.R.	-
	TPH Faixa Querosene (C11-C14)	160	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	0,05	-	N.R.	-
	TPH Faixa Diesel (C14-C20)	2.260	160	160	290	160	70	70	170	-	N.R.	-
	TPH Faixa Óleo Lubrificante (C20-C40)	4.970	630	2.530	420	230	260	320	170	-	N.R.	-
	TPH Detectado	Não Combina	Não Combina	Óleo Lubrificante	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	-	-	-
	TPH Total (C8-C40)	7.490	810	2.730	740	450	360	410	350	600	N.R.	600
7º Campanha	TPH Faixa Gasolina (C8-C11)	170	< 50	60	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Querosene (C11-C14)	170	< 50	110	< 50	< 50	110	< 50	< 50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Diesel (C14-C20)	1850	140	370	100	< 50	680	< 50	< 50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Óleo Lubrificante (C20-C40)	6310	420	930	60	< 50	1.160	230	< 50	-	N.R.	-
	TPH Detectado	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	-	-	-
	TPH Total (C8-C40)	8.490	580	1.480	< 200	< 200	2.000	240	< 200	600	N.R.	600
8º Campanha	TPH Faixa Gasolina (C8-C11)	290	< 50	< 50	< 50	160	< 50	< 50	< 50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Querosene (C11-C14)	230	< 50	< 50	< 50	60	< 50	< 50	< 50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Diesel (C14-C20)	2690	170	310	250	300	< 50	50	< 50	-	N.R.	-
	TPH Faixa Óleo Lubrificante (C20-C40)	4570	680	1350	350	550	60	420	110	-	N.R.	-
	TPH Detectado	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	Não Combina	-	-	-
	TPH Total (C8-C40)	7780	870	1710	640	1070	< 200	490	< 200	600	N.R.	600

5.4.3 Evolução da Contaminação

Neste item são apresentados a movimentação das plumas livres e dissolvidas por campanha de monitoramento. As plumas de hidrocarboneto em fase livre foram estimadas considerando as características hidrogeológicas da área, bem como a observação da presença de produto oleoso nos poços ao redor da área impactada.

A evolução da pluma do contaminante dissolvido em água subterrânea, notadamente o TPH, é bastante dispersa e com variações ao longo dos monitoramentos. A instalação de novos poços de monitoramento durante o período avaliado, permitiu delimitar a pluma de TPH, em função dos resultados das amostras de água subterrânea. Cabe ressaltar que a variação do nível d'água em função da incidência de chuvas ao longo do período pode influenciar diretamente nas concentrações encontradas no monitoramento.

Para o acompanhamento da evolução da contaminação em fase livre, o principal dado foi a medição da espessura do produto, sendo possível observar que no início da operação do sistema a pluma inferida do contaminante hidrocarboneto é similar a pluma de TPH com uma área delimitada muito superior a área apresentada na última campanha avaliada (8º Campanha).

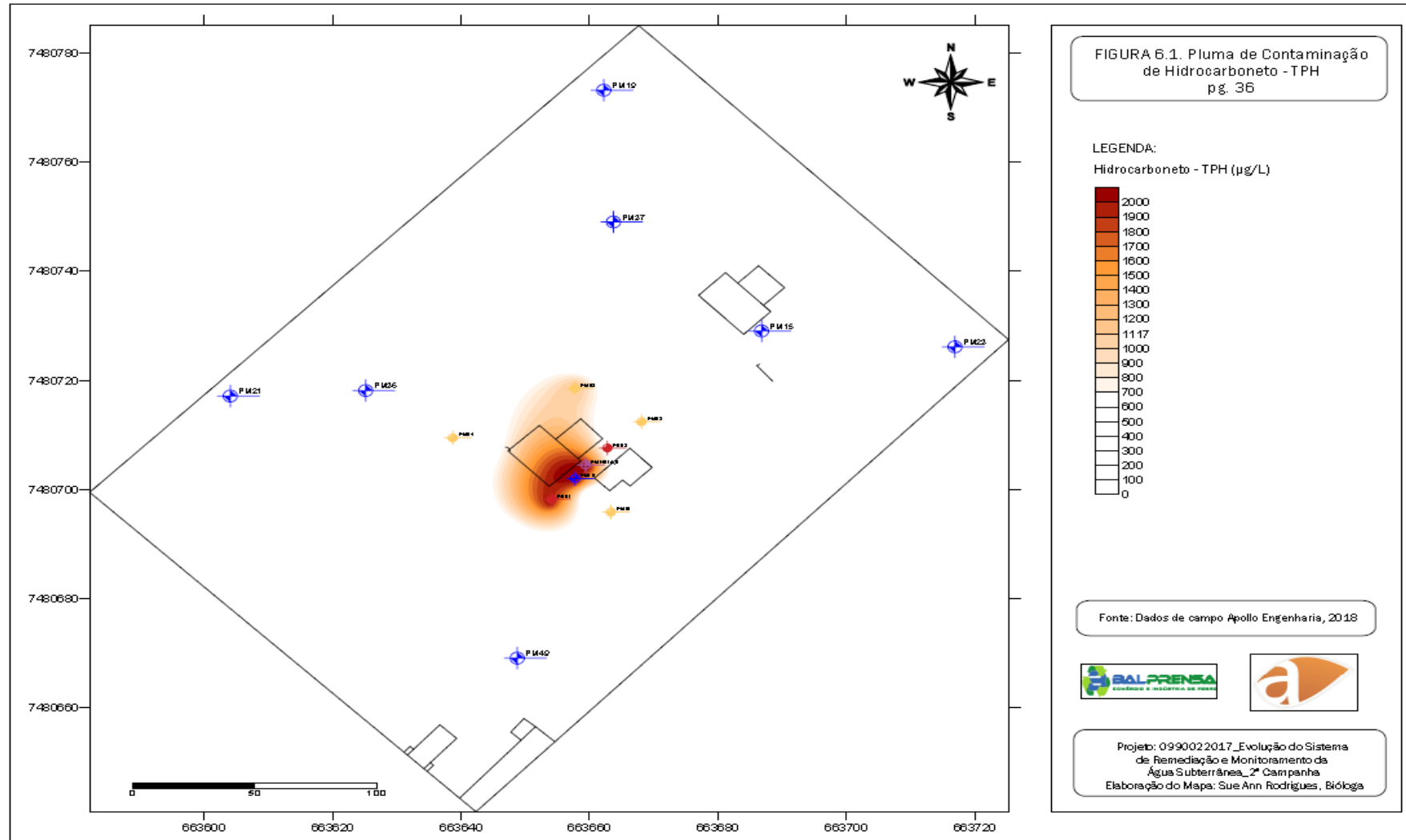
Considerando os monitoramentos realizados, apenas durante a 3º campanha foi observado um aumento significativo na pluma em função do surgimento de fase livre no PM-46. Nos demais meses o tamanho da pluma em fase livre esteve muito similar, vale ressaltar que a fonte primária de contaminação foi cessada somente após a 5º Campanha de monitoramento, causando assim dificuldade em avaliar o processo de remediação através da medição da espessura da pluma em fase livre.

Figura 17 - Pluma de TPH 1º Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 18 - Pluma de Hidrocarboneto 2ª Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 19 - Pluma de Hidrocarboneto 3º Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 20 - Pluma de TPH 4ª Campanha



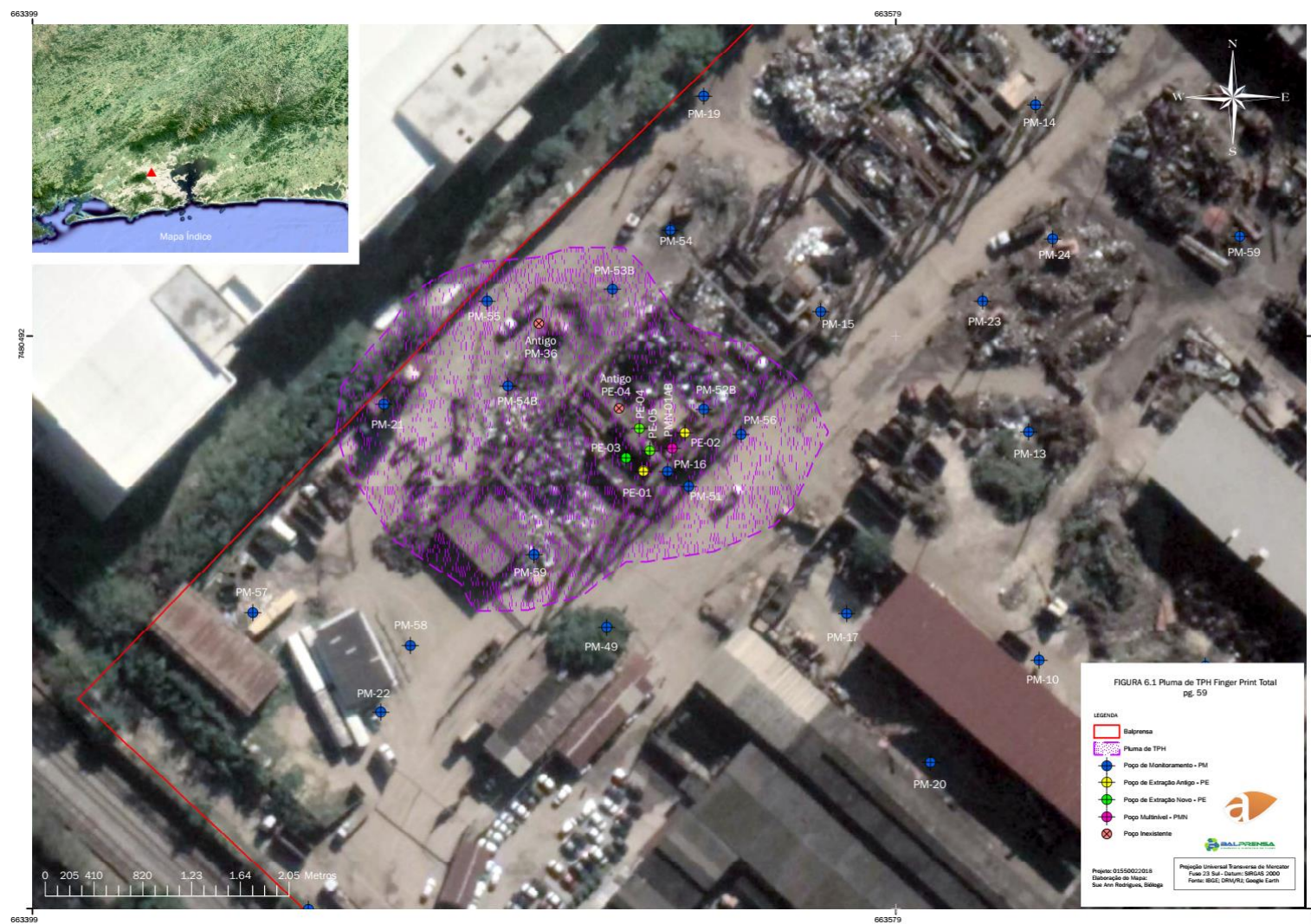
Fonte: APOLLO, 2019

Figura 21 - Pluma de Hidrocarboneto 4º Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 22 - Pluma de TPH 5ª Campanha

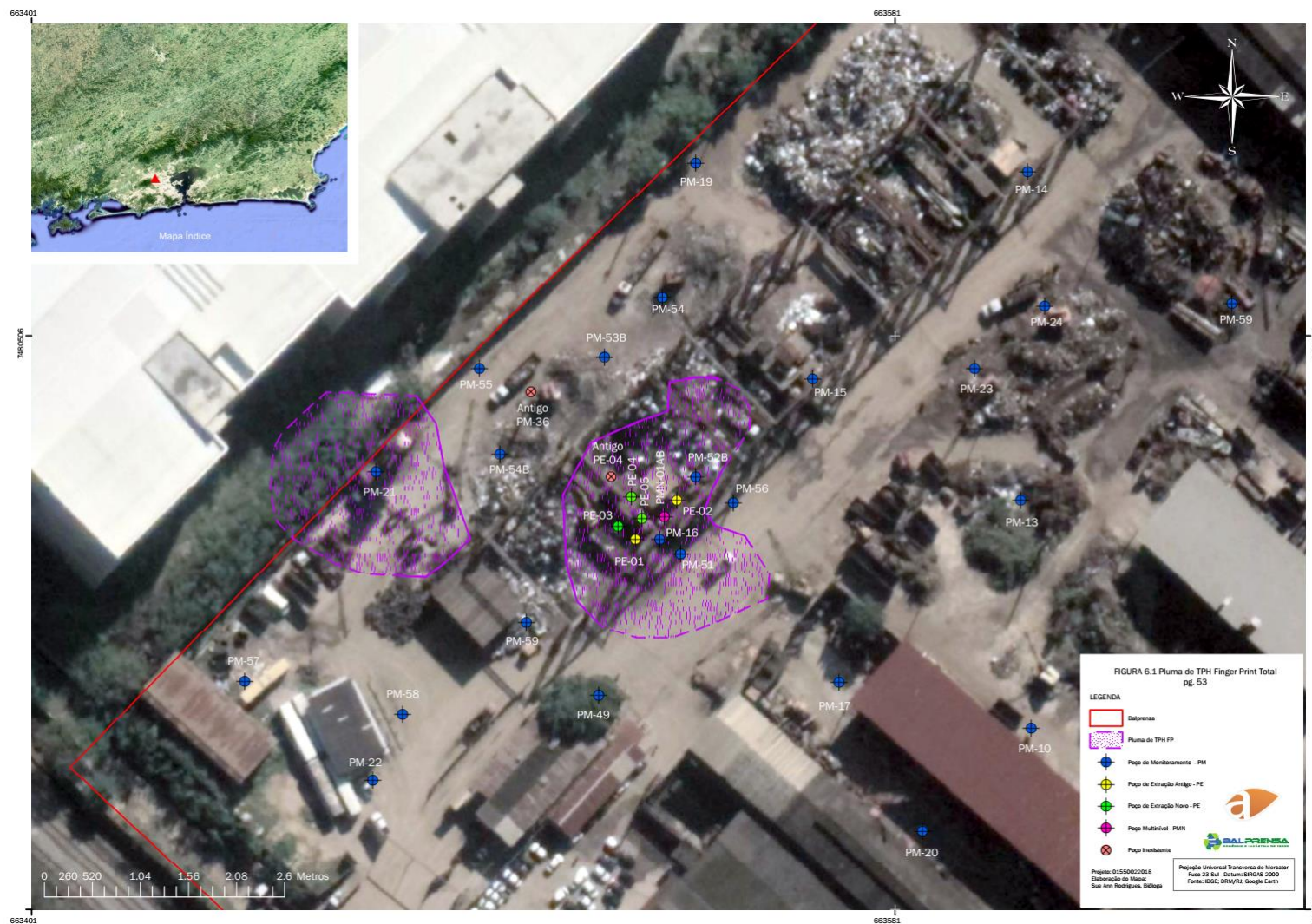


Fonte: APOLLO, 2019

Figura 23 - Pluma de Hidrocarboneto 5ª Campanha



Figura 24 - Pluma de TPH 6º Campanha



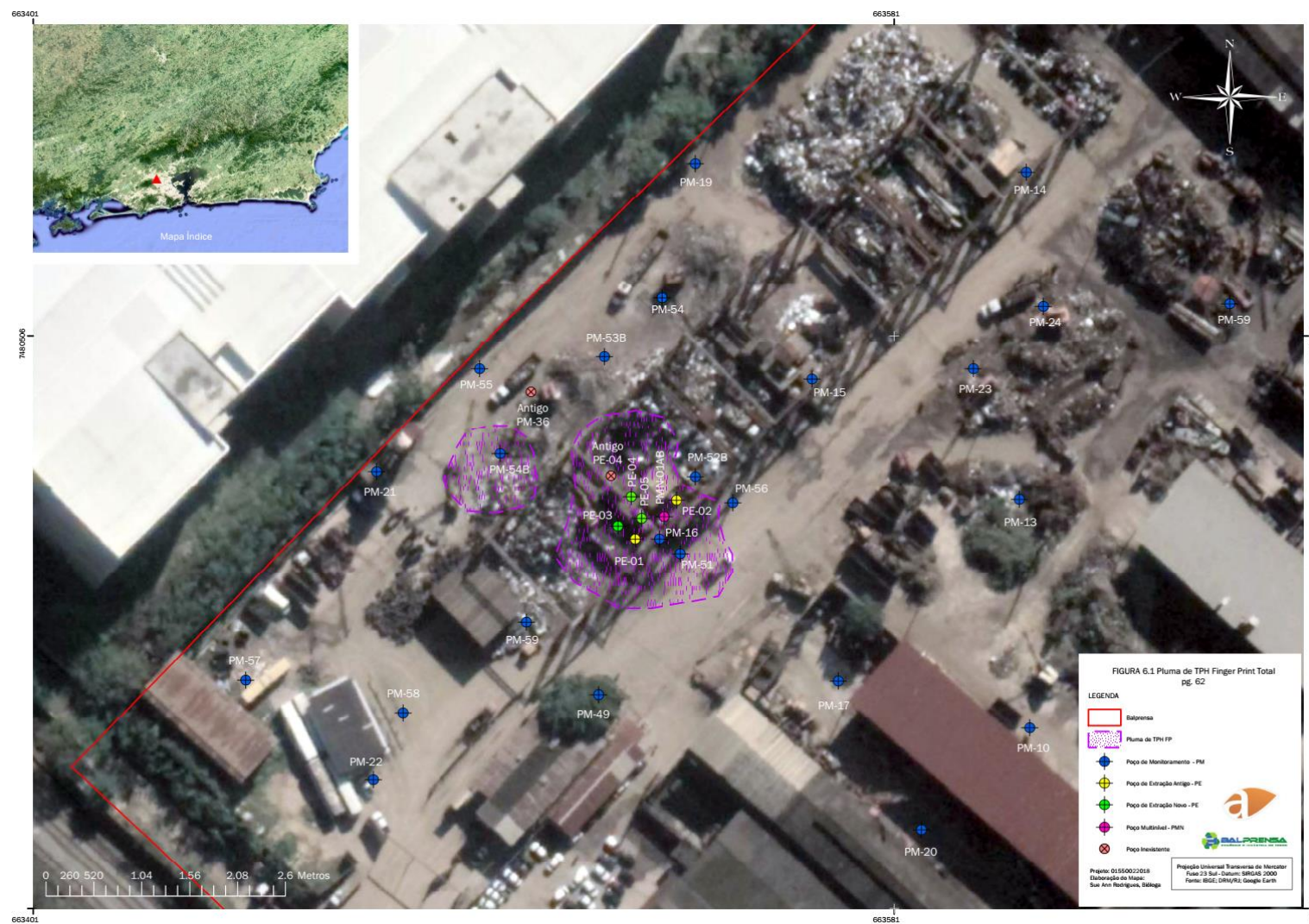
Fonte: APOLLO, 2019

Figura 25 - Pluma de Hidrocarboneto 6º Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 26 - Pluma de TPH 7ª Campanha



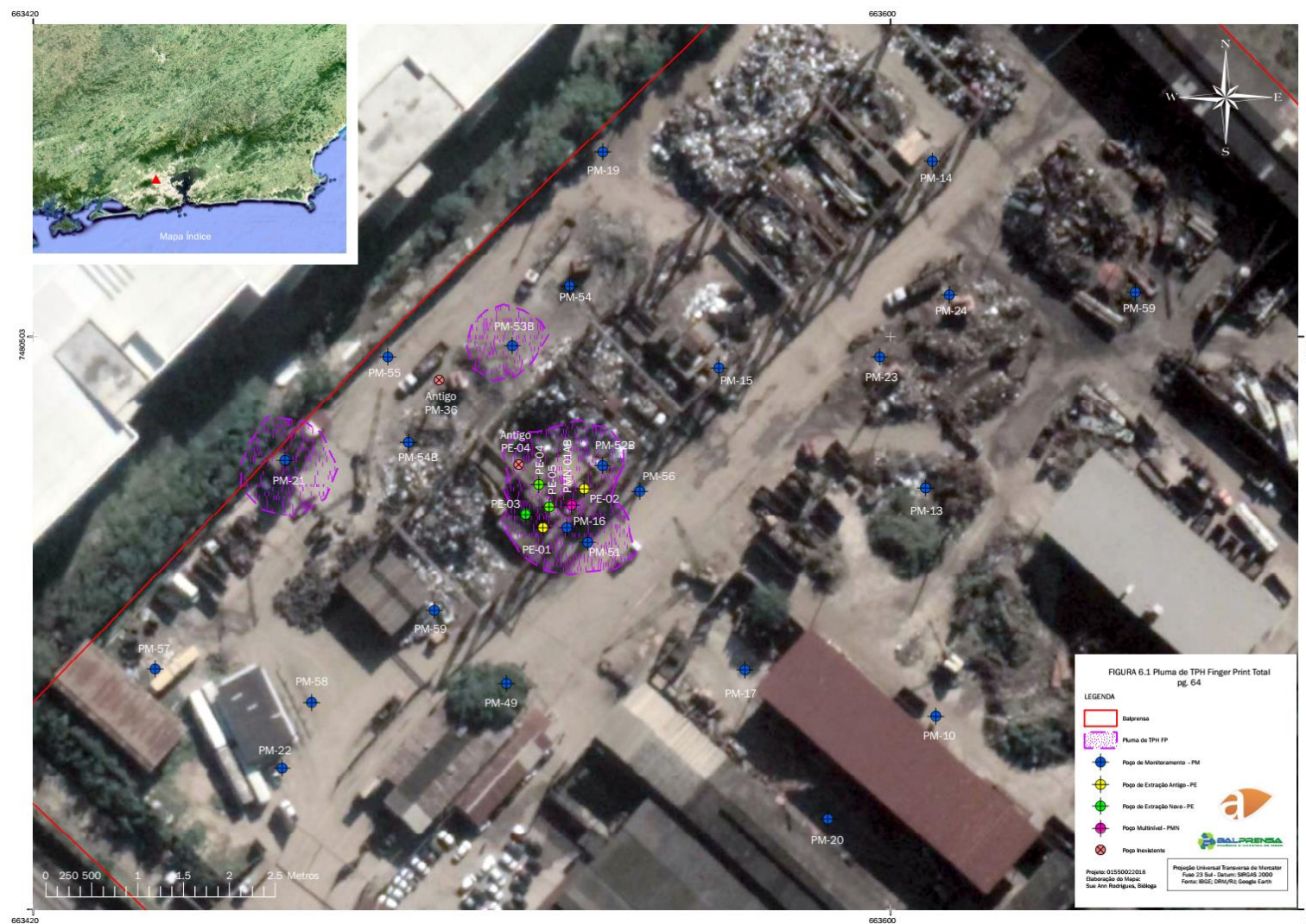
Fonte: APOLLO, 2019

Figura 27 - Pluma de Hidrocarboneto



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 28 - Pluma de TPH 8ª Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

Figura 29 - Pluma de Hidrocarboneto 8ª Campanha



Fonte: APOLLO, 2019

6 CONCLUSÃO

Técnicas de remediação vem sendo aplicadas e desenvolvidas para a diminuição das concentrações dos contaminantes, para a redução dos riscos ambientais e à saúde humana.

Diante deste cenário este trabalho, apresentou os resultados do sistema de Remediação Multi-Extração de fases (MPE), a partir de um estudo de caso da evolução da remediação e monitoramento da água subterrânea de uma área contaminada, com a remoção de óleo presente no solo e água subterrânea. Destaca-se que o sistema de remediação não havia sido finalizado, quando a obtenção dos dados contidos neste trabalho e a fonte de contaminantes esteve ativa até a quinta campanha.

Dessa forma, concluiu-se que:

- ✓ O volume da solução composta de óleo e água removido nos poços de extração durante todo o período estudado foi de 448.159 litros, sendo que o óleo correspondeu entorno de 30% do volume total.
- ✓ O volume citado esteve sujeito a permeabilidade e transmissividade do subsolo, fatores hidrogeológicos ligados diretamente as características da litologia do solo na área e podem estar associados as precipitações ocorridas na área alvo do estudo de caso abordado neste trabalho. Tal afirmação foi tomada baseando-se na observação do aumento nos níveis de espessura de fase livre nos poços monitorados com o volume de chuva ocorrido no período em questão;
- ✓ Foram observados na fase dissolvida resultados acima dos valores de intervenção somente na segunda campanha para Benzeno, Tolueno e Etilbenzeno;
- ✓ Já para TPH Finger Print, os resultados analíticos indicaram concentrações acima dos valores máximos permitidos pela DZ-1841-R2 do INEA e pela NOP-INEA-05 (2013), em inúmeros nos poços de monitoramento durante as oito

campanhas. Mas houve redução significativa nos níveis de TPH Finger Print ao longo do processo.

- ✓ As plumas dos contaminantes em fase livre se mantiveram ou reduziram ao longo das oito campanhas realizadas, tal informação pode ser observada no decréscimo da fase livre presente nos poços de extração e pelo volume bombeado de água + óleo.
- ✓ A pluma de hidrocarboneto em fase dissolvida não obteve nenhuma diminuição significativa, pois ainda existe na área um grande volume em fase livre.
- ✓ Considerando que ainda há fase livre e, devido ao volume de produto presente no solo, deve manter-se em funcionamento o sistema de remediação para que remova a massa principal do contaminante presente no solo e passe a remover os contaminantes em fase dissolvida na água subterrânea, até atingir as metas definidas em uma análise de risco a ser realizada para a área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.A; AUGUSTO, F.; JARDIM, I.C.S.F. **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados**. *Eclética Química*. v.35, n. 3, p. 17-43, 2010.
- APOLLO SERVIÇOS TÉCNICOS EM ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, **9º Relatório de Evolução e Monitoramento de Remediação**, 9º, 71 p., 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: **Rochas e solos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.515-1: **Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1: Avaliação preliminar**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007a. 47 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.492: **Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007b. 31 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.847: **Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento – Métodos de Purga**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 15 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.515-2: **Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2: Investigação confirmatória**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 19 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.515-3: **Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 3: Investigação detalhada**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.209: **Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminada**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 40 p.
- ASTM. D6771 Standard practice for low-flow purging and sampling for wells and devices used for ground-water quality investigations. In **Annual Book of ASTM Standards**, Section Four, v. 4, 2007.
- BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientados de qualidade de solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. Publicada no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: Poder Executivo, Brasília, DF, n. 249, p. 81-84, 28 dez. 2009. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em maio 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2001.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria nº 038/2017/c, de 07 fevereiro de 2017. **Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências**. Publicada no Diário Oficial Estado de São Paulo: Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), n.127 (28), p. 47-52, 10 fev. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Benzeno - Ficha de Informação Toxicológica**. CETESB, 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Texto explicativo da relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB/Diretoria de Controle e Licenciamento, 2019.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. M.; SILVA, C. R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B. Diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A.I. M.; SILVA, C. R.; PIMENTEL, J. LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B. **Estudo Geoambiental do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2001. p. 1-24.

ESTEVES, R. C. Modelagem teórica de aspectos hidrodinâmicos da tecnologia de extração multifásica. **Águas Subterrâneas**, v. 26, n. 1, 2012.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Preamble**. Lyon, France, 2006.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 115. **Some industrial chemicals**. Lyon, France; February, 2016.

KOLESNIKOVAS, C. **Avaliação de risco toxicológico para hidrocarbonetos totais de petróleo em forma fracionada aplicada à gestão e monitoramento de água subterrânea em um complexo industrial**, 2006. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) Instituto de Geologia da Universidade de São Paulo, 2006.

MILANI, A. S. LU. **Tecnologias para Remediação de Solos e Águas Subterrâneas**. 2008. 117f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria/RS, Brasil, 2008.

MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. S. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: IPT/BNDS, 2014.

NAKHLA, G. Biokinetic modeling of in situ bioremediation of BTX compounds - impact of process variable and scaleup implications. **Water Research**, v. 37, n. 6, p. 1296–1307, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00491-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00491-8)> Acesso em, 24 jun. 2020.

NIELSEN, D.M. - **Practical Handbook of Environmental site characterization and ground-water monitoring**, 2 ed., CRC Press, 2005.

NIELSEN, D.M; NIELSEN G. L. **The Essential Handbook of Groundwater Sampling**, CRC Press, 2006.

OLIVEIRA, A. C. **Análise do reuso de áreas industriais suspeitas de contaminação: um estudo de caso de quatro sítios no município de Petrópolis – RJ**. 2006. 135p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2006.

PULS, R.W; BARCELONA M. J. **LOW-FLOW (MINIMAL DRAWDOWN) GROUND-WATER SAMPLING PROCEDURES**, EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UNITED STATES, 1996.

SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. S (org.). **Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM. 2 ed., 2001.

THOMAS, J.E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2001.

World Health Organization (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating the first addendum. WHO, 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>> Acesso em: 14 jun. 2020.

YOSHKAWA, N. K.; MAXIMIANO, A. M. S. Medidas institucionais. In: MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. S. (org.). **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. 1 ed. São Paulo: IPT/BNDS, 2014. p. 121-131. Disponível em: <https://www.ipt.br/institucional/campanhas/48-guia_para_gestao_de_areas_contaminadas.htm>. Acesso em: 14 jun. 2020.

ANEXOS

ANEXO A: DADOS DO MONITORAMENTO DA FASE LIVRE

Tabela A.1– Dados do Monitoramento da Fase Livre

Período		PE-01	PE-02	PM-16	PMN-01A	PMN-01B
abr/17	03/04	0,35	0,02	0,72	0,05	0,02
	11/04	0,33	0,00	0,70	0,05	0,00
	17/04	0,32	0,00	0,70	0,05	0,00
	25/04	0,33	0,00	0,71	0,04	0,00
mai/17	02/05	0,31	0,00	0,69	0,04	0,00
	10/05	0,29	0,00	0,69	0,02	0,02
	15/05	0,29	0,00	0,68	0,02	0,00
	25/05	0,26	0,02	0,66	0,00	0,00
	29/05	0,27	0,00	0,66	0,00	0,00
jun/17	07/06	0,27	0,00	0,64	0,00	0,00
	16/06	0,24	0,00	0,64	0,00	0,00
	21/06	0,22	0,00	0,65	0,00	0,00
	29/06	0,20	0,02	0,64	0,00	0,00
jul/17	07/07	0,15	0,00	0,60	0,00	0,00
	14/07	0,15	0,00	0,60	0,00	0,00
	18/07	0,14	0,00	0,61	0,02	0,00
	26/07	0,12	0,00	0,60	0,00	0,00
ago/17	04/08	0,11	0,00	0,59	0,02	0,00
	11/08	0,10	0,02	0,58	0,05	0,00
	16/08	0,09	0,00	0,59	0,07	0,05
	25/08	0,09	0,00	0,59	0,08	0,05
	30/08	0,09	0,00	0,59	0,08	0,05
set/17	08/09	0,10	0,00	0,54	0,11	0,07
	14/09	0,10	0,00	0,52	0,13	0,07
	20/09	0,08	0,02	0,42	0,10	0,06
	25/09	0,06	0,00	0,38	0,08	0,04
out/17	03/10	0,02	0,00	0,29	0,06	0,00
	10/10	0,02	0,00	0,27	0,05	0,02
	17/10	0,02	0,00	0,22		0,02
	23/10	0,02	0,00	0,19		0,00
nov/17	01/11	0,02	0,00	0,16		0,00
	08/11	0,02	0,00	0,12		0,05
	14/11	0,03	0,00	0,09		0,03
	21/11	0,03	0,00	0,09		0,07
	29/11	0,05	0,00	0,09		0,05
dez/17	05/12	0,05	0,00	0,07		0,06
	12/12	0,09	0,00	0,08		0,10
	19/12	0,09	0,00	0,09		0,18
	26/12	0,08	0,00	0,11		0,23

Período		PE-01	PE-02	PM-16	PMN-01A	PMN-01B
jan/18	05/01	0,09	0,00	0,13		0,58
	11/01	0,10	0,00	0,13		0,72
	15/01	0,11	0,00	0,15	0,10	0,96
	23/01	0,09	0,00	0,13		0,27
	30/01	0,07	0,00	0,12		0,18
fev/18	05/02	0,08	0,00	0,10		0,15
	15/02	0,06	0,00	0,08		0,13
	21/02	0,05	0,00	0,06		0,11
mar/17	09/03	0,05	0,00	0,03	0,04	0,09
	13/03	0,02	0,00	0,04	0,00	0,03
	21/03	0,04	0,00	0,07	0,00	0,06
	28/03	0,01	0,00	0,06	0,00	0,12
abr/18	04/04	0,05	0,00	0,08	0,00	0,11
	11/04	0,02	0,00	0,09	0,00	0,12
	18/04	0,04	0,00	0,10	0,00	0,13
	25/04	0,01	0,00	0,12	0,02	0,14
mai/18	04/05	0,03	0,00	0,13	0,00	0,15
	11/05	0,01	0,00	0,14	0,00	0,17
	17/05	0,01	0,10	0,00	0,00	0,16
	22/05	0,00	0,16	0,00	0,01	0,15
	28/05	0,00	0,20	0,00	0,01	0,18
jun/18	07/06	0,00	0,07	0,18	0,01	0,09
	12/06	0,00	0,00	0,15	0,00	0,02
	21/06	0,00	0,00	0,21	0,00	0,01
	29/06	0,00	0,00	0,15	0,00	0,01
jul/18	03/07	0,00	0,00	0,20	0,00	0,01
	10/07	0,00	0,00	0,17	0,00	0,01
	17/07	0,00	0,00	0,14	0,00	0,01
	24/07	0,00	0,00	0,16	0,00	0,01
	31/07	0,00	0,00	0,12	0,00	0,01
ago/18	08/08	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01
	15/08	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01
	22/08	0,00	0,00	0,10	0,01	0,01
	31/08	0,00	0,00	0,07	0,01	0,01
set/18	06/09	0,02	0,00	0,02	0,01	0,08
	14/09	0,08	0,00	0,00	0,01	0,40
	20/09	0,10	0,00	0,00	0,01	0,28
	26/09	0,02	0,00	0,00	0,01	0,09
out/18	02/10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
	09/10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
	16/10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
	23/10	0,00	0,00	0,16	0,01	0,01
	31/10	0,00	0,00	0,12	0,01	0,01

Fonte: Do próprio autor.

set/19	04/09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
	11/09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
	19/09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
	26/09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
out/19	03/10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
	10/10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
	16/10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
	22/10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28

Fonte: Do próprio autor.

ANEXO B: VOLUME SEMANAL DE PRODUTO EXTRAÍDO PELO SISTEMA MPE NO PERÍODO AVALIADO

Tabela B.1: Volume semanal de produto extraído pelo sistema MPE no período avaliado

Período		Extraído na semana (L)	Extraído Acumulado (L)
abr/17	03/04 - 10/04	0	0
	11/04 - 16/04	2.232	2.232
	17/04 - 24/04	1.655	3.887
	25/04 - 01/05	1.965	5.852
mai/17	02/05 - 09/05	541	6.393
	10/05 - 14/05	1.666	8.059
	15/05 - 24/05	1.562	9.621
	25/05 - 28/05	1.662	11.283
	29/05 - 06/06	1.707	12.990
jun/17	07/06 - 15/06	1.480	14.470
	16/06 - 20/06	1.578	16.048
	21/06 - 29/06	1.134	17.182
	29/06 - 06/07	1.808	18.990
jul/17	07/07 - 13/07	1.396	20.386
	14/07 - 17/07	1.152	21.538
	18/07 - 25/07	1.293	22.831
	26/07 - 03/08	1.548	24.379
ago/17	04/08 - 10/08	1.504	25.883
	11/08 - 15/08	1.489	27.372
	16/08 - 24/08	994	28.366
	25/08 - 29/08	500	28.866
	30/08 - 07/09	523	29.389
set/17	08/09 - 13/09	1.122	30.511
	14/09 - 19/09	1.085	31.596
	20/09 - 24/09	3.039	34.635
	25/09 - 02/10	2.250	36.885
out/17	03/10 - 09/10	3.899	40.784
	10/10 - 16/10	1.786	42.570
	17/10 - 22/10	1.647	44.217
	23/10 - 02/11	2.095	46.312
nov/17	01/11 - 07/11	1.965	48.277
	08/11 - 13/11	1.732	50.009
	14/11 - 20/11	1.826	51.835
	21/11 - 28/11	2.748	54.583
	29/11 - 04/12	2.497	57.080
dez/17	05/12 - 11/12	2.201	59.281
	12/12 - 18/12	48	59.329
	19/12 - 25/12	32	59.361
	26/12 - 04/01	43	59.404
jan/18	05/01 - 10/01	57	59.461
	11/01 - 14/01	78	59.539
	15/01 - 22/01	3.129	62.668
	23/01 - 29/01	2.656	65.324

	30/01 - 04/02	2.170	67.494
	Período	Extraído na semana (L)	Extraído Acumulado (L)
fev/18	05/02 - 14/02	2.880	70.374
	15/02 - 20/02	2.983	73.357
	21/02 - 27/02	2.765	76.122
mar/18	01/03 - 08/03	2.674	78.796
	09/03 - 12/03	2.881	81.677
	13/03 - 20/03	1.466	83.143
	21/03 - 27/03	2.393	85.536
	28/03 - 03/04	2.004	87.540
abr/18	04/04 - 10/04	1.253	88.793
	11/04 - 17/04	1.356	90.149
	18/04 - 24/04	1.575	91.724
	25/04 - 03/05	1.120	92.844
mai/18	04/05 - 10/05	1.036	93.880
	11/05 - 16/05	1.326	95.206
	17/05 - 21/05	1.213	96.419
	22/05 - 27/05	1.235	97.654
	28/05 - 06/06	1.203	98.857
jun/18	07/06 - 11/06	2.056	100.913
	12/06 - 20/06	2.799	103.712
	21/06 - 28/06	1.475	105.187
	29/06 - 02/07	1.972	107.159
jul/18	03/07 - 09/07	764	107.923
	10/07 - 16/07	1.698	109.621
	17/07 - 23/07	1.569	111.190
	24/07 - 30/07	1.653	112.843
	31/07 - 07/08	1.502	114.345
ago/18	08/08 - 14/08	4.269	118.614
	15/08 - 21/08	3.023	121.637
	22/08 - 30/08	2.985	124.622
	31/08 - 05/09	3.120	127.742
set/18	06/09 - 13/09	2.686	130.428
	14/09 - 20/09	15	130.443
	20/09 - 25/09	4.211	134.654
	26/09 - 01/10	3.982	138.636
out/18	02/10 - 08/10	4.032	142.668
	09/10 - 15/10	4.311	146.979
	16/10 - 22/10	3.842	150.821
	23/10 - 30/10	6.391	157.212
	31/10 - 01/11	6.129	163.341

Período		Extraído na semana (L)	Extraído Acumulado (L)
nov/18	07/11 - 13/11	5.956	169.297
	14/11 - 21/11	6.523	175.820
	22/11 - 29/11	1.780	177.600
	30/11 - 05/12	1.925	179.525
dez/18	06/12 - 11/12	52	179.577
	12/12 - 18/12	5.095	184.672
	19/12 - 25/12	4.983	189.655
	26/12 - 02/01	5.178	194.833
jan/19	03/01 - 09/01	4.866	199.699
	10/01 - 14/01	4.233	203.932
	15/01 - 24/01	4.782	208.714
	25/01 - 30/01	4.723	213.437
	31/01 - 05/02	4.569	218.006
fev/19	06/02 - 12/02	1.005	219.011
	13/02 - 20/02	1.089	220.100
	21/02 - 27/02	1.023	221.123
	28/02 - 06/03	1.185	222.308
mar/19	07/03 - 13/03	18.523	240.831
	14/03 - 20/03	17.569	258.400
	21/03 - 27/03	17.322	275.722
	28/03 - 03/04	19.685	295.407
abr/19	04/04 - 10/04	13.695	309.102
	11/04 - 14/04	11.087	320.189
	15/04 - 23/04	7.879	328.068
	24/04 - 28/04	7.862	335.930
	29/04 - 01/05	15.758	351.688
mai/19	02/05 - 07/05	3.827	355.515
	08/05 - 13/05	4.563	360.078
	14/05 - 21/05	5.679	365.757
	22/05 - 27/05	11.480	377.237
	28/05 - 02/06	5.895	383.132
jun/19	03/06 - 13/06	4.253	387.385
	14/06 - 20/06	7.248	394.633
	21/06 - 27/06	203	394.836
	28/06 - 03/07	4.204	399.040
jul/19	04/07 - 10/07	3.856	402.896
	11/07 - 17/07	5.873	408.769
	18/07 - 24/07	12.611	421.380
	25/07 - 30/07	3.569	424.949

Período		Extraído na semana (L)	Extraído Acumulado (L)
ago/19	01/08 - 07/08	2.567	427.516
	08/08 - 14/08	2.136	429.652
	15/08 - 21/08	2.011	431.663
	22/08 - 28/08	1.987	433.650
	29/08 - 03/09	1.966	435.616
set/19	04/09 - 10/09	1.837	437.453
	11/09 - 18/09	1.567	439.020
	19/09 - 25/09	1.678	440.698
	26/09 - 02/10	1.201	441.899
out/19	03/10 - 09/10	1.796	443.695
	10/10 - 15/10	1.383	445.078
	16/10 - 21/10	1.103	446.181
	22/10	1.978	448.159
volume total de produto extraído (L)		448.159	

Fonte: Do próprio autor.

ANEXO C: DADOS REFERENTES A QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Tabela C.1: Resultados de HPA para água subterrânea (µg/l)

	HPA	PM-51	PM-52	PM-53	PM-54	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
1º Campanha	Acenaftileno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Acenafteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Fluoreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Fenantreno	0,014	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	140
	Antraceno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Fluoranteno	0,007	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Pireno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Criseno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Acenaftileno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Acenafteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Fluoreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	N.R.
	Cresóis	0,026	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.	175
	Naftaleno	0,017	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.	140
	Álcool Benzílico	0,35	< 0,10	< 0,10	< 0,10	N.R.	N.R.
	Bromobenzeno	< 2,00	< 2,00	5	< 2,00	N.R.	N.R.
2º Campanha	Acenaftileno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Acenafteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fluoreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fenantreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	140
	Antraceno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fluoranteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Pireno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Criseno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Acenaftileno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Acenafteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fluoreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Cresóis	< 0,010	< 0,010	< 0,010	-	N.R.	175
	Naftaleno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	N.R.	140
	Álcool Benzílico	< 0,10	< 0,10	< 0,10	-	N.R.	N.R.
	Bromobenzeno	< 2,00	< 2,00	< 2,00	-	N.R.	N.R.
3º Campanha	Acenaftileno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Acenafteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fluoreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fenantreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	140
	Antraceno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Fluoranteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Pireno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Criseno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Acenaftileno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
	Acenafteno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.

Fluoreno	< 0,050	< 0,050	< 0,050	-	N.R.	N.R.
Cresóis	< 0,010	< 0,010	< 0,010	-	N.R.	175
Naftaleno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	N.R.	140
HPA	PM-51	PM-52	PM-53	PM-54	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
Álcool Benzílico	< 0,10	< 0,10	< 0,10	-	N.R.	N.R.
Bromobenzeno	< 2,00	< 2,00	< 2,00	-	N.R.	N.R.

Fonte: Do próprio autor.

Tabela C.2: Resultados de VOC para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º e 7º e 8º Campanhas (continuação)

	VOC	PMN-01A/ AA-01 ^a	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-54B/ AA-54B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
5º Campanha	Cloreto de Vinila	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	N.R.	5
	(Mono) Clorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	700
	Diclorometano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	20
	1,4-Diclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	300
	1,2,4 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,2,3 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,3,5 - triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	Benzeno	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	5	5
	Estireno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	20
	Tolueno	< 1	< 1	3.4	< 1	1.8	-	< 1	1.8	< 1	170	700
	1,1,1-Tricloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	280
	Etilbenzeno	< 1	< 1	1.3	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	200	300
	cis-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	< 2	N.R.	N.R.
	Xilenos	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	-	< 3	< 3	< 3	300	500
	Tricloroetano	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	N.R.	70
	Tetracloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	40
	trans-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	< 2	N.R.	20
	Tetracloreto de Carbono	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	N.R.	2
	Clorofórmio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	N.R.	200

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.2: Resultados de VOC para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º e 7º e 8º Campanhas (continuação)

	VOC	PMN-01A/ AA-01A	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-54B/ AA-54B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
6º Campanha	Cloreto de Vinila	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	N.R.	5
	(Mono) Clorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	700
	Diclorometano	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	20
	1,4-Diclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	300
	1,2,4 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,2,3 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,3,5 - triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	Benzeno	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	5	5
	Estireno	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	20
	Tolueno	< 1	< 1	3,5	< 1	-	< 1	< 1	1,1	< 1	170	700
	1,1,1-Tricloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	280
	Etilbenzeno	< 1	< 1	1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	200	300
	cis-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	< 2	< 2	N.R.	N.R.
	Xilenos	< 3	< 3	< 3	< 3	-	< 3	< 3	< 3	< 3	300	500
	Tricloroetano	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	N.R.	70
	Tetracloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	40
	trans-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	< 2	< 2	N.R.	20
	Tetracloroeto de Carbono	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	N.R.	2
	Clorofórmio	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	< 1	< 1	N.R.	200

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.2: Resultados de VOC para água subterrânea (µg/L) 5º, 6º e 7º e 8º Campanhas (continuação)

	VOC	PMN-01A/ AA-01A	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-54B/ AA-54B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
7º Campanha	Cloreto de Vinila	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	N.R.	5
	(Mono) Clorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	700
	Diclorometano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	20
	1,4-Diclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	300
	1,2,4 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,2,3 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,3,5 - triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	Benzeno	< 0,5	< 0,5	0,8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	5	5
	Estireno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	20
	Tolueno	< 1	< 1	2	< 1	< 1	< 1	-	1,1	< 1	170	700
	1,1,1-Tricloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	280
	Etilbenzeno	< 1	< 1	1,3	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	200	300
	cis-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	N.R.	N.R.
	Xilenos	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	-	< 3	< 3	300	500
	Tricloroetano	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	N.R.	70
	Tetracloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,2	-	< 1	< 1	N.R.	40
	trans-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	N.R.	20
	Tetracloreto de Carbono	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	N.R.	2
	Clorofórmio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	200

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.2: Resultados de VOC para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º e 7º e 8º Campanhas (continuação)

	VOC	PMN-01A/ AA-01A	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-54B/ AA-54B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
8º Campanha	Cloreto de Vinila	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	N.R.	5
	(Mono) Clorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	700
	Diclorometano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	20
	1,4-Diclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	300
	1,2,4 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,2,3 triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	1,3,5 - triclorobenzeno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	N.R.
	Benzeno	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	5	5
	Estireno	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	20
	Tolueno	< 1	< 1	2,5	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	170	700
	1,1,1-Tricloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	280
	Etilbenzeno	< 1	< 1	1,1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	200	300
	cis-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	N.R.	N.R.
	Xilenos	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	-	< 3	< 3	300	500
	Tricloroetano	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	N.R.	70
	Tetracloroetano	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	40
	trans-1,2-Dicloroetano	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	< 2	< 2	N.R.	20
	Tetracloreto de Carbono	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	N.R.	2
	Clorofórmio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	< 1	< 1	N.R.	200

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.3: Resultados de SVOC para água subterrânea (µg/L) – 4º Campanha

	SVOC	PM - 22	PM - 51	PM - 52B	PM - 53B	PM - 55	PM - 56	PM - 57	PM - 58	PM - 59	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)	CETESB, 2016 (µg/L)
4º Campanha	Naftaleno	< 0,005	0,35	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	70	140	60
	Fenantreno	< 0,005	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	5	140	140
	Antraceno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	5	N.R.	900
	Indeno[1,2,3-cd]pireno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05	N.R.	0,4
	Benzo(a)antraceno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,5	1,75	0,4
	Criseno	< 1,00	< 0,005	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	0,05	N.R.	41
	Benzo(b)fluoranteno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.	N.R.	0,4
	Benzo(k)fluoranteno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05	N.R.	4,1
	Benzo(a)pireno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,7	0,7	0,7
	Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	N.R.	0,18	0,04
	Benzo(g,h,i)perileno	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05	N.R.	N.R.
	Fenol	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.	140	900
	Cresóis	< 0,010	0,22	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.	175	600
	Pentaclorofenol	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	N.R.	9	9
	2-Clorofenol	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.	10,5	30

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.3: Resultados de SVOC para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º e 7º Campanhas

	SVOC	PMN-01A/ AA-01A	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-54B/ AA-54B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ- 1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
5º Campanha	Naftaleno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	70	140
	Fenantreno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	5	140
	Antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	5	N.R.
	Indeno[1,2,3-cd] pireno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,5	1,75
	Criseno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)pireno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,7	0,7
	Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	N.R.	0,18
	Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Fenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	N.R.	140
	Cresóis	< 0,2	< 0,2	1,01	< 0,2	5,53	-	< 0,2	< 0,2	< 0,2	N.R.	175
6º Campanha	Pentaclorofenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	N.R.	9
	2-Clorofenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	N.R.	10,5
	Naftaleno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	70	140
	Fenantreno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	5	140
	Antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	5	N.R.
	Indeno[1,2,3-cd] pireno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,5	1,75
	Criseno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)pireno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,7	0,7
	Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	N.R.	0,18
	Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Fenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	N.R.	140
	Cresóis	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	N.R.	175
	Pentaclorofenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	N.R.	9
	2-Clorofenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	N.R.	10,5

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.3: Resultados de SVOC para água subterrânea (µg/L) – 5º, 6º e 7º Campanhas (continuação)

	SVOC	PMN-01A/ AA-01A	PM-21/ AA-21	PM-51/ AA-51	PM-52B/ AA-52B	PM-53B/ AA-53B	PM-54B/ AA-54B	PM-55/ AA-55	PM-56/ AA-56	PM-59/ AA-59	DZ- 1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)
7º Campanha	Naftaleno	< 0,01	< 0,01	0,648	< 0,01	0,0296	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	70	140
	Fenantreno	< 0,01	< 0,01	0,271	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	5	140
	Antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	5	N.R.
	Indeno[1,2,3-cd] pireno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,5	1,75
	Criseno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)pireno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,7	0,7
	Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	N.R.	0,18
	Benzo(g,h,i)perileno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Fenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	N.R.	140
	Cresóis	< 0,2	< 0,2	2,19	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	< 0,2	< 0,2	N.R.	175
8º Campanha	Pentaclorofenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	N.R.	9
	2-Clorofenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	N.R.	10,5
	Naftaleno	0,252	< 0,2	0,518	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	70	140
	Fenantreno	< 0,2	< 0,2	0,383	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	5	140
	Antraceno	< 0,2	< 0,2	0,313	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	5	N.R.
	Indeno[1,2,3-cd] pireno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)antraceno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,5	1,75
	Criseno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(k)fluoranteno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Benzo(a)pireno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,7	0,7
	Dibenzo(a,h)antraceno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	N.R.	0,18
	Benzo(g,h,i)perileno	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,01	< 0,2	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	0,05	N.R.
	Fenol	< 1	< 1	< 0,5	< 0,05	< 1	0,544	-	< 0,05	< 0,05	N.R.	140
	Cresóis	< 4	< 4	< 2	< 0,2	< 4	< 0,2	-	< 0,2	< 0,2	N.R.	175
	Pentaclorofenol	< 1	< 1	< 0,5	< 0,05	< 1	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	N.R.	9
	2-Clorofenol	< 1	< 1	< 0,5	< 0,05	< 1	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	N.R.	10,5

Fonte: APOLLO, 2019

Tabela C.4: Resultados de Metais para água subterrânea (µg/L)

		Metais Totais	PM-22	PM-57	PM-58	DZ-1841.R2 (µg/L)	CONAMA 420 (µg/L)	CETESB, 2016 (µg/L)
4º Campanha	Alumínio	0,916	4,16	19,1	N.R.		3.500	N.R.
	Antimônio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	N.R.		5	5
	Arsênio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	N.R.		10	10
	Bário	0,024	0,178	0,176	N.R.		700	700
	Boro	< 0,010	4,8	0,512	N.R.		500	2.400
	Cádmio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	N.R.		5	5
	Chumbo	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.		10	10
	Cobalto	< 0,003	< 0,003	< 0,003	N.R.		70	70
	Cobre	< 0,009	< 0,009	< 0,009	N.R.		2.000	2.000
	Cromo Total	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.		50	50
	Ferro	11,9	4,61	13,6	N.R.		2.450	N.R.
	Manganês	0,504	0,603	0,724	N.R.		400	N.R.
	Mercúrio	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	N.R.		1	1
	Molibdênio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.		70	30
	Níquel	0,015	< 0,010	0,014	N.R.		20	70
	Prata	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.		50	50
	Selênio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	N.R.		10	10
	Vanádio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	N.R.		N.R.	N.R.
	Zinco	0,198	0,104	0,117	N.R.		1.050	1.800

Fonte: APOLLO, 2019