

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO - SHS

ALEXANDRE SANCHEZ DIB

**ESTUDO DE CASO E AVALIAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS EM ÁREAS
CONTAMINADAS COM HIDROCARBONETOS DERIVADOS DE PETRÓLEO**

São Carlos - SP

2021

ALEXANDRE SANCHEZ DIB

ESTUDO DE CASO E AVALIAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS EM ÁREAS
CONTAMINADAS COM HIDROCARBONETOS DERIVADOS DE PETRÓLEO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para conclusão do curso.

Sob a orientação do Professor Titular Lázaro Valentim Zuquette.

São Carlos - SP

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

S543e Sanchez Dib, Alexandre
ESTUDO DE CASO E AVALIAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS EM ÁREAS CONTAMINADAS COM HIDROCARBONETOS DERIVADOS DE PETRÓLEO / Alexandre Sanchez Dib; orientador Lázaro Valentin Zuquette. São Carlos, 2021.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.

1. Contaminação de águas subterrâneas. 2. Gerenciamento de Áreas Contaminadas. 3. Investigação Detalhada. 4. Remediação Ambiental. 5. Pump and treat. 6. Araraquara (SP).. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Alexandre Sanchez Dib**

Data da Defesa: 03/12/2021

Comissão Julgadora:

Resultado:

Lázaro Valentim Zuquette (Orientador(a))

APROVADO

Liana Carolina Carvalho Rocha

APROVADO

Claudia Marisse dos Santos Rotta

APROVADO



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

*Dedico este trabalho
aos amigos e familiares, que
muito colaboraram para sua
realização.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, minha mãe, Jurema, meu pai, Antônio e meus irmãos, André, Vanessa e Renata que tornaram isso possível e sempre me aconselharam nos momentos em que mais precisei.

À todos os meus colegas de curso e, principalmente da República Capela, que sempre me orientaram e auxiliavam em momentos de dificuldade dessa trajetória, além de terem sido meus companheiros em todos os momentos bons que vivi em São Carlos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Lázaro Valentim Zuquette, pelo auxílio com a elaboração deste trabalho e pela paciência pelo longo período de elaboração até o término do mesmo.

Ao João e ao Pedro da L3 Engenharia Ambiental, onde tive meu primeiro contato profissional e me permitiu um vasto conhecimento nessa vida profissional que ainda tenho pela frente. Sem vocês não teria sido possível a realização desse trabalho.

RESUMO

DIB, S. A. **Estudo de caso e avaliação de passivos ambientais em áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo.** 2021. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

A contaminação e poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos de hidrocarbonetos aromáticos, monoaromáticos e policíclicos aromáticos (BTEX e PAH) representam uma preocupação ambiental em todo o mundo. O estudo da contaminação em áreas urbanas é crucial, tendo em vista que estes compostos são extremamente prejudiciais à saúde, com efeitos cancerígenos e mutagênicos. Devido à volatilidade e a mobilidade destes compostos é importante que o monitoramento de áreas de contaminação em potencial seja feito de forma frequente. Este monitoramento é exigido em resoluções ambientais normativas, que vem sendo aprimoradas no Brasil. Assim, este trabalho buscou, a partir de uma abrangente revisão bibliográfica (teses, dissertações, projetos) referente a investigação, remediação e monitoramento de áreas contaminadas, avaliar os trabalhos exercidos pela empresa L3 Engenharia Ambiental no Auto Posto Prisma, localizado em Araraquara-SP. As análises feitas pela empresa contemplaram o estudo de uso e ocupação do entorno, a delimitação do contaminante no solo e em nível freático, a escolha e acompanhamento da técnica de remediação *pump and treat* e o monitoramento até reabilitação da área para uso declarado. Foi possível concluir que os trabalhos foram bem executados, apesar das limitações socioeconômicas que inviabilizam o uso de todas as técnicas recomendadas pela literatura de referência.

Palavras-chave: Contaminação de águas subterrâneas. Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Investigação Detalhada. Remediação Ambiental. *Pump and treat*. Araraquara (SP).

ABSTRACT

DIB, S. A. **Case study and assessment of environmental liabilities in areas contaminated with petroleum-derived hydrocarbons.** 2021. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

The groundwater and soil contamination and pollution caused by leakage of monoaromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons (BTEX and PAH) represent an environmental concern worldwide. The study of groundwater and soil contamination in urban areas is crucial, since these compounds are extremely harmful to health, with carcinogenic and mutagenic effects. Due to the volatility and mobility of these compounds it is important that the monitoring of potential contamination areas is done on a frequent basis. Monitoring procedures are required by environmental normative resolutions, which have been improved in Brazil. Thus, this work sought, from a comprehensive bibliographical review (thesis, dissertations, projects) regarding the investigation, remediation and monitoring of contaminated areas, to evaluate the work carried out by the company L3 Engenharia Ambiental at Auto Posto Prisma, located in Araraquara-SP . The analyzes carried out by the company included the study of the use and occupation of the surroundings, the delimitation of the contaminant in the soil and at the water table, the choice and follow-up of the pump and treat remediation technique, and monitoring until rehabilitation of the area for declared use. It was possible to conclude that the works were well executed, despite the socioeconomic limitations that make the use of all the techniques recommended by the reference literature unfeasible.

Key-words: Groundwater contamination. Management of Contaminated Areas. Detailed Investigation. Environmental Remediation. Pump and treat. Araraquara (SP).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do isopentano.	22
Figura 2 - Estrutura molecular do benzeno.	23
Figura 3 - Zona de captura.....	29
Figura 4 - Bombeamento da água contaminada.	29
Figura 5 - Barreira para contenção da área contaminada	29
Figura 6 – Áreas contaminadas cadastradas no Estado de São Paulo em 2018.	32
Figura 7 – Fluxograma dos trabalhos propostos.....	33
Figura 8 - Localização da Região de Araraquara	34
Figura 9 - Mapa geomorfológico de Araraquara.	38
Figura 10 - Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.....	40
Figura 11 - Uso das águas subterrâneas para abastecimento público na UGRHI 13 em 1997	43
Figura 12 - Mapa hidrográfico da zona urbana de Araraquara. Escala 1:50.000.....	44
Figura 13 - Mapa topográfico da região em escala 1:50.000 com destaque no Prisma Auto Posto	45
Figura 14 - Detalhe do empreendimento em 2013.	45
Figura 15 - Layout do empreendimento.	47
Figura 16 - Mapeamento dos afloramentos na área de estudo.	48
Figura 17 - Potenciais empreendimentos poluidores em 2004.....	49
Figura 18 - Mapa geológico da área urbanizada da cidade de Araraquara (SP).	51
Figura 19 - Mapa de localização dos poços de monitoramento e sondagens.....	52
Figura 20 - Perfil construtivo e litológico dos PM-06 e PM-07.....	53
Figura 21 - Mapa potenciométrico no âmbito do Prisma Auto Posto LTDA.....	55
Figura 22 - Mapa de isoespessura de fase livre no âmbito do Prisma Auto Posto.....	61
Figura 23 - Área de risco para ingestão de água subterrânea.	64
Figura 24 - Área de risco para inalação de vapores em ambiente aberto.	64
Figura 25 - Área de risco para inalação de vapores em ambiente fechado.	65
Figura 26 - Carta de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas da área urbanizada de Araraquara.	66
Figura 27 – Esquema detalhado do sistema de remediação no Auto Posto Prisma.	68
Figura 28 - Mapa potenciométrico logo após a formação do cone de rebaixamento.....	69
Figura 29 - Mapa de isoespessura de fase livre após a formação do cone de rebaixamento....	69
Figura 30 - Mapa e restrição do uso da água subterrânea.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características dos PAHs.	24
Tabela 2 - Síntese das informações litoestratigráficas da área de estudo.	37
Tabela 3 - Descrição geológica dos afloramentos.	48
Tabela 4 - Localização do Auto Posto Rolex.	49
Tabela 5 - Resultados das análises físico-químicas nas amostras de solo deformadas e indeformadas.	54
Tabela 6 - Nível d'água, cotas planialtimétricas e cargas hidráulicas obtidas nos poços de monitoramento.	54
Tabela 7 - Medição de VOC nas amostras de solo.	57
Tabela 8 - Resultados analíticos das amostras de solo coletadas no Prisma Auto Posto.	59
Tabela 9 - Resultados analíticos das amostras de água subterrânea coletadas no Prisma Auto Posto.	60
Tabela 10 - Quadro comparativo SQIS x CMAS/PLAS.	62
Tabela 11 - Amostragens dos poços de monitoramento.	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pluviometria média da região de Araraquara.....	35
Gráfico 2 - Volume recuperado de fase livre	70

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

ANP – Agência Nacional do Petróleo

BTEX - Benzeno, tolueno, etil benzeno e xilenos

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMA - Concentração Máxima aceitável

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EPA - Environmental Protection Agency

EU – European Union

FL - Fase Livre

FS - Furo de sondagem

HS - Hot Spot

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NA - Nível de água

NABR - Níveis Aceitáveis Baseados no Risco

ND - Não detectado

PC - Ponto de conformidade

PLA - Padrões Legais Aplicáveis

PAH - Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

PM - Poço de monitoramento

PPM - partes por milhão

SQI - Substância química de interesse

TPH - Hidrocarbonetos totais de petróleo

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

VOC - Compostos orgânicos voláteis

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1.	OBJETIVOS	17
1.1.1.	Objetivos	17
1.2.	JUSTIFICATIVA	18
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1.	Sustentabilidade no mundo e a produção de petróleo.....	19
2.2.	Estrutura do petróleo e a contaminação ambiental	20
2.2.1.	Hidrocarbonetos alifáticos	22
2.2.2.	Hidrocarbonetos aromáticos	22
2.3.	Gerenciamento de Áreas Contaminadas	24
2.3.1.	Identificação e Avaliação Preliminar.....	25
2.3.2.	Investigação Confirmatória.....	25
2.3.3.	Investigação Detalhada	26
2.3.4.	Avaliação de Risco.....	26
2.3.5.	Remediação de áreas contaminadas.....	27
2.3.5.1.	Bombeamento e tratamento (<i>Pump and Treat</i>).....	28
2.3.5.2.	Tratamento térmico	30
2.3.5.3.	Oxidação química	30
2.3.5.4.	Remediação eletro cinética	31
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1.	Caracterização regional.....	34
4.2.	Características do meio físico	34
4.2.1.	Clima.....	34
4.2.2.	Vegetação.....	35
4.2.3.	Pedologia.....	36

4.2.4. Geologia regional.....	36
4.2.5. Geomorfologia regional.....	37
4.2.5.1. Formação Adamantina.....	38
4.2.5.2. Formação Botucatu.....	38
4.2.5.3. Formação Serra Geral.....	39
4.2.6. Hidrogeologia regional.....	39
4.2.6.1. Aquífero Bauru.....	40
4.2.6.2. Aquífero Guarani.....	41
4.2.6.3. Aquífero Serra Geral.....	41
4.2.7. Hidrografia.....	42
4.3. Caracterização do empreendimento.....	44
4.4. Uso e ocupação da área.....	46
4.5. Caracterização geológica e hidrogeológica da área local.....	47
4.5.1. Levantamento de dados locais.....	47
4.5.2. Investigação geológica e hidrogeológica no empreendimento.....	52
4.6. Investigação detalhada da contaminação.....	56
4.6.1. Medição dos teores de VOC.....	56
4.6.2. Amostragem do solo.....	57
4.6.3. Amostragem de água subterrânea.....	57
4.7. Avaliação dos resultados.....	58
4.7.1. Resultados analíticos das amostras de solo.....	58
4.7.2. Resultados analíticos em amostras de água subterrânea.....	59
4.8. Mapas de isoespessura de fase livre.....	60
4.9. Avaliação dos riscos.....	61
4.10. Plano de intervenção.....	67
4.10.1. Medida de remediação.....	67
4.10.2. Remoção de fase livre.....	67

4.10.3. Medida de controle institucional.....	70
4.10.4. Programa de monitoramento para encerramento de caso	71
5. CONCLUSÃO.....	73
5.1. Quanto à obtenção dos dados.....	73
5.2. Quanto ao plano de ação	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A – Concentração das SQIs Durante as Campanhas de Monitoramento.....	82
ANEXO B – Termo de Reabilitação Para Uso Declarado	84
ANEXO C – Carta De Autorização: L3 Engenharia Ambiental Ltda.	85
ANEXO D – Carta De Autorização: Prisma Auto Posto Ltda.	86

1. INTRODUÇÃO

Diariamente cientistas e pesquisadores ambientais ao redor do mundo se deparam com dificuldades para minimizar a contaminação do solo, ar e água. Segundo Soheil (2015), vazamentos em grande escala de hidrocarbonetos, gases e outros componentes químicos, assim como o descarte impróprio de resíduos geram grandes problemas ambientais, que segundo o autor refletem diretamente sobre os indivíduos.

Soheil (2015) ainda afirma que grandes quantidades de hidrocarbonetos em locais contaminados podem significar uma séria ameaça à saúde dos seres humanos, plantas e à vida dos animais.

No início da revolução industrial, pouco se conhecia sobre a poluição ocasionada pelos resíduos gerados pelo processo industrial. Carr (1919) foi um dos pioneiros nesse estudo, em sua obra *Vegetation growth in soils* (SCHOLLENBERGER, 1930).

Outros pesquisadores como Harper (1939) e Schollenberger (1930) investigaram o uso de hidrocarbonetos como fertilizantes para fomentar a produção agrícola, uma vez que o uso aumenta a nitrificação do solo.

Dentre os hidrocarbonetos pode-se destacar os Policíclicos (PAHs), que são uma classe de compostos que frequentemente são encontrados em locais poluídos por derivados de petróleo. De acordo com ADRION *et al.* (2015), a biorremediação pode ser uma alternativa interessante para o tratamento dos solos contaminados, no entanto, os PAHs costumam ser fortemente ligados ao ambiente, o que dificulta a execução deste processo. Assim, AITKEN *et al.* (2015) citam que mesmo após o controle de PAHs no solo, comumente os níveis de toxicidade do solo não diminuem. Por esses fatos, este projeto, que busca avaliar todo o procedimento relacionado ao gerenciamento de áreas contaminadas em um posto de combustível localizado na cidade de Araraquara-SP é considerado como discussão de extrema importância.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos

Avaliar, com base na literatura referente ao gerenciamento de áreas contaminadas, as

etapas de investigação detalhada, remediação e monitoramento até a reabilitação para uso declarado, os trabalhos exercidos pela empresa L3 Engenharia Ambiental, no Auto Posto Prisma. Por fim, esta pesquisa tem por objetivo realizar uma análise crítica dos procedimentos aplicados, e, se possível propor alternativas viáveis.

1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo Reddy (1999):

“Áreas contaminadas com derivados de petróleo são frequentes frutos de diversas condições, tais como: A construção de tanques de armazenamento de hidrocarbonetos subterrâneos e acima do solo, descarte inadequado de resíduos de lubrificação, e liberações acidentais destes materiais na natureza. Com agências reguladoras mais atuantes há uma necessidade crescente de desenvolver tecnologias mais eficazes e menos caras para remediar os solos contaminados com petróleo desses locais para padrões aceitáveis.”.

A atenção com áreas contaminadas é extremamente recente e não acontece em diversos locais do planeta, além disso, está intimamente ligada com condições socioeconômicas, por isso, o autor, com esta afirmação expõe a importância de se encontrarem meios alternativos e eficazes de identificação e tratamento das áreas contaminadas por hidrocarbonetos. Além da minimização do impacto ambiental, que é dever de todos, o surgimento de novas diretrizes regulamentadoras e técnicas mais acessíveis minimizam os impactos gerados ao meio ambiente e a saúde humana. Sendo assim, a pesquisa no âmbito do gerenciamento de áreas contaminadas torna possível o conhecimento de novas técnicas e o aperfeiçoamento das já conhecidas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Sustentabilidade no mundo e a produção de petróleo

Em 2012, John Elkington propôs 3 pilares que definiam as ações necessárias do homem com a natureza. O chamado “*triple bottom line*” é constituído pelos seguintes conceitos: “*planet, people, profit*”, que segundo Lima (2017) podem ser definidos como:

a) Planet (*Planeta*):

- Desenvolver e proteger habitat naturais;
- Preservar recursos naturais;
- Melhorar a qualidade do ar e água;
- Reduzir a produção de resíduos sólidos;
- Diminuir a emissão de gases poluentes.

b) People (*Pessoas*):

- Melhorar as condições do ar, térmicas e acústicas dos ambientes;
- Elevar os níveis de salubridade e de conforto para os ocupantes;
- Contribuir com a saúde, vitalidade e estética para a comunidade local.

c) Profit (*Lucro*):

- Reduzir custos de operação;
- Elevar o valor do ativo imobiliário e os lucros;
- Aumentar a produtividade e a satisfação dos empregados;
- Otimizar o desempenho econômico no ciclo de vida.

Na mesma linha de raciocínio, Bakker (2010) publicou em artigo para a revista *Vision* 50:

“Agora sabemos que, desde a revolução industrial, e em velocidade crescente nas últimas décadas, a atividade humana prejudicou

severamente o funcionamento dos sistemas da Terra.

Agora entramos em um período de crise de maior volatilidade: emergência climática, ecológica degradação e perda significativa de biodiversidade.

Diante dessas ameaças, as sociedades humanas devem construir capacidade suficiente para adequadamente responder a essas emergências planetárias.

Devemos trabalhar para mitigar a mudança de clima e a destruição e perda da natureza ao mesmo tempo que se aprende a adaptação a um planeta dinâmico e mais volátil”.

(Bakker, 2010, tradução nossa)

O petróleo possui íntima ligação com a sustentabilidade, segundo Chang (2003). A autora cita que desde o primeiro poço comercial de petróleo em 1859, mais de 100 bilhões de barris de petróleo foram produzidos nos Estados Unidos da América e já em 1994, o consumo mundial de petróleo estava em uma taxa de cerca de 65 milhões de barris por dia (Manahan, 1994).

A produção, transporte e refino de petróleo era, de acordo com o *International Energy Agency* (IEA) da ordem de 85 milhões de barris por dia em 2009, e inevitavelmente envolve o risco de derramamentos acidentais. Fatos como o naufrágio do petroleiro Torrey Canyon em 1969 e o encalhe do petroleiro Arrow no ano seguinte (Wang et al., 1994) alarmaram ambientalistas com relação ao destino dos poluentes de hidrocarbonetos nos oceanos. Nos últimos anos, o número de naufrágios ou danos à navios petroleiros que liberam grandes quantidades de óleo no mar, parece ocorrer de forma frequente. Um exemplo foi o acidente com o navio Exxon *Valdez* no Alasca em 1989, causando poluição generalizada e dano ambiental.

Além disso, a poluição da região do Golfo após a guerra homônima em 1991 (Fayad e Overton, 1995) focalizou a atenção na poluição dos mares e oceanos. No Brasil, o acidente na refinaria Presidente Getúlio Vargas, no Paraná, em 2000, despejou cerca de 4 milhões de litros durante a transferência vinda do terminal marítimo era considerado o maior da história, até que em 2019 houve o surgimento de uma mancha de óleo no litoral brasileiro, com cerca de 30 mil litros de óleo cru. O caso não foi concluído, mas a suspeita é que o navio grego Bouboulina tenha sido o responsável durante visita a Venezuela (Marinha, 2020).

2.2. Estrutura do petróleo e a contaminação ambiental

Segundo Gillian (2001), estima-se que mais de 30.000 toneladas de óleos contaminam

o Reino Unido por ano. O derramamento de óleos responde por um quarto de todos os eventos de poluição contabilizados pelas agências de proteção ambiental inglesas.

Os três tipos mais comuns de materiais perigosos lançados no meio ambiente em ordem decrescente são produtos de petróleo, creosoto e compostos orgânicos voláteis (Cookson, 1995).

O uso generalizado e o armazenamento de produtos petrolíferos os tornam os maiores contaminantes do solo e da água subterrânea (Cookson, 1995). Além disso, segundo Demque (1994), vazamentos subterrâneos de tanques de armazenamento de combustíveis são considerados como uma das fontes mais comuns de contaminação dos solos e das águas subterrâneas e que atualmente estima-se que no Canadá existam mais de 200.000 tanques de armazenamento subterrâneo instalados, e até 30.000 podem estar com vazamento de produtos para o solo e, por consequência, as águas subterrâneas.

Rowell *et al.* (1992) descrevem diferentes tipos de derivados de petróleo, como gasolina, óleo diesel, petróleo bruto, óleo, solventes, pesticidas, diluentes de tinta, etc. Todos esses produtos são constituídos de compostos de hidrocarbonetos, que são, como o nome indica, compostos químicos de átomos de hidrogênio e carbono.

Segundo os autores, os átomos de carbono estão ligados juntos em forma de anel, unitários ou formados por mais de um, chamados de hidrocarbonetos policíclicos. Assim, produtos derivados de petróleo como gasolina e óleo diesel são às vezes agrupados de acordo com o seu "número de carbono". O número de carbono indica o número de átomos de carbono em uma molécula do produto. Para descrição de um exemplo, um produto "C10" possui 10 átomos de carbono em uma molécula. Segundo Cookson (1995), a gasolina está normalmente na faixa de C1 a C9, o combustível diesel está normalmente na faixa de C10 a C20, e os óleos crus estão na faixa de C21 a C30.

Independentemente de sua fonte, um único derivado de petróleo é geralmente composto de uma grande mistura de hidrocarbonetos. Por exemplo, a gasolina comum contém aproximadamente 50 compostos de hidrocarbonetos diferentes (Cookson, 1995).

A contaminação dos solos e das águas infelizmente ainda é um sério problema ambiental, segundo Ruihong (2006). A autora cita que desenvolvimentos industriais e agrícolas em todo o mundo lançaram um grande número de compostos naturais e sintéticos perigosos para o meio ambiente devido ao desperdício, despejo ilegal de resíduos e derramamentos acidentais.

Em relação à números, a autora cita que só nos Estados Unidos, estima-se que os custos de tratamento de locais contaminados podem chegar a 1,7 trilhão de dólares nos

próximos 30 anos.

Os hidrocarbonetos de petróleo se dividem em duas grandes famílias: alifáticas e aromáticas, como veremos a seguir.

2.2.1. Hidrocarbonetos alifáticos

Segundo Adam (2001), os alcanos contêm apenas ligações carbono-carbono simples. Alcanos de cadeia linear ou n-alcanos, como eles são mais comumente conhecidos, consistem em carbonos ligados a não mais do que dois outros carbonos de forma linear com duas terminações metil (CH₃). O autor cita que os alcanos ramificados são isômeros estruturais de n-alcanos que têm grupos alcano (alquil) substituídos em estruturas de hidrocarbonetos.

Alcenos são hidrocarbonetos que contêm menos hidrogênios do que os alcanos, devido à ocorrência de uma ou mais ligações duplas nas estruturas dos alcenos. Em relação aos cicloalcanos, o autor define que são alcanos onde os átomos de carbono formam estruturas cíclicas. Na Figura 1 são exemplificadas as estruturas dos hidrocarbonetos alifáticos.

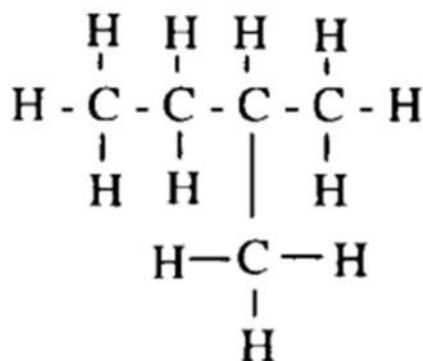


Figura 1 - Estrutura do isopentano.
Fonte: Adam (2001)

2.2.2. Hidrocarbonetos aromáticos

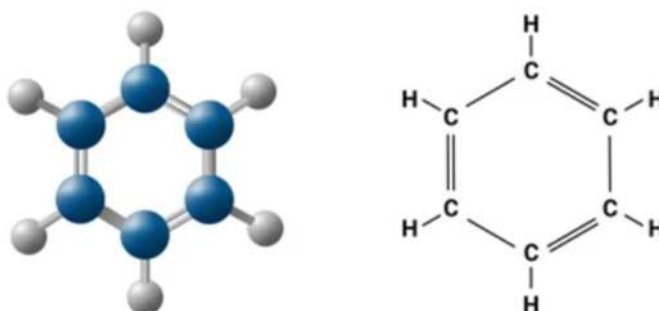
Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, PAHs, são um dos principais grupos destes contaminantes, segundo Da Silva et al. (2003). Os PAHs constituem uma classe diversa de compostos orgânicos que consistem em dois ou mais anéis aromáticos com várias configurações estruturais (Prabhu e Phale, 2003). Por serem derivados do benzeno, os PAHs são termodinamicamente estáveis, fazendo com que estes componentes químicos tenham uma

tendência a aderir às superfícies das partículas, como os solos, por causa de sua baixa solubilidade em água e forte hidrofobicidade.

Segundo Cerniglia (1992), os PAHs são altamente cancerígenos e são comumente encontrados em altas concentrações em locais industriais, particularmente aqueles associados com as indústrias de petróleo, produção de gás e madeireiras.

Na Figura 2 está exemplificada uma molécula de benzeno, com 6 moléculas de carbono e 6 de hidrogênio:

Figura 2 - Estrutura molecular do benzeno.



Fonte: Wing (2009)

Com base na massa molecular, Dias (2016) afirma que os hidrocarbonetos aromáticos são divididos em dois grupos: os Petrogênicos, com baixa massa molecular e os Pirolíticos com alta massa molecular, tendo suas principais características definidas pelo United States – Environmental Protection Agency (US-EPA) e União Europeia (EU) conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características dos PAHs.

Hidrocarbonetos Policíclicos		Nº De	Fórmula	Massa
Aromáticos		Anéis	Molecular	Molecular (G.Mol ⁻¹)
PETROGÊNICO	Naftaleno	2	C ₈ H ₁₀	128,17
	Acenaftileno	3	C ₁₂ H ₈	152,20
	Acenafteno	3	C ₁₂ H ₁₀	154,21
	Fluoreno	3	C ₁₃ H ₁₀	166,20
	Fenantreno	3	C ₁₄ H ₁₀	178,20
	Antraceno	3	C ₁₄ H ₁₀	178,20
PIROLÍTICO	Fluorantebo	4	C ₁₆ H ₁₀	202,26
	Pireno	4	C ₁₆ H ₁₀	202,30
	Benzo(a)antraceno	4	C ₁₈ H ₁₂	228,30
	Criseno	4	C ₁₈ H ₁₂	228,29
	Benzo(b)fluoranteno	5	C ₂₀ H ₁₂	252,30
	Benzo(k)fluoranteno	5	C ₂₀ H ₁₂	252,30
	Benzo(a)pireno	5	C ₂₀ H ₁₂	252,30
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	6	C ₂₂ H ₁₂	276,30
	Dibenzo(a,h)antraceno	5	C ₂₂ H ₁₄	278,35
	Benzo(g,h,i)perileno	6	C ₂₁ H ₁₆	276,34

Fonte: Dias (2016) adaptado de LEE (1999)

2.3. Gerenciamento de Áreas Contaminadas

O gerenciamento de áreas contaminadas (GAC) é caracterizado por um conjunto de medidas que asseguram o conhecimento das características das áreas contaminadas e a definição de medidas de intervenção mais adequadas a serem exigidas, visando eliminar ou minimizar os danos e/ou riscos aos bens a proteger, gerados pelos contaminantes nelas contidos (SÃO PAULO, 2013).

No Brasil, as diretrizes para investigação de áreas contaminadas foram definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A resolução nº 420 do conselho define que uma área contaminada é aquela que conta com substâncias tóxicas na água, no ar ou no solo, advindas de atividades humanas.

Neste contexto, pode-se dizer que o gerenciamento de uma área contaminada deve conter duas grandes fases de entendimento do problema. A primeira fase é a da identificação da contaminação, composta da avaliação preliminar e investigação confirmatória. A segunda

fase é a reabilitação da área que é composta pela investigação detalhada, avaliação de risco, plano de intervenção e monitoramento. O processo de GAC deve ser finalizado com a reabilitação da área para o uso pretendido e declarado ao órgão ambiental, durante o processo de gerenciamento (IPT, 2014).

2.3.1. Identificação e Avaliação Preliminar

De acordo com Gloeden (1999), para identificar uma área potencialmente poluidora deve-se mapear onde estão ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras, isto é, atividades onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem acarretar em danos e/ou riscos ao meio ambiente.

O autor ainda cita que tais áreas devem ser devidamente registradas no cadastro de áreas contaminadas junto ao órgão competente, esses resultados serão utilizados, posteriormente, como base para a execução da etapa de avaliação preliminar, após o empreendimento ser notificado.

A etapa de avaliação preliminar consiste, basicamente, da elaboração de um diagnóstico inicial das áreas potencialmente contaminadas, cadastradas durante a etapa de identificação, por meio da realização de um levantamento das informações existentes em documentações e levantamento de informações coletadas em inspeções de reconhecimento em cada área (GLOEDEN, 1999).

A interpretação dos dados coletados durante a execução desta etapa permitirá a elaboração de hipóteses sobre as características da fonte de contaminação, bem como as prováveis vias de transporte do contaminante (meios por onde se propagar), a distribuição espacial da contaminação e os prováveis receptores ou bens a proteger atingidos ou que possam ser atingidos. A avaliação preliminar permite que sejam tomadas medidas emergenciais para a proteção da saúde e do meio, caso necessário (GLOEDEN, 1999).

2.3.2. Investigação Confirmatória

A Investigação Confirmatória 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 (ABNT, 2011). A investigação confirmatória não é necessária caso já seja constatada a contaminação ao realizar a avaliação preliminar.

2.3.3. Investigação Detalhada

A Investigação Detalhada 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 (ABNT, 2013a).

Nesta etapa é realizado o mapeamento da contaminação (contemplando a delimitação da pluma de fase livre, dissolvida e retida) com o intuito de conhecer a distribuição vertical e horizontal das substâncias químicas de interesse, delimitando a área na qual a concentração destas substâncias seja superior ao valor de investigação ou intervenção estabelecido. O mapeamento da contaminação deve indicar a variação da concentração das substâncias de interesse no interior da zona contaminada (ABNT, 2013a).

2.3.4. Avaliação de Risco

A Avaliação de Risco 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. 31 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 (ABNT, 2013b).

2.3.5. Remediação de áreas contaminadas

No Brasil, as diretrizes para investigação de áreas contaminadas foram definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A resolução nº 420 do conselho define que uma área contaminada é aquela que conta com substâncias tóxicas na água, no ar ou no solo, advindas de atividades humanas.

Em relação à remediação, o conselho define:

“A remediação é definida como a medida de intervenção com intuito de reabilitar áreas contaminadas, consistindo em técnicas de remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes, a fim de atingir um risco que permita um uso declarado ou futuro da área”.

Segundo Feam (2010), existem diversas tecnologias aplicáveis à remediação de áreas contaminadas. Elas são divididas em 4 classes:

- a) *On site*: Ocorre na própria área contaminada;
- b) *Off Site*: O tratamento se promove em local distinto do local contaminado;
- c) *In Situ*: Realizadas no próprio local (sem remoção do substrato contaminado);
- d) *Ex Situ*: Que se procede a remoção do material contaminado para tratamento;

Segundo Yamanaka (2017), as técnicas de remediação no Brasil até o começo da década de 90 consistiam em conter, escavar e remover o solo contaminado, e tratá-lo em outro local. Eram utilizados fornos de cimento para realizar os processos de descontaminação, ou o solo era encaminhado para aterros.

De acordo com Moraes et al. (2014), as técnicas *in situ* vem ganhando destaque atualmente. Dentre as técnicas mais utilizadas podemos citar:

- a) tratamento biológico;
- b) físico-químico ou térmico;
- c) landfarming;
- d) biopilhas;

- e) fitorremediação;
- f) *soil vapor extraction*;
- g) lavagem do solo;
- h) air sparging;
- i) extração multifásica.

É importante salientar que o método de remediação depende de fatores geológicos, condições de equilíbrio físico-químicos e das substâncias presentes no local. Desta forma, é importante que uma investigação detalhada do meio contaminado seja efetuada de forma criteriosa. Algumas das técnicas mais comuns utilizadas no Brasil para descontaminação do solo e da água serão apresentadas a seguir.

2.3.5.1. Bombeamento e tratamento (*Pump and Treat*)

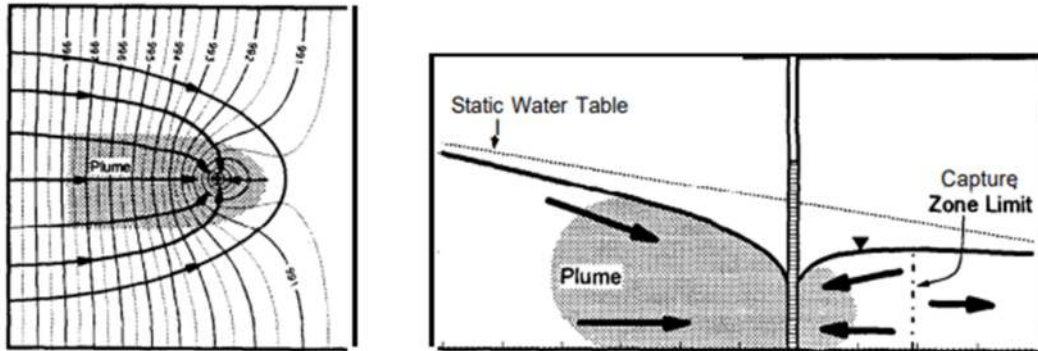
Uma estratégia corretiva comum para lidar com águas subterrâneas contaminadas é extrair a água contaminada e tratá-la na superfície antes da descarga ou reinjeção da mesma, conhecida como *pump and treat*.

Segundo Mercer et al. (1990), na década de 1980, aproximadamente 72 por cento do tratamento de áreas contaminadas no Estados Unidos foram feitas por meio deste processo. Para Steimle (1992), os objetivos deste método são:

- a) Conter e controlar hidraulicamente o movimento de água subterrânea contaminada para evitar a expansão contínua da zona de contaminação;
- b) Reduzir concentrações de contaminantes dissolvidos para cumprir os padrões de limpeza e, assim, "restaurar" o local.

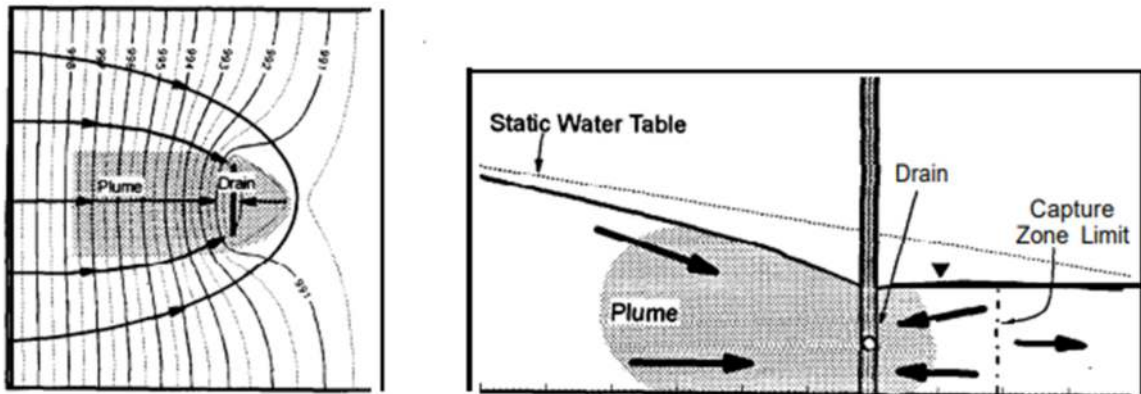
Cohen et al. (1994) definiram algumas etapas ilustradas nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3 - Zona de captura.



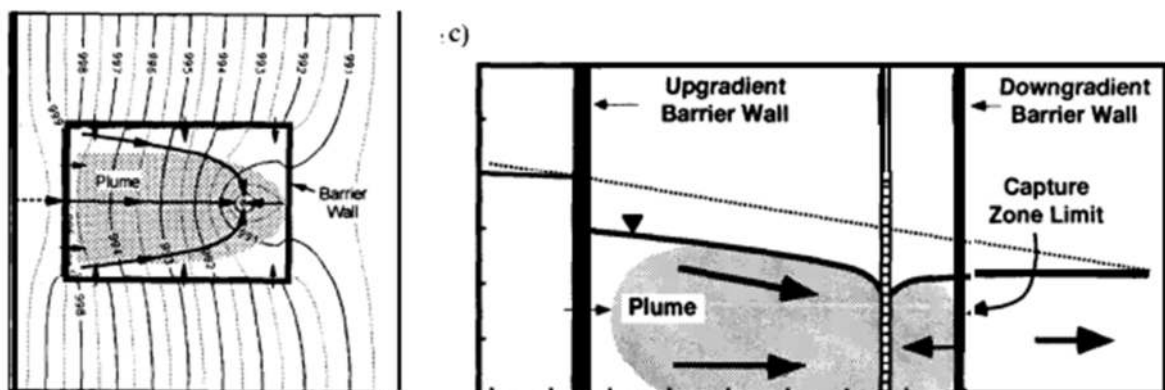
Fonte: Cohen et al. (1994).

Figura 4 - Bombeamento da água contaminada.



Fonte: Cohen et al. (1994).

Figura 5 - Barreira para contenção da área contaminada



Fonte: Cohen et al. (1994).

Segundo Yamanaka (2017), a utilização deste método possui grande eficiência de retenção e dissipação da pluma de contaminantes. Assim, é possível eventualmente a remoção de outras fontes de poluição. A autora reafirma que alguns fatores são determinantes para a eficiência dos processos de remediação, tais como a permeabilidade do solo, os impedimentos físicos e a extensão e profundidade da pluma de contaminação.

De acordo com Freire (2011), solos com baixa permeabilidade apresentam maior rejeição para este método, tendo em vista que o transporte de contaminantes se dá em uma taxa lenta.

2.3.5.2. Tratamento térmico

De acordo com Hamberg (2009), o alto teor de água no solo inibe os fluxos de ar, mas por outro lado, pode aumentar a oportunidade de vaporizar os contaminantes do solo por meio de tratamentos térmicos. Assim, o tratamento térmico é aplicado em compostos orgânicos voláteis em baixas temperaturas, e para hidrocarbonetos aromáticos utilizam-se altas temperaturas.

A solubilidade dos componentes orgânicos da fase gasosa na água é menor em temperaturas mais altas, sendo que as taxas de hidrólise e oxidação aumentam com o aumento temperatura. A hidrólise destes contaminantes ocorre quando os mesmos reagem ou se dissolvem em água e se decompõem, causando sua oxidação.

Segundo o autor, entretanto, alguns compostos apresentam baixas taxas de hidrólise, mesmo em altas temperaturas. Além disso, algumas substâncias como tricloroetano e dicloroetano têm baixas temperaturas de ebulição (31 e 65 °C, respectivamente). Sendo assim, para execução do método é introduzido um fluxo de ar, fazendo com que os contaminantes subam à superfície, e então efetua-se o tratamento dos mesmos por outras vias, como oxidação térmica, bioinfiltração e adsorção por carvão ativado.

2.3.5.3. Oxidação química

As técnicas de oxidação química envolvem a introdução de um produto químico reativo capaz de oxidar contaminantes orgânicos em dióxido de carbono ou transformando-os em compostos mais biodisponíveis para degradação (Amarante, 2000).

Este processo, segundo o autor, inclui a injeção de produtos químicos principalmente de duas maneiras:

- a) injeção de um lado da área contaminada e extração de água subterrânea do outro lado;
- b) injeção sem extração adicional.

Alguns processos incluem a introdução de água oxigenada (H_2O_2), persulfato de sódio que depende da reatividade dos radicais SO_4 ou OH , permanganato de potássio ou ozônio (O_3). Os íons de permanganato são capazes de dividir as ligações de carbono; as reações que se seguem resultam em uma transformação dos componentes orgânicos em dióxido de carbono (Sahl, Munakata-Marr, 2006). Segundo o autor, o permanganato tem uma solubilidade relativamente baixa em água, o que limita a eficiência da remediação.

2.3.5.4. Remediação eletro cinética

Na remediação eletro cinética, uma corrente de baixa intensidade é transmitida por meio de eletrodos instalados na superfície do local contaminado. Segundo Acar et al. (1994), variáveis importantes como pH da água e a condutividade no solo durante o tratamento devem ser estritamente estudados.

O tratamento resulta em uma migração iônica de espécies aniônicas para o cátodo e espécies catiônicas para o ânodo. Geralmente os contaminantes possuem natureza catiônica, enquanto os solos são principalmente carregados negativamente. Portanto, o autor conclui que um campo elétrico aplicado gera mais íons de hidrogênio em comparação com hidroxila, carregando os contaminantes durante o processo.

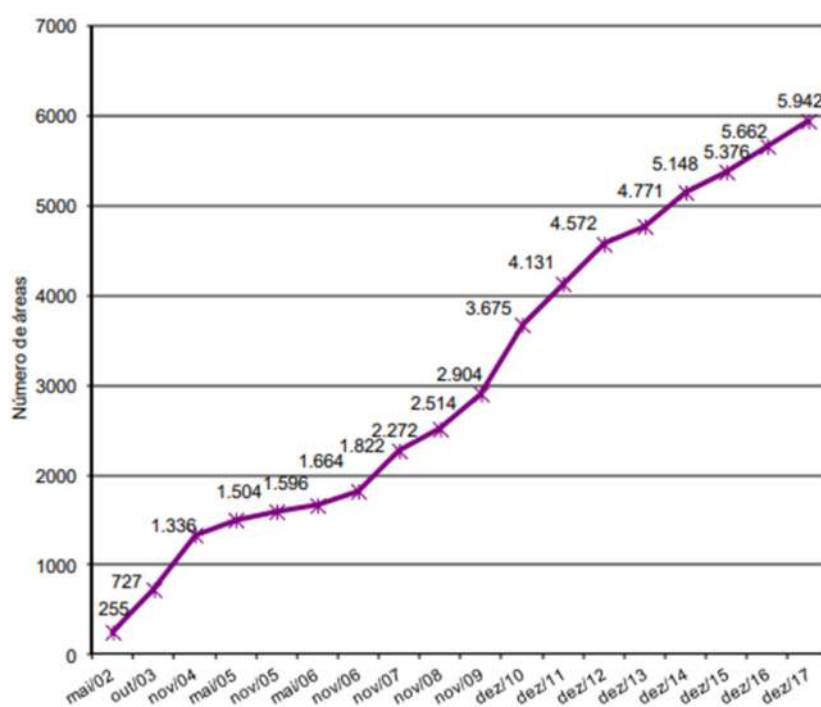
Em condições ácidas, geralmente este processo mobiliza os metais e permitem que eles sejam tratados no ânodo. A água se reduz a gás hidrogênio no cátodo e oxida em gás oxigênio no ânodo (Virikutyte et al., 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico, será apresentada a estruturação do trabalho conforme as etapas a seguir:

Em um primeiro momento, foi realizada a escolha da temática, que se baseou nos trabalhos exercidos pela empresa L3 Engenharia Ambiental no Prisma Auto Posto Ltda., situado na Avenida Francisco Carlos Merlos, nº 2400, Distrito Industrial I, município de Araraquara – SP. O motivo da escolha se deu por conta da problemática que envolve a relevância e atualidade em torno do gerenciamento de áreas contaminadas. Com o número de áreas contaminadas cadastradas crescendo cada vez mais, como destaca a Figura 6, a pesquisa dessa temática se faz imprescindível.

Figura 6 – Áreas contaminadas cadastradas no Estado de São Paulo em 2018.
Evolução do número de áreas cadastradas



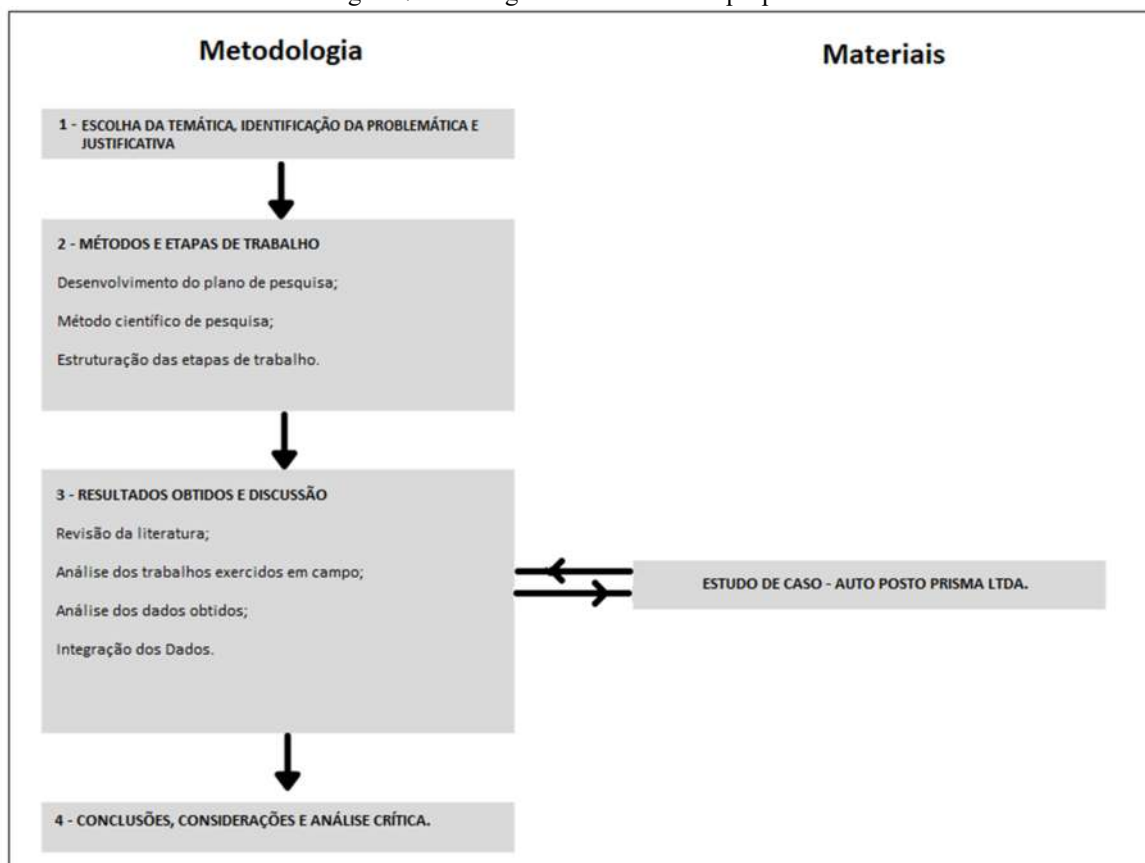
Fonte: CETESB (2018)

A segunda etapa da construção desse relatório, contemplou a construção da metodologia em questão em que se elaborou um plano de pesquisa que visava buscar um resultado ou objetivo final. Também durante essa etapa, foram levantadas outras metodologias referentes ao tema, presentes na literatura, afim de buscar orientação ao longo do estudo.

Em um terceiro momento, iniciou-se a pesquisa bibliográfica, na qual o direcionamento se baseou no gerenciamento de áreas contaminadas provenientes de hidrocarbonetos derivados de petróleo, já que o estudo de caso se refere a um vazamento desse tipo de composto. Em seguida, nessa mesma etapa do trabalho, foram levantadas todas as informações fornecidas pela empresa L3 Engenharia Ambiental referentes as etapas de investigação detalhada, avaliação de risco, remediação da área contaminada e monitoramento, de modo fosse possível integrar as informações pesquisadas com as realizadas em campo.

Por fim, o objetivo final da pesquisa foi, com base em todo conhecimento obtido a partir da literatura do gerenciamento de áreas contaminadas, detalhar os pontos fortes, médios e fracos dos trabalhos exercidos em campo pela empresa. Desse modo, seria possível construir uma análise crítica. A Figura 7 apresenta em síntese as etapas descritas.

Figura 7 – Fluxograma dos trabalhos propostos



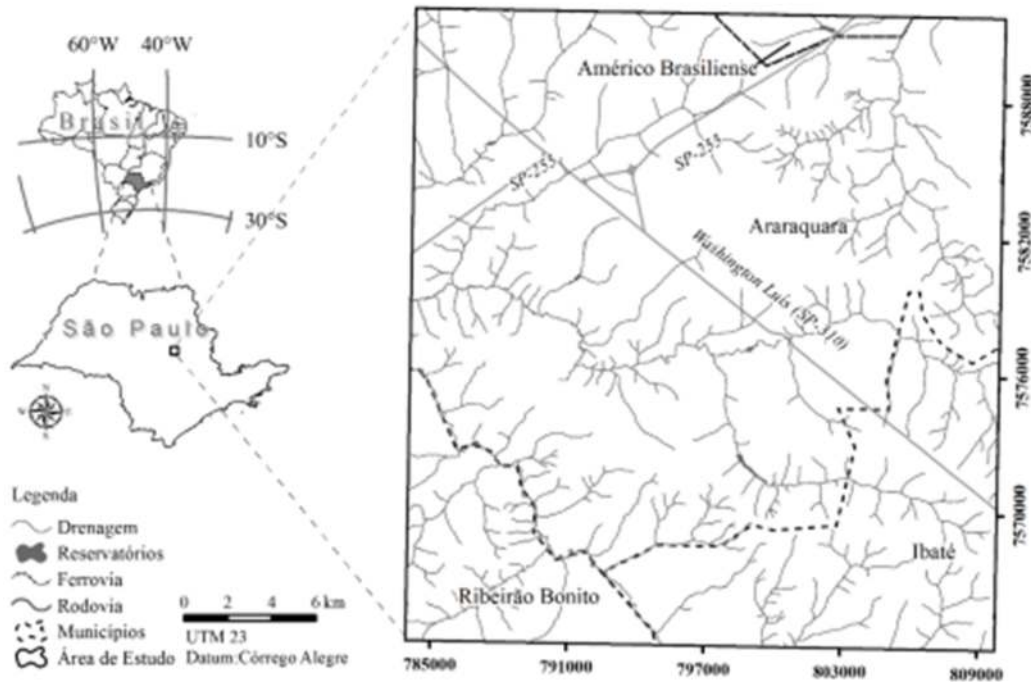
Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização regional

A Região de Araraquara (RSA) está localizada no centro-leste do Estado de São Paulo entre os paralelos $48^{\circ}15' - 48^{\circ}00'W$ e $21^{\circ}45' - 22^{\circ}00' S$, como apresenta a Figura 8. Possui uma área de 716,41 km² que engloba parte dos municípios de Araraquara (511,53 km² e 230.770 habitantes), Ibaté (129.71 km² e 34.226 habitantes), Ribeirão Bonito (65.26 km² e 13.060 habitantes) e Américo Brasiliense (10,12 km² e 39.189 habitantes) (IBGE, 2017).

Figura 8 - Localização da Região de Araraquara



Fonte: IBGE (1971)

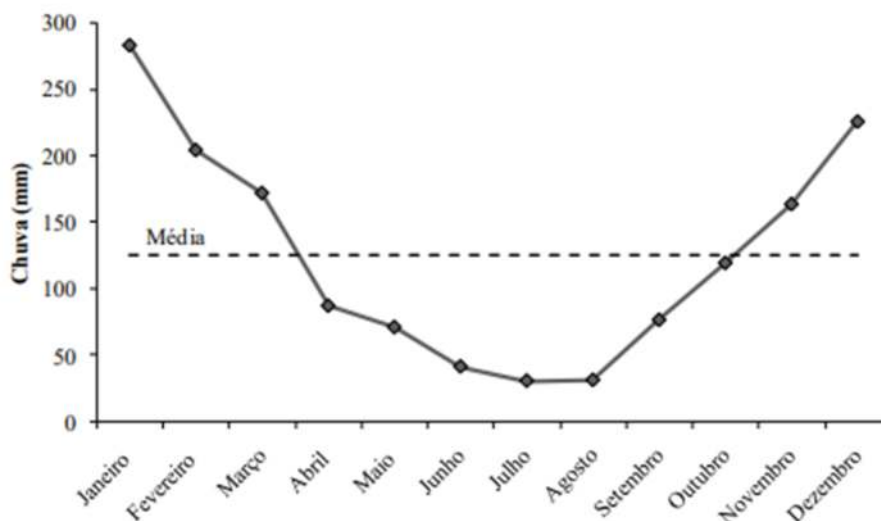
4.2. Características do meio físico

4.2.1. Clima

Failache (2018) descreve o clima da região como sendo caracterizado por um clima tropical de altitude com chuvas no verão e secas no inverno (PEEL *et al.* 2007), com temperatura média anual de 21,2°C, umidade média de 75% e pluviometria média de 1500mm mensais, no entanto, este último com bastante oscilação ao longo dos meses, para demonstrar

o autor traz a média mensal obtida pelas estações pluviométricas monitoradas pela ANA (2015) durante o período de 1979 a 2014, apresentado no Gráfico 1:

Gráfico 1 - Pluviometria média da região de Araraquara.



Fonte: Failache (2018)

4.2.2. Vegetação

Segundo Meaulo (2004), a vegetação original que recobria a cidade de Araraquara era composta Florestas Latifoliadas Tropicais, que foram devastadas com o avanço da fronteira agrícola, mais especificamente, o cultivo de cana de açúcar, café, laranja e pastagem. O autor ainda cita que esse desmatamento ocorreu de maneira crescente entre as décadas de 70 e 80, com a entrada do programa PROÁLCOOL. Estima-se que hoje aproximadamente 80% da área cultivável da região é composta por plantações de cana, enquanto o restante das atividades divide os outros 20%.

Failache (2018) já afirma que a vegetação original da região era composta por cerrados, cerradões, com ocorrência de florestas semidecíduas e matas de galeria e concorda com Meaulo (2004) que a cultura da cana é a grande responsável pela devastação da vegetação na região. Failache (2018) ainda pontua que a única vegetação que se manteve relativamente intacta foram as florestas semidecíduas, pois estão em zona de difícil acesso e manejo como as escarpas, ou seja, não são interessantes para o uso agrícola.

4.2.3. Pedologia

Meaulo (2004) cita que os solos que ocorrem na região de Araraquara – SP são predominantes latossolos vermelhos, subordinados por latossolos vermelho amarelo, e localmente encontram-se neossolosquartzênicos (Oliveira, 1999).

Os autores citam que a classe dos latossolos é constituída por um agrupamento de solos mais extensos do estado, sendo solos com boas propriedades físicas, em relevos suaves ou planos, com baixa erodibilidade. São constituídos em sua maioria por materiais minerais, com boa drenagem interna. Em síntese, citam que os solos que recobrem a área possuem elevada permeabilidade interna e baixa capacidade adsortiva, qualificados como pouco filtrantes (Meaulo, 2004). O autor conclui que apesar de serem solos espessos, apresentam grande sensibilidade ante aos materiais tóxicos neles eventualmente depositados.

4.2.4. Geologia regional

A geologia local foi desenvolvida a partir da sedimentação proveniente da Bacia do Paraná e datam do Jurássico Superior/Cretáceo Inferior (NARDY, 1995). Litoestratigraficamente falando, esses sedimentos pertencem aos grupos São Bento e Bauru, enquanto no primeiro deles integram as formações Botucatu e Serra Geral, o segundo é composto por quatro formações: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (Soares *et al*, 1980), no entanto na área de estudo, há a presença apenas das formações Botucatu, Serra Geral e Adamantina.

Em sua pesquisa, Meaulo (2004) realizou coleta de solo em diversos afloramentos, com a finalidade de mapear a geologia de Araraquara, as informações foram sintetizadas na Tabela 2 e serão apresentadas com maior detalhamento ao longo desta pesquisa:

Tabela 2 - Síntese das informações litoestratigráficas da área de estudo.

COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA			
Grupos	Formações	Idade	Síntese Litológica
	Sedimentos	Quaternário	Sedimentos recentes de fundo de vale.
	Sedimentos Correlato à Formação Botucatu (*)	Cenozóico	Solo arenoso vermelho-amarelo correlato aos sedimentos da Formação Botucatu.
Grupo Bauru	Formação Adamantina	Cretáceo Superior	Solo silto-arenoso de matriz argilosa, vermelho, de alteração dos sedimentos da Formação Adamantina.
Grupo São Bento	Formação Serra Geral	Cretáceo Inferior/ Triássico Superior	Basalto cinza esverdeado, rosado a ocre, fraturas verticais a subverticais.
	Formação Botucatu	Cretáceo Inferior/ Triássico Superior	Arenito fino, silicificado, bem selecionado, com estratificações cruzadas e sistema intertrapiano. Solo arenoso autóctone de coloração alaranjado.

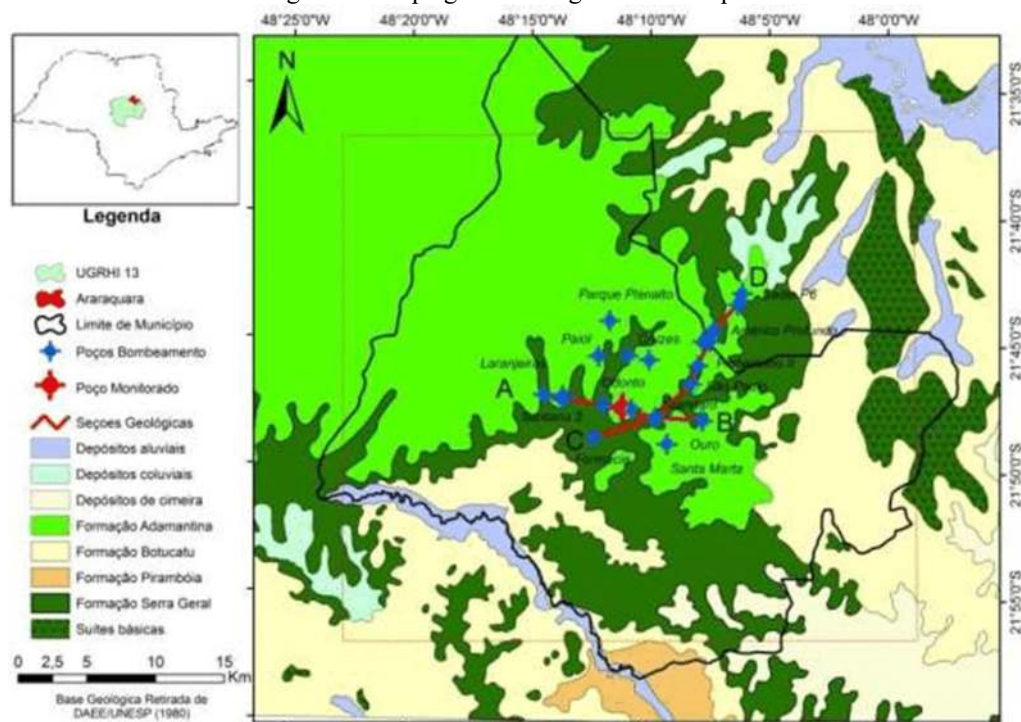
Fonte: Meaulo (2004)

4.2.5. Geomorfologia regional

O município de Araraquara está inserido na província geomorfológica denominada Planalto Ocidental e Cuestas Basálticas (IPT, 1981), sendo que o relevo caracteriza-se por vales relativamente pouco profundos com encostas de inclinações suaves, proporcionando um relevo ondulado sob a forma de colinas amplas e baixas com topos aplainados (Ross & Moroz, 1997).

Segundo Meaulo (2004), neste domínio geomorfológico são encontradas cotas altimétricas em torno de 500m e a presença de três unidades morfológicas principais a Formação Adamantina, Formação Botucatu e Formação Serra Geral. A Figura 9 apresenta no detalhe o mapa geomorfológico da região de Araraquara-SP.

Figura 9 - Mapa geomorfológico de Araraquara.



Fonte: Gastmans (2010).

4.2.5.1. Formação Adamantina

A Formação Adamantina caracteriza-se pela presença de arenitos avermelhados a acastanhados, finos a muito finos, argilosos, algo carbonáticos, quartzosos, intercalados por camadas de lamito marrom a avermelhado, arenoso, carbonático (Paula e Silva et al. 1994). Pertence a unidade geomorfológica do Planalto Ocidental e traz topos extensos e aplainados, vertentes predominantemente convexas, com cotas topográficas entre 560 e 700m.

O contato inferior da Formação Adamantina é discordante com os basaltos da Formação Serra Geral e com a Formação Santo Anastácio, e concordante interdigitado, localmente erosivo, com a Formação Araçatuba; o contato superior é concordante interdigitado a abrupto com a Formação Marília.

Variações faciológicas são comumente observadas em perfis da Formação Adamantina e refletem a extrema variabilidade dos depósitos continentais de origem fluvial.

4.2.5.2. Formação Botucatu

A Formação Botucatu é uma formação geológica da Bacia do Paraná que pertence a unidade geomorfológica do Planalto Ocidental (Meaulo, 2004), sendo constituída

principalmente por arenitos quartzosos de granulação fina a média, de coloração vermelha, rósea ou amarelo-clara, apenas localmente feldspáticos. Como estrutura característica desses arenitos, ocorre estratificação cruzada tangencial de grande porte. Além disso, apresenta topos planos e extensos, vertentes côncavas a convexas, relevo suave com cotas geralmente acima de 670m (Meaulo, 2004).

A Formação é o resultado da grande desertificação do ainda continente Gondwana, o “deserto Botucatu”, semelhante ao deserto do Saara e com área superior a um milhão de km². Os extensos campos de dunas, depositados por ação eólica, formaram os espessos pacotes de arenitos que hoje constituem o importante Aquífero Guarani.

A Formação Botucatu pertence à supersequência estratigráfica de segunda ordem denominada Supersequência Gondwana III, tendo sido depositada do Jurássico ao Cretáceo e deve sua denominação à cidade de Botucatu, no estado de São Paulo, Brasil, aonde aflora.

4.2.5.3. Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral, associada à ruptura do oeste do Gondwana, é composta essencialmente por basaltos, mas também por riolacitos e riólitos, (cerca de 4% da lava total e com espessura média de 400 m sobrepondo-os. Composicionalmente associados às rochas efusivas são observados diques e soleiras (*sills*), estas intrudidas nos sedimentos da bacia. Pertence a unidade geomorfológica das Cuestas Basálticas e, de acordo com Meaulo (2004), ocorre sob a forma de topos restritos e vertentes retilíneas.

Os derrames são constituídos por rochas de coloração cinza escura a negra, em geral afaníticas. Naqueles mais espessos, a zona central é maciça, microcristalina e apresenta-se fraturada por juntas de contração subverticais (disjunção colunar). Na parte superior dos derrames aparecem vesículas e amígdalas (estas parcial ou totalmente preenchidas por calcedônia, quartzo, calcita, zeólitas e nontronita), além de grandes geodos que podem ocorrer na sua parte mais profunda. A porção basal dos derrames também pode apresentar tais características, porém em espessura e abundância sensivelmente mais reduzidas.

4.2.6. Hidrogeologia regional

Regionalmente é identificada a predominância dos aquíferos Serra Geral, Botucatu e Bauru, exemplificado na Figura 10.

Figura 10 - Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.



Fonte: Mancuso (2005).

4.2.6.1. Aquífero Bauru

O Sistema Aquífero Bauru representa uma das principais fontes de exploração de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Entre os 462 municípios paulistas que são abastecidos, parcial ou integralmente, por água subterrânea, aproximadamente 59% captam água do Sistema Aquífero Bauru, sendo que, em 88% deles, o abastecimento é feito exclusivamente por água subterrânea (CETESB, 1997).

O sistema aquífero Bauru caracteriza-se como uma unidade hidrogeológica sedimentar, permeável por porosidade granular, destacando-se pela sua extensa área de afloramento no Estado de São Paulo. Estudos realizados pelo DAEE (1976) nas regiões administrativas de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba, indicam que a espessura saturada do aquífero variável entre 100 e 150 m, condicionada pela morfologia da superfície e pelo substrato rochoso, representado pelos basaltos da Formação Serra Geral.

O Aquífero Bauru é considerado moderadamente permeável, devido ao teor relativamente elevado de material argiloso e siltoso, esse comportamento genético do material rochoso condiciona as baixas vazões dos poços localizados nessa unidade hidrogeológica.

As águas do Aquífero Bauru são, de modo geral, bicarbonatadas, fracamente salinas, com condutividade elétrica inferior a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resíduo seco a 180°C inferior a 250 mg/L e sulfato inferior a 10 mg/L na maioria das amostras, com pH variando de 5,4 a 9,7. No extremo

oeste do Estado ocorrem águas bicarbonatadas sódicas (DAEE et al., 2005).

4.2.6.2. Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani, constituído pelas formações Botucatu e Piramboia, é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo. Está localizado na região centro-leste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude sul e entre 47° e 65° de longitude oeste e ocupa uma área de 1,2 milhões de Km², estendendo-se pelo Brasil (840.000 Km²), Paraguai (58.500 Km²), Uruguai (58.500 Km²) e Argentina (255.000 Km²). O Aquífero Guarani pode alcançar espessura de até 450 metros nas áreas centrais da Bacia, espessura bastante variada tanto pelo fato de seu contato superior não ter uma superfície regular, quanto por apresentar frequentemente contatos com os basaltos da formação Serra Geral.

A recarga do aquífero está limitada a áreas de drenagem de zonas de fissuras dos basaltos locais situados no interior da bacia. A água infiltrada para o aquífero apresenta um fluxo geral para Oeste e para os basaltos localizados na área imediatamente superior. Entretanto, a maior parte do escoamento subterrâneo é drenada para os rios como escoamento básico, ainda na área de recarga. As águas deste aquífero são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e apresentam temperaturas de 22 a 27°C, pH de 5,4 a 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/L, na área aflorante. Na área confinada, a temperatura varia de 22 a 59,7°C, o pH de 6,3 a 9,8 e a salinidade de 50 a 500 mg/L. Os valores de temperatura, pH, salinidade, e de íons cloreto, sulfato e sódio aumentam no sentido do confinamento (DAEE et al., 2005).

4.2.6.3. Aquífero Serra Geral

Com característica fissural, o Sistema Aquífero Serra Geral se desenvolve ao longo das fraturas e discontinuidades, compreendendo zonas vesiculares e amigdaloidais de topo de derrame e disjunção horizontal.

A recarga principal ocorre a partir da pluviometria, principalmente em zonas de manto de alteração pouco desenvolvido, além de mecanismos de recarga ascendentes.

A profundidade média dos poços é de 132,00 metros, e a vazão média destes poços está em torno de 23 m³/h (ANA, 2003).

Em geral as águas são de excelente qualidade, com resíduos secos raramente superior a 50 mg/L, pH ácido e composição química bicarbonatada cálcica com Ca>Mg>Na (Lisboa &

Menegotto, 1997).

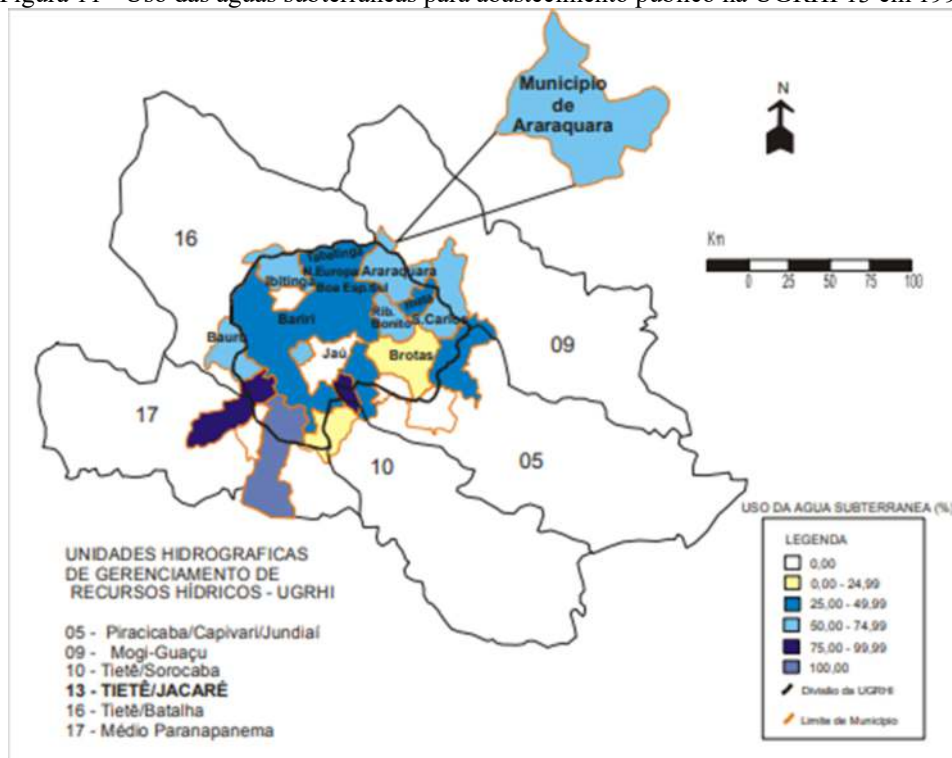
4.2.7. Hidrografia

A área de estudo está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Jacaré – UGRHI 13 e, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2000), engloba três rios principais, o Rio Tietê (em um total de 150 km da barragem de Barra Bonita até a barragem de Ibitinga), o Rio Jacaré-Guaçu e o Rio Jacaré-Pepira e seus tributários. A bacia está dividida em 6 sub-bacias e possui uma área de drenagem de 11.803,87 km².

Segundo o Plano Diretor de Educação Ambiental do Tietê-Jacaré as atividades econômicas exercidas na área são as mais diversas possíveis, o que faz com que a área seja classificada como “em industrialização”, mas o ponto comum é que todas as regiões da UGRHI 13 apresentam usinas de canas de açúcar e etanol, o que faz com aproximadamente 11% da produção nacional de cana seja advinda dessa região.

Quanto à qualidade das águas, as subterrâneas apresentam sérios problemas por conta da superexploração e indução de águas contaminadas, de acordo com as atividades desenvolvidas na superfície, A Figura 11 apresenta o uso das águas subterrâneas para abastecimento público por região da UGRHI 13 em 1997. Quanto aos recursos hídricos, recebem cargas poluidoras de origem domiciliar, efluentes industriais, resíduos sólidos domiciliares, industriais, de serviço de saúde e agrícolas (SIGRHI, 2015).

Figura 11 - Uso das águas subterrâneas para abastecimento público na UGRHI 13 em 1997



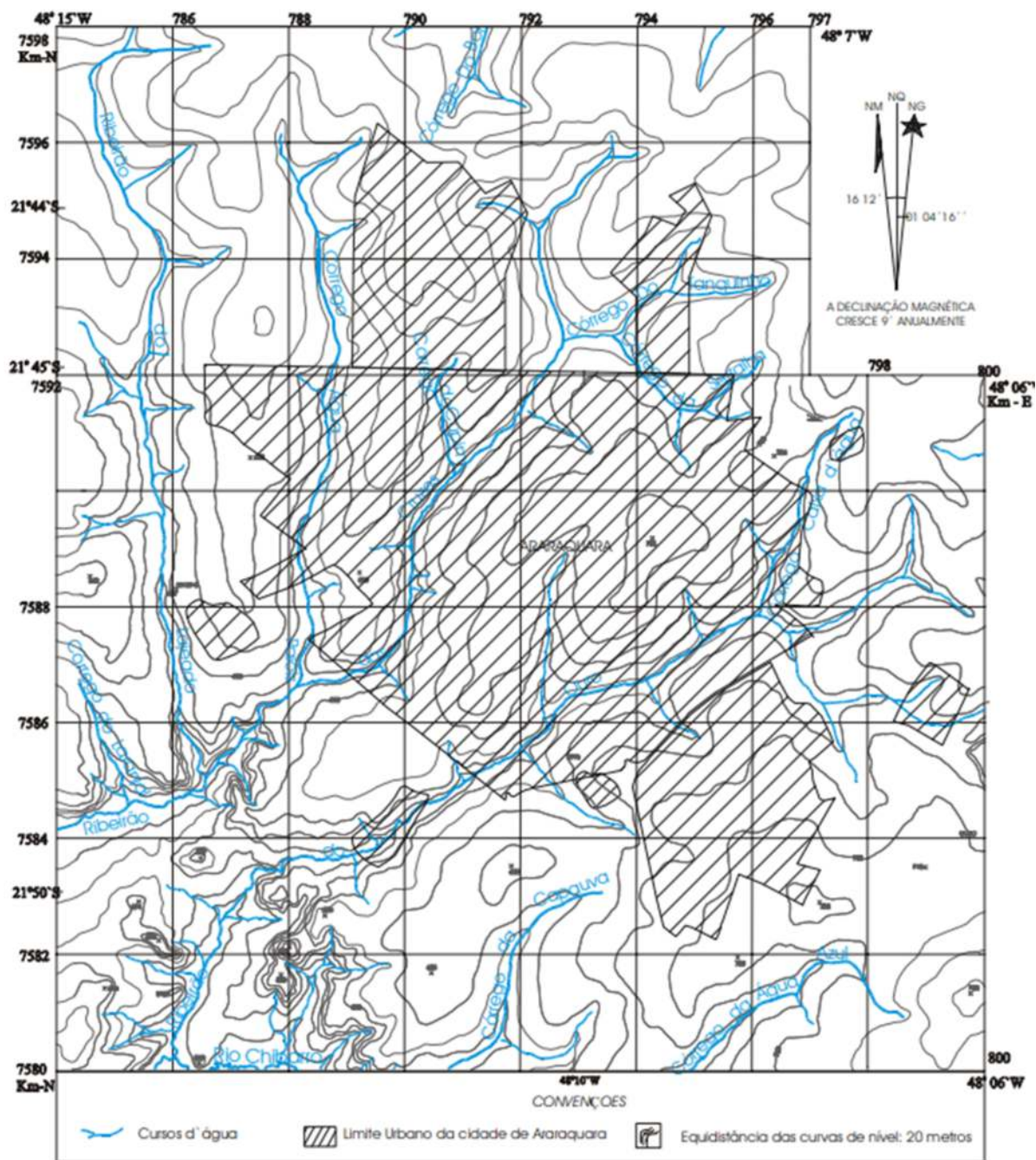
Fonte: Meaulo (2004) *apud* CETESB(1998)

O sistema de drenagem da área é composto pelos ribeirões e córregos:

- a) Córregos: Laranjal, Capaúva, Tanquinho, Serralha, Caixa d'água, Água Azul, Cupim e Boi;
- b) Ribeirões: Lajeado, Águas dos Paióis, das Cruzes.

Meaulo (2004) cita que o padrão de drenagem é reflexo da divisão geomorfológica e estrutural da área e, conclui que as drenagens citadas, com exceção do Córrego da Serralha, são tributárias do Rio Chibarro, e que 50% do abastecimento público de água superficial do município é composto por três sistemas de captações: Captação Ribeirão das Cruzes, Captação Ribeirão Águas dos Paióis e Captação Ribeirão das Anhumas (DAAE, 2001). O mapa hidrográfico da zona urbana de Araraquara é exibido na Figura 12.

Figura 12 - Mapa hidrográfico da zona urbana de Araraquara. Escala 1:50.000.



Fonte: Meaulo (2004)

4.3. Caracterização do empreendimento

O Prisma Auto Posto Ltda. localiza-se na Avenida Francisco Carlos Merlos, nº 2400, município de Araraquara – SP. (coordenadas UT M 22 K 7.584.656 S e 793.839 E, elevação 665 metros). A Figura 13 ilustra a carta topográfica da região sul de Araraquara, com destaque para o empreendimento e a Figura 14 apresenta a imagem de satélite no detalhe.

4.4. Uso e ocupação da área

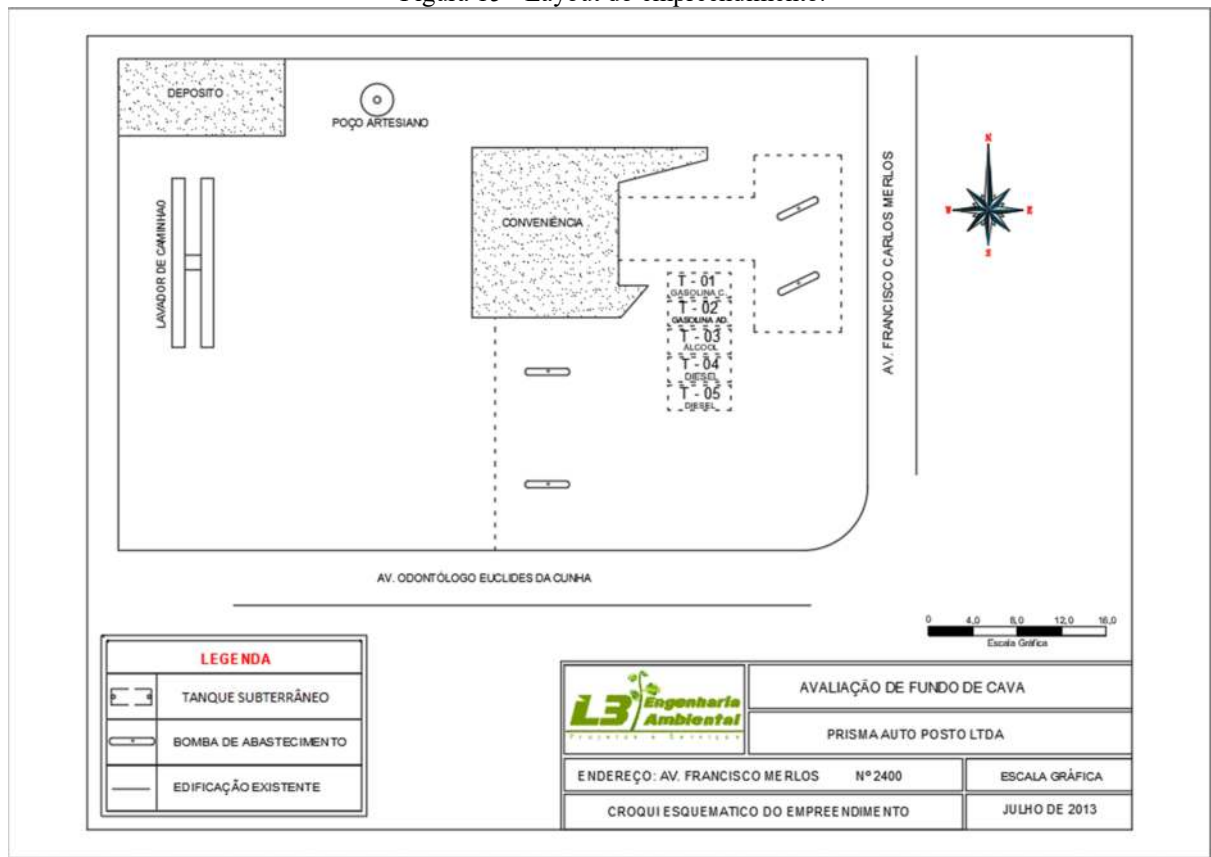
O Prisma Auto Posto Ltda. possui 5 tanques de combustível de aço carbono pleno que apresentam capacidade de armazenamento de 15.000 litros, sendo:

- a) 01 tanque (s) de gasolina comum;
- b) 01 tanque (s) de gasolina aditivada;
- c) 01 tanque (s) de etanol;
- d) 02 tanque (s) de diesel.

Além disto, conta com 4 bombas de abastecimento duplas distribuídas em 03 ilhas de abastecimento. O volume mensal de combustíveis comercializado pelo estabelecimento é de 250.000 litros de combustíveis.

De acordo com levantamento de uso e ocupação em raio de 200 metros, realizado pela empresa Plangeo em estudo anterior, o entorno da área de estudo é caracterizado pela ocupação mista, logo foi classificada como de Classe 3 de acordo com a norma NBR ABNT 13.786/2005, isto é, com edificações em cota inferior à do solo contaminado em um perímetro de 100 metros. Os estabelecimentos do entorno são representados por indústrias, prestação de serviços, comércio e residências, sendo que as residências mais próximas se encontram em 128 e 175 m de distância. O entorno da área de estudo conta também com rede de drenagem de águas pluviais e outras redes subterrâneas de serviços (esgoto e telefone). Não foram detectados corpos de águas superficiais no raio de avaliação. O layout da área se encontra na Figura 15 a seguir:

Figura 15 - Layout do empreendimento.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental

4.5. Caracterização geológica e hidrogeológica da área local

4.5.1. Levantamento de dados locais

Ao longo de sua pesquisa, Meaulo (2004) realizou um trabalho de campo abrangendo toda a zona urbana e parte da zona rural de Araraquara, em que coletou amostras de solo de diversos afloramentos com o intuito de construir um mapa geológico regional. Algumas dessas descrições realizadas pelo autor foram utilizadas neste relatório para melhor compreensão da geologia local e podem ser acompanhadas na Tabela 3, além disso, a Figura 16 traz o mapeamento desses pontos na área de estudo.

Tabela 3 - Descrição geológica dos afloramentos.

Ponto	Coordenadas			Local	Descrição do Ponto
	Km E	Km N	Cota m		
60	793,428	7583,168	660	SP-310, km 269, nascente do Córrego Capauva.	Solo vermelho oriundo da alteração dos sedimentos silto-arenosos da Formação Adamantina.
62	794,296	7582,634	692	SP-310, Km 268, Posto de Abastecimento Morada do Sol.	Solo vermelho de alteração dos sedimentos da Fm Adamantina.
78	793,000	7584,960	643	Sítio Guinzep, SP-255, Km 82.	Solo vermelho, silto-arenoso, estrutura blocosa a prismática, oriundo da alteração residual dos sedimentos da Fm. Adamantina.
80	794,345	7585,583	661	Trevo de acesso para o Bairro Cruzeiro do Sul com SP-255.	Solo vermelho estruturado, silto-arenoso, matriz argilosa, corresponde à alteração residual dos sedimentos da Fm. Adamantina.

Adaptado de Meaulo (2004).

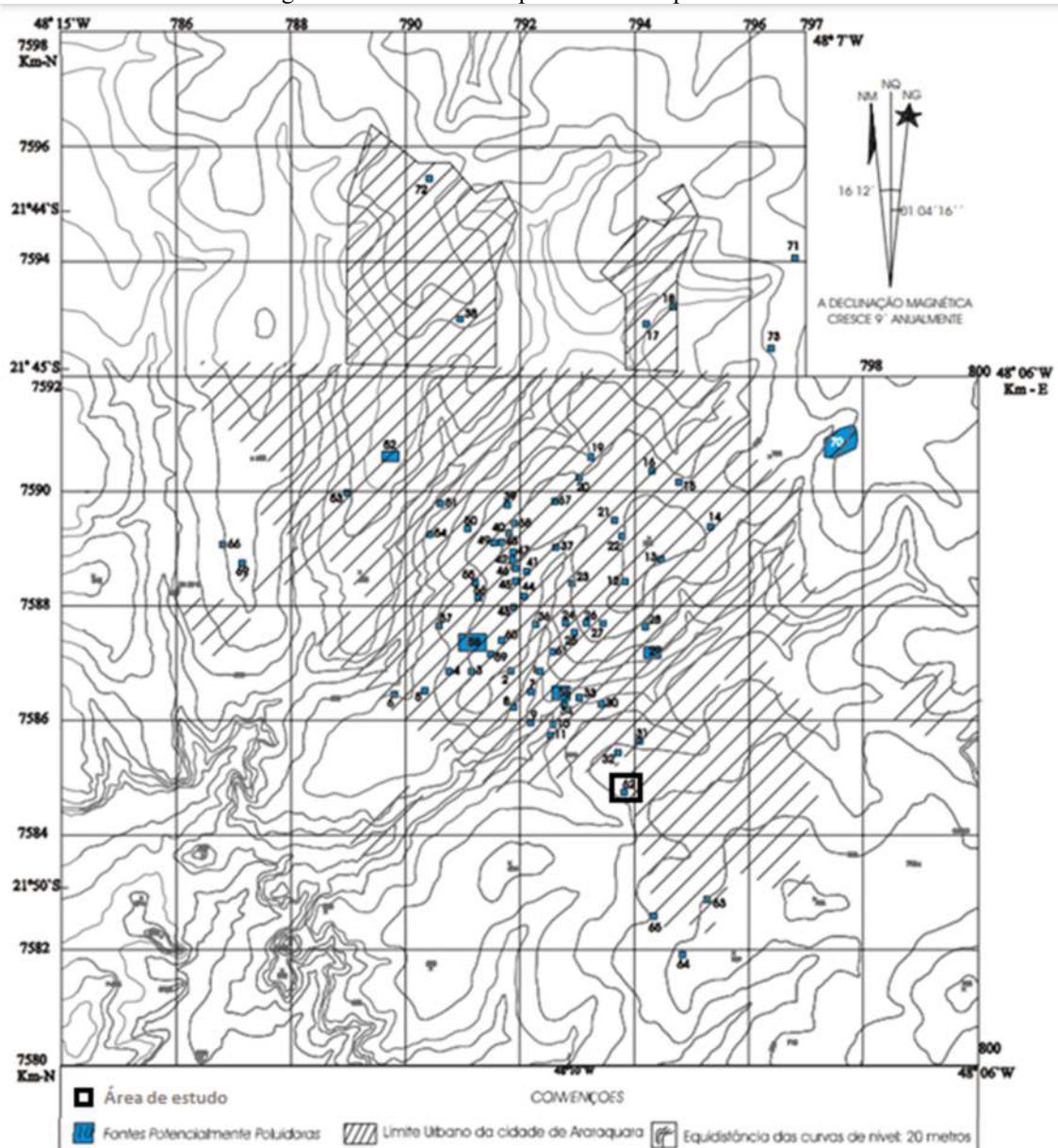
Figura 16 - Mapeamento dos afloramentos na área de estudo.



Fonte: Google Earth.

Meaulo (2004) objetivava identificar a vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos da região de Araraquara (SP) e com base no registro de áreas contaminadas da CETESB entre 2002 e 2003, mapeou os potenciais empreendimentos poluidores na carta topográfica do município (Figura 17). De acordo com o autor, em 2004 o estudo de caso desta pesquisa já era uma potencial fonte poluidora, como seguem as coordenadas (Tabela 4). À época, o empreendimento era denominado como Auto Posto Rolex.

Figura 17 - Potenciais empreendimentos poluidores em 2004.



Fonte: Meaulo (2004).

Tabela 4 - Localização do Auto Posto Rolex.

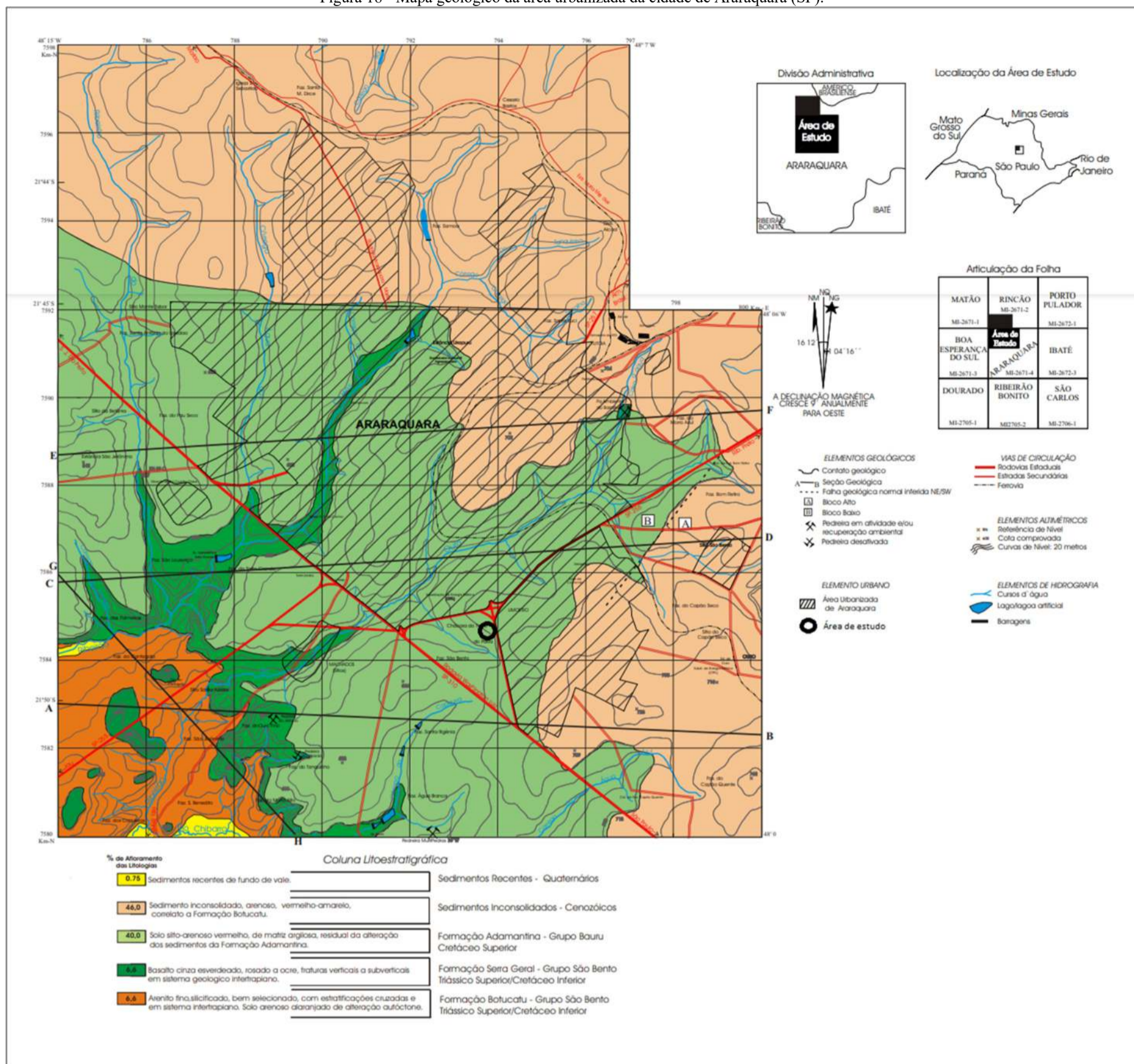
pontos	Coordenadas			Nome do Empreendimento
	Km E	Km N	Cota m	
62	793,8	7584,6	654	Posto Rolex

Fonte: Meaulo (2004).

A área de estudo está inserida nos domínios dos materiais geológicos da Formação Adamantina, de acordo com o mapa geológico (Figura 18) elaborado por Meaulo (2004), que são predominantemente constituídos por um pacote de materiais inconsolidados residuais silto arenosos assentados sobre siltitos e arenitos cimentados com finos. Esses materiais

apresentam valores de condutividade hidráulica altos em superfície e, que diminuem progressivamente com a profundidade até valores muito baixos no domínio do maciço rochoso.

Figura 18 - Mapa geológico da área urbanizada da cidade de Araraquara (SP).

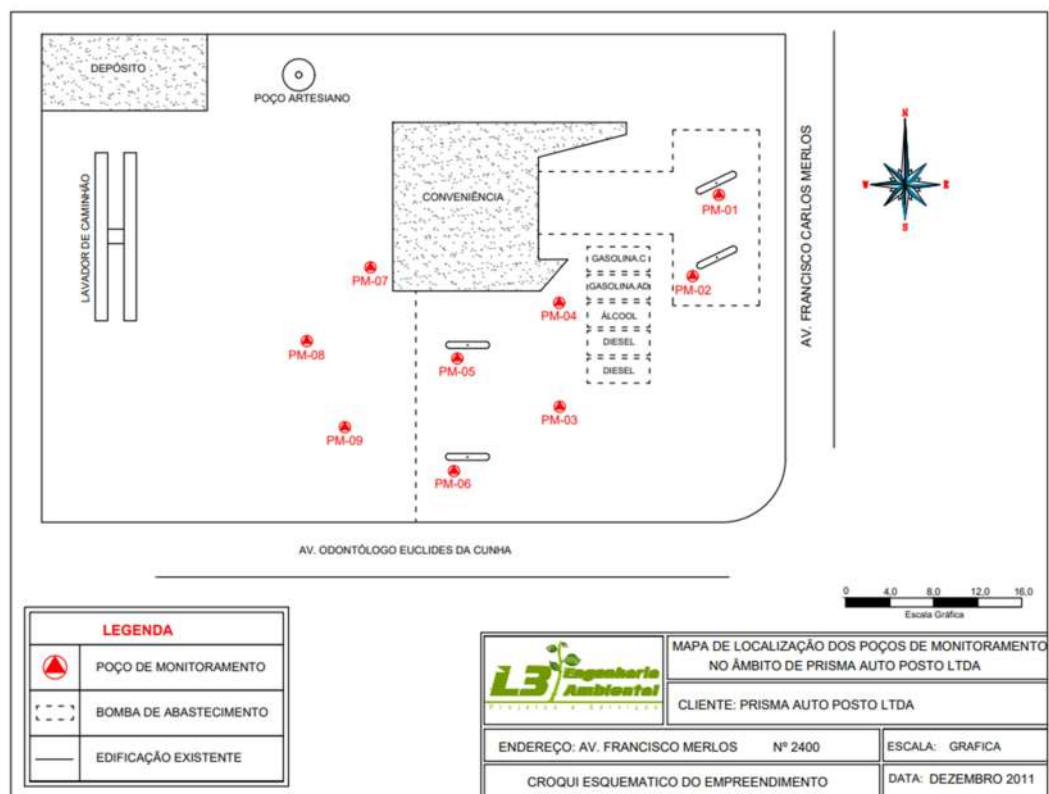


Fonte: Meaulo (2004).

4.5.2. Investigação geológica e hidrogeológica no empreendimento

Entre os dias 22 a 23 de março de 2012, a empresa L3 Engenharia Ambiental realizou 4 sondagens, instalando os poços 6,7,8 e 9, sendo que os poços 1, 2, 3 e 4 já haviam sido instalados previamente pela empresa Plangeo. A Figura 19 ilustra a localização das sondagens e dos poços de monitoramento.

Figura 19 - Mapa de localização dos poços de monitoramento e sondagens.

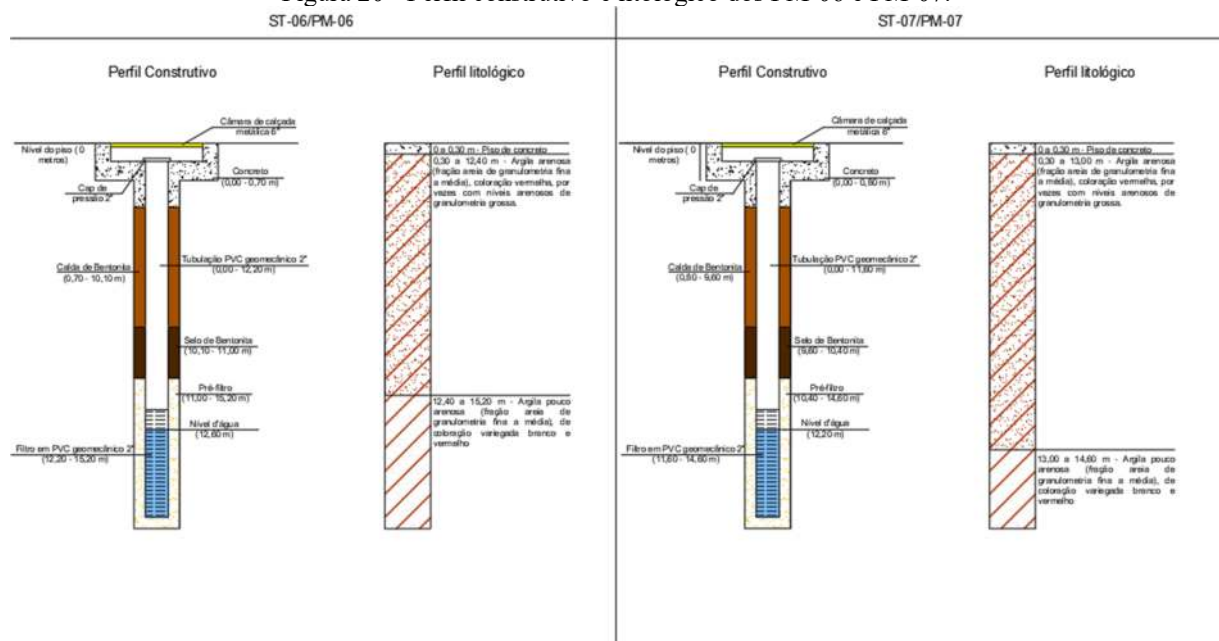


Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

De acordo com a L3 Engenharia Ambiental, todas as sondagens foram executadas por trado rotativo mecanizado com diâmetro de 5" (cinco polegadas). Para instalações dos poços de monitoramento, as sondagens foram revestidas por tubulação em PVC geomecânico de 2" (duas polegadas) de diâmetro. O espaço anelar entre o furo de sondagem e o revestimento foi preenchido por pré-filtro selecionado, composto de areia lavada com granulometria variando de 1,0 mm a 2,0 mm, até aproximadamente 1,00 metro acima do início dos filtros. Foi realizado um selo de bentonita com aproximadamente 1,00 metro de espessura. O espaço anelar restante (da camada de bentonita até aproximadamente 0,60 m de profundidade),

quando existente, foi preenchido com calda de bentonita. A proteção da boca dos poços foi efetuada por meio de cap expansivo (gripper) de 2” (duas polegadas) e o acabamento realizado com selo sanitário composto por calda de cimento e câmara de calçada de 6” (seis polegadas) de diâmetro, posicionada no nível do pavimento. Os procedimentos descritos anteriormente basearam-se nos estabelecidos por meio da Norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) “NBR 15.495-1 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção e a NBR 15.492 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental”. A Figura 20 ilustra o perfil de dois dos poços de monitoramento.

Figura 20 - Perfil construtivo e litológico dos PM-06 e PM-07.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

O modelo estratigráfico conceitual da área avaliada foi elaborado pela empresa com base nos perfis litológicos das sondagens de investigação, sendo identificadas duas unidades litológicas, abaixo do pavimento, sendo argila pouco arenosa a arenosa, de coloração vermelha e argila pouco arenosa, de coloração vermelha e branca;

Ressalta-se que foram identificados níveis com cascalho, e intercalações de níveis mais argilosos e mais arenosos. Na Tabela 5 estão descritos os resultados de caracterização dos solos.

Tabela 5 - Resultados das análises físico-químicas nas amostras de solo deformadas e indeformadas.

Amostra	Granulometria			pH (-)	Matéria orgânica (%)
	Argila	Silte	Areia		
PM-06 / 2,00 m	35,6	8,9	55,5	6,00	1,40
PM-06 / 12,00 m	34,7	8,6	56,7	5,90	1,40

Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

A Tabela 6 apresenta um sumário dos dados coletados nos poços de monitoramento em 13 de maio de 2012, pela L3 Engenharia Ambiental durante a purga dos poços de monitoramento.

Tabela 6 - Nível d'água, cotas planialtimétricas e cargas hidráulicas obtidas nos poços de monitoramento.

Poços de monitoramento	Nível d'água (metros)	Fase livre (metros)	Cota topográfica (metros)	Carga hidráulica (metros)
PM-01	13,28	NI	100,00	86,72
PM-02	13,14	NI	99,74	86,60
PM-03	12,86	NI	99,00	86,14
PM-04	12,96	NI	99,17	86,21
PM-05	12,90	0,05	98,92	85,92
PM-06	12,78	NI	98,53	85,75
PM-07	12,32	NI	97,84	85,52
PM-08	12,46	NI	97,89	85,43
PM-09	12,81	NI	98,65	85,84

NI - Não Identificada

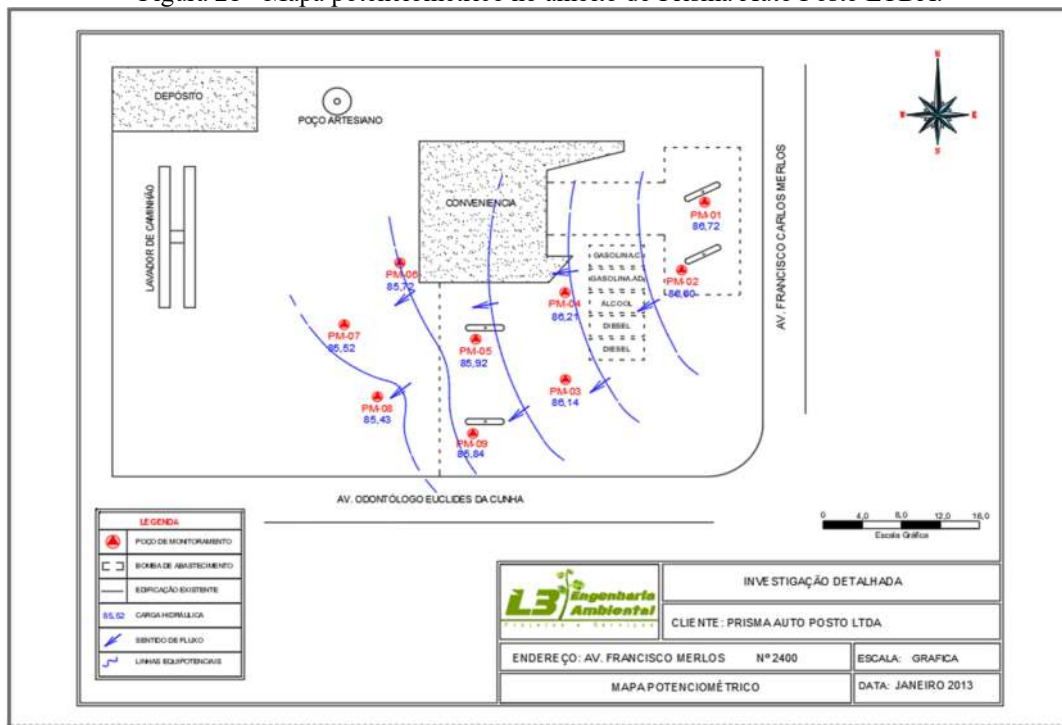
Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

O aquífero livre local apresenta profundidade do nível d'água oscilando entre 12,32 e 13,28 metros. Os poços de monitoramento não apresentaram indícios visuais de contaminação por produto em fase livre, com exceção do poço PM-05 que apresentou 0,05 m de fase livre.

A partir das informações apresentadas na Tabela 6, foi elaborado, pela L3 Engenharia Ambiental, o mapa de potenciometria local para área de interesse, e que é apresentando na Figura 21.

O mapa de potenciometria local demonstra que o fluxo da água subterrânea na área do Prisma Auto Posto LTDA. apresenta fluxo preferencial no sentido NE-SO (nordeste para sudoeste), com inflexões para sul e para oeste.

Figura 21 - Mapa potenciométrico no âmbito do Prisma Auto Posto LTDA.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

Para o cálculo da velocidade do fluxo subterrâneo na área de interesse, os trabalhos exercidos pela L3 contemplaram o cálculo do gradiente hidráulico a partir do posicionamento das linhas equipotenciais apresentadas no mapa de potencimetria local da Figura 21. Para o gradiente hidráulico obteve-se o valor de 0,0394 (entre os poços PM-02 e PM-05). Também foi realizado um ensaio *in situ* para a obtenção do coeficiente de condutividade hidráulica (K). Este ensaio, denominado *slug test*, foi realizado nos poços PM-04 e PM-09, apresentando resultado de $1,72 \times 10^{-3}$ cm/s e $2,19 \times 10^{-3}$ cm/s, respectivamente, com média de $1,955 \times 10^{-3}$ cm/s. O teste, desenvolvido por Hvorslev (1951) e descrito em Oliveira (1992), baseia-se no tempo de recuperação do nível de água de um determinado poço após uma variação instantânea induzida.

Os valores obtidos foram anotados e plotados pela empresa posteriormente em *software* para cálculo da condutividade hidráulica. Para a determinação da condutividade hidráulica assumiu-se que o aquífero é homogêneo e isotrópico.

De acordo com as análises físicas realizadas pela empresa, a porosidade efetiva de uma amostra indeformada de solo coletada foi definida em 5,0 %, levando em consideração os dados acima mencionados, calculou-se a velocidade linear de fluxo da água subterrânea utilizando-se a equação abaixo (Equação 1):

$$V = \frac{K \times i}{\eta_e} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

V - Velocidade linear de fluxo da água subterrânea [L/T];

K - Condutividade hidráulica [L/T];

i - Gradiente hidráulico [L/L];

Ne - Porosidade efetiva para fluxo [L³/L³];

A partir destes resultados, levando em consideração os parâmetros conservadores, assumidos pela empresa (meio homogêneo, isotrópico e fluido incompressível) e utilizando-se a equação descrita acima, a velocidade linear para a água subterrânea no local foi calculada em 485,82 m/ano.

4.6. Investigação detalhada da contaminação

4.6.1. Medição dos teores de VOC

Durante a realização das sondagens, a L3 Engenharia Ambiental coletou amostras de solo a cada metro perfurado, em todas as amostras foram realizadas as medições de teores de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC). Essas amostras foram divididas em duas alíquotas, sendo as da primeira acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis (auto-selantes) de polietileno e levadas para medições dos teores de VOC, e as da segunda mantidas nos frascos de solo de vidros, identificadas e armazenadas em cooler com gelo, a uma temperatura inferior a 4°C.

As medições de VOC foram realizadas pela L3 no próprio posto e objetivaram quantificar a presença de compostos orgânicos voláteis em amostras de solo, facilitando a seleção das amostras que foram encaminhadas ao laboratório para realização das análises químicas. Para execução destas medições foi utilizado um monitor portátil do tipo denominado Gastech, da Innova Systems, calibrado e que realiza medições em tempo real, apresentando as concentrações em partes por milhão (ppm). A Tabela 7 apresenta os resultados das medições de VOC nas amostras de solo e as amostras selecionadas para análises químicas:

Tabela 7 - Medição de VOC nas amostras de solo.

Sondagem	Concentrações de VOC (ppm)												
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m
PM-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-07	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
PM-08	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amostra de solo selecionada para análise;													

Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

4.6.2. Amostragem do solo

As coletas de solo, realizadas durante a investigação detalhada realizada pela L3, ocorreram apenas nos PM-06, PM-07, PM-08 e PM-09 e foram acondicionadas em frasco fornecidos pelo laboratório, durante as sondagem realizada em 22 a 23 de março de 2012 por meio de equipamento rotativo, com diâmetro de 5" (cinco polegadas), conforme a direciona DD 038/2009 da CETESB.

A ferramenta de amostragem foi higienizada entre a realização das sondagens e as amostragens e as amostras de solo foram enviadas para análise laboratorial.

4.6.3. Amostragem de água subterrânea

A coleta das amostras de água subterrânea foi dividida em duas etapas. A primeira envolveu o esgotamento dos poços de monitoramento por bombeamento executado 24 horas antes das amostragens (13 e 14 de maio de 2012). A segunda parte consistiu da amostragem propriamente dita (14 e 15 de maio de 2012), que foi executada utilizando-se bailers descartáveis, introduzidos lentamente nos poços de forma a minimizar a turbulência da água no momento da coleta. A passagem da água para os frascos, adequados a cada classe de parâmetros, foi executada diretamente a partir dos bailers, igualmente de modo lento (aproximadamente 100 mL/min).

Entre a purga e a amostragem de cada poço de monitoramento foi substituída a linha utilizada para sustentação dos bailers, como também as luvas de látex para procedimento, utilizadas para evitar a contaminação entre uma amostragem e outra.

As amostragens realizadas pela empresa ocorreram nos poços de monitoramento PM-01 ao PM-12, com exceção do poço PM-05 que apresentou fase livre de óleo sobrenadante em seu interior. Também foi coletada água do poço artesiano para análise (PT-01). As amostras foram enviadas para também para análise laboratorial.

4.7. Avaliação dos resultados

Os resultados das análises químicas dos parâmetros determinados nas amostras de solo e água subterrânea foram comparados Valores Orientadores estabelecidos pela CETESB (2009). O valor de intervenção é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico.

Para as amostras de solo, foi considerado o valor para áreas residenciais, uma vez que o posto encontra-se em área de ocupação mista.

4.7.1. Resultados analíticos das amostras de solo

Os resultados das amostras de solo indicaram que não havia contaminação em solo, uma vez que não foram obtidas concentrações superiores aos limites de detecção analíticos laboratoriais para todos os parâmetros químicos analisados, BTEX, Etanol e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados analíticos das amostras de solo coletadas no Prisma Auto Posto.

Parâmetros		Sondagem / Profundidade de coleta (mg/Kg)								Valores de Intervenção* (mg/Kg)
		PM-06		PM-07		PM-08		PM-09		
		2,00 m	13,00 m	6,00 m	13,00 m	4,00 m	13,00 m	2,00 m	13,00 m	
BTEX	Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,08
	Tolueno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	30
	Etilbenzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	40
	Xilenos Totais	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	30
PAH	Naftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	60
	Acenaftileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fluoreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fenantreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	40
	Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20
	Criseno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(b)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,5
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	25
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,6	
Benzo(g,h,i)perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr	
Etanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr	

* - Valores de Intervenção para solos em áreas residenciais estabelecidos pela CETESB (2009);
nr – não regulamentado; nd - não detectado;

Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

4.7.2. Resultados analíticos em amostras de água subterrânea

A Tabela 9 apresenta as concentrações de BTEX, Etanol, PAH e TPH total obtidas a partir das análises das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento, e os seus respectivos padrões de referência ambiental utilizados para sua interpretação. Ressalta-se que o poço de monitoramento PM-05 não foi amostrado uma vez que apresentou 0,05 m de fase livre de produto sobrenadante em seu interior. De acordo com a Tabela 9, as concentrações dos compostos químicos de interesse obtidas nas amostras de água subterrânea provenientes dos poços de monitoramento instalados na área do Prisma Auto Posto Ltda. apresentaram-se inferiores aos Valores Orientadores estabelecidos pela CETESB (2009), o que indica que não há contaminação de concentração relevante pelos compostos químicos de interesse analisados na área do Prisma Auto Posto, comprovado pelos resultados analíticos.

Tabela 9 - Resultados analíticos das amostras de água subterrânea coletadas no Prisma Auto Posto.

Compostos		Poços de monitoramento (PM)									VO (2009) *
		PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09	PT-01	
BTEX	Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00
	Tolueno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	700,00
	Etilbenzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	300,00
	Xilenos totais	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	500,00
PAH	Naftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	140,00
	Acenaftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fluoreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fenantreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	140,00
	Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,75
	Criseno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(b)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,70
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,17
	Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,18
Benzo(g,h,i)perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr	
TPH Total	na	na	nd	nd	nd	nd	na	nd	nd	600,00	
Etanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr	

* - Valores Orientadores para água subterrânea estabelecidos pela CETESB (2009);
nr – não regulamentado; nd - não detectado; na - não analisado;

Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

4.8. Mapas de isoespessura de fase livre

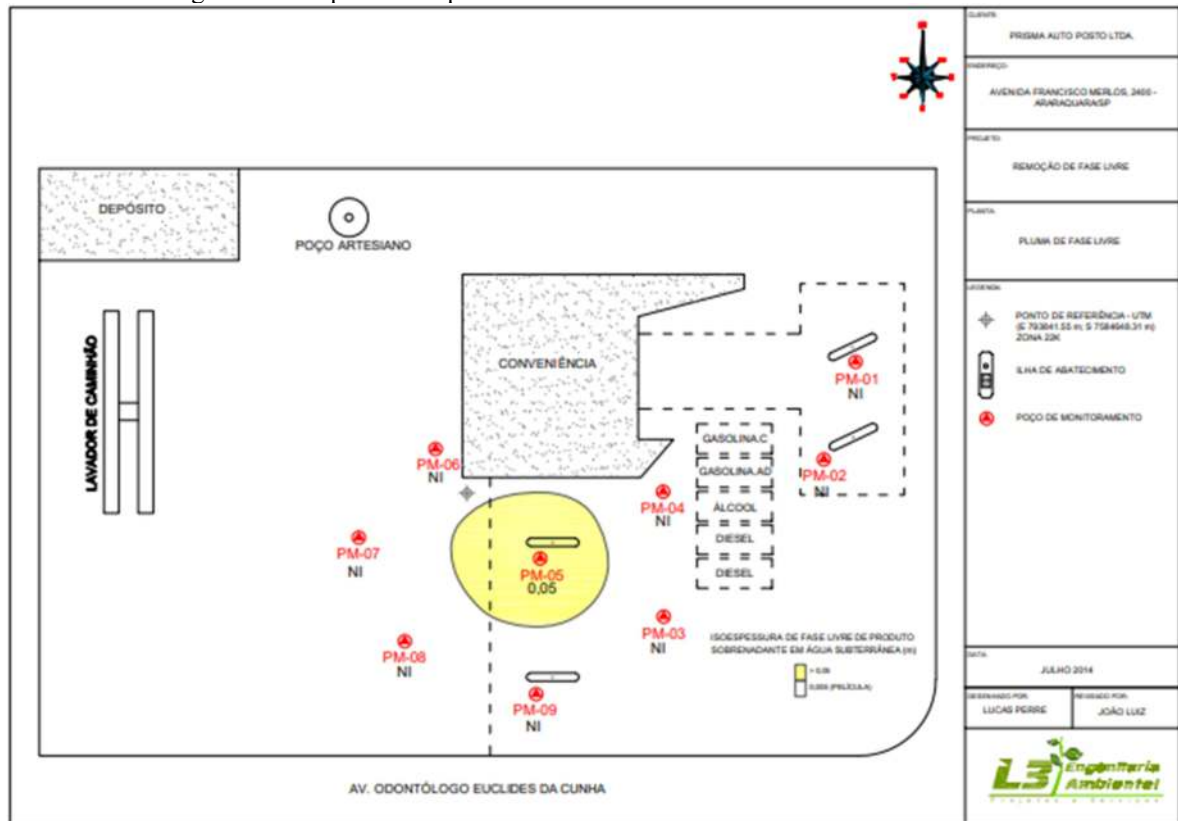
Após a avaliação dos resultados analíticos em solo e água subterrânea, notou-se que não havia contaminação em solo e em fase dissolvida na água subterrânea, e dessa forma, A L3 Engenharia Ambiental não elaborou mapas de isoconcentrações dos compostos químicos de interesse.

Em virtude de ter sido detectada a presença de fase livre de produto sobrenadante no poço PM-05 com profundidade de 0,05 metros, foi elaborado um mapa de isoespessura de fase livre no âmbito do Prisma Auto Posto Ltda. A contaminação foi delimitada pela empresa seguindo as orientações da CETESB contidas na Decisão de Diretoria nº 263/2009.

A pluma de fase livre foi delimitada verticalmente a partir de equipamento de medição

de interface óleo/água, e horizontalmente, utilizando-se a metade da distância entre um ponto de medição (poço de monitoramento) onde foi detectada a presença de fase livre e outro ponto de medição onde não foi detectada fase livre. Desta forma, estima-se que o contaminante em fase livre está restrito ao entorno do poço de monitoramento PM-05, com caráter pontual e espessura de 0,05 metros, conforme Figura 22:

Figura 22 - Mapa de isoespessura de fase livre no âmbito do Prisma Auto Posto.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

4.9. Avaliação dos riscos

A análise dos riscos existentes e a avaliação da necessidade de medidas de intervenção, de autoria da L3 Engenharia Ambiental, foram realizadas a partir da comparação dos resultados analíticos obtidos durante a investigação detalhada com os valores estabelecidos pela CETESB na Decisão de Diretoria nº 263/2009/P. Não foram considerados os cenários referentes ao solo em virtude da ausência de contaminação em solo, no entanto, como foi encontrada a presença de hidrocarboneto em fase livre nas águas subterrâneas, foi preenchido o quadro de intervenção e elaborados mapas de risco de todas as SQIs analisadas (BTEX e PAH). Na Tabela 10 estão descritos os quadros comparativos SQIS X

CMAS/PLAS. (Concentrações Máximas Aceitáveis/Padrões Legais Aplicáveis) A comparação entre os resultados obtidos no monitoramento, nas análises químicas das amostras de solo e água subterrânea coletadas na área de estudo com os CMAS/PLAS indicou a existência de risco para os seguintes cenários:

- Ingestão de água subterrânea para receptores caracterizados como residentes e comerciantes;
- Inalação de vapores em ambientes abertos e fechados provenientes da água subterrânea por residentes e comerciantes;

Tabela 10 - Quadro comparativo SQIS x CMAS/PLAS.

QUADRO COMPARATIVO SQIS x CMAS/PLAS		
Cenários de exposição	Receptor Comercial	Receptor Residencial
Solo superficial	SQIs com concentração > CMA-POE	SQIs com concentração > CMA-POE
Ingestão	-	-
Inalação de partículas	-	-
Inalação de vapores à partir do solo superficial	-	-
Contato dérmico	-	-
Solo subsuperficial	SQIs com concentração > CMA-POE	SQIs com concentração > CMA-POE
Inalação de vapores em ambientes abertos	-	-
Inalação de vapores em ambientes fechados	-	-
Água subterrânea	SQIs com concentração > CMA-POE	SQIs com concentração > CMA-POE
Inalação de vapores em ambientes abertos	BTEX e PAH (FASE LIVRE)	BTEX e PAH (FASE LIVRE)
Inalação de vapores em ambientes fechados	BTEX e PAH (FASE LIVRE)	BTEX e PAH (FASE LIVRE)
Água subterrânea (Portaria MS 2.914/11)	SQIs com concentração > CMA-POE	SQIs com concentração > CMA-POE
Ingestão	BTEX e PAH (FASE LIVRE)	BTEX e PAH (FASE LIVRE)
Água superficial (Conama 357/2005)	SQIs com concentração > CMA-POE	SQIs com concentração > CMA-POE
Classe 1 Doce	Não aplicável	Não aplicável
Classe 2 Doce	Não aplicável	Não aplicável
Classe 3 Doce	Não aplicável	Não aplicável
Classe 1 Salina	Não aplicável	Não aplicável
Classe 2 Salina	Não aplicável	Não aplicável
Classe 3 Salina	Não aplicável	Não aplicável
Classe 1 Salobra	Não aplicável	Não aplicável
Classe 2 Salobra	Não aplicável	Não aplicável
Classe 3 Salobra	Não aplicável	Não aplicável

Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

Os limites da pluma de fase livre definidos foram utilizados para representar os limites da área onde as concentrações das substâncias químicas de interesse não identificadas em fase dissolvida superaram os valores das CMAs no ponto de exposição ou PLAs nos mapas de risco.

Ressalta-se que o risco apresentado para os cenários de ingestão de água subterrânea para receptores caracterizados como residentes e comerciantes e inalação de vapores provenientes da água subterrânea em ambientes abertos e fechados para residentes e comerciantes está associado à presença de fase livre na área. Dessa forma, foi elaborado pela

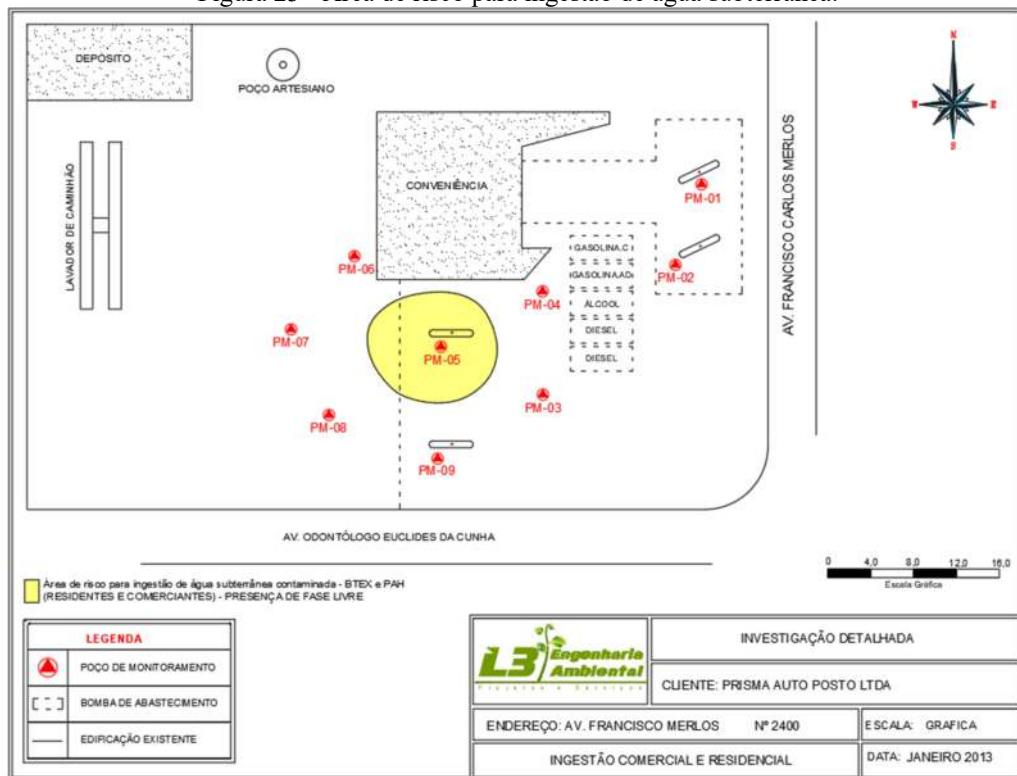
empresa, um mapa de risco associado a cada cenário (Figuras 23, 24 e 25) que reflete o risco para todos os compostos analisados (BTEX e PAH) e para os receptores avaliados.

Para os cenários de inalação de vapores provenientes da volatilidade dos contaminantes presentes em água subterrânea, a L3 Engenharia Ambiental, adicionou uma área de 10,0 metros à partir da curva de isoconcentração do contaminante no ponto de exposição, assim como direciona a DD 038/2009 da CETESB. No caso desta avaliação, utilizou-se da curva de isoespessura de fase livre por não ter sido detectada concentrações dos composto analisados em fase dissolvida superiores aos limites de detecção analíticos laboratoriais.

De acordo com os mapas de risco para os cenários de inalação de vapores provenientes do particionamento de contaminantes presentes em água subterrânea em ambientes abertos e fechados, nota-se que somente os receptores caracterizados por comerciantes encontram-se no interior da área delimitada, indicando a incidência de risco para os referidos receptores em virtude da existência de fase livre na área. Não há residentes dentro das áreas de risco delimitadas, e dessa forma, entende-se que os cenários cujos receptores são residentes não se configuram na área do Prisma Auto Posto Ltda. Os residentes mais próximos da área do Prisma Auto Posto Ltda. localizam-se à 128 metros de distância do hot spot (PM-05).

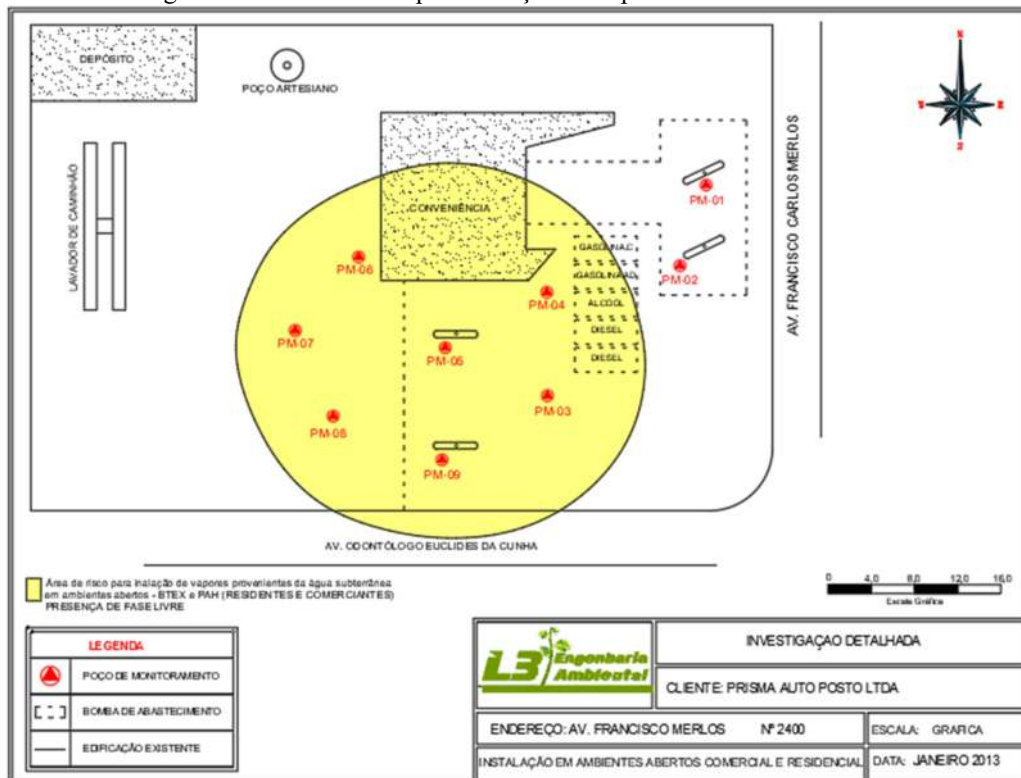
No levantamento de uso e ocupação do entorno anteriormente realizado pela empresa Plangeo (raio de 200,00 metros) foi localizado somente o poço tubular profundo pertencente ao Prisma Auto Posto LTDA. situado a 23,75 metros à montante do hot spot (PM-05). Contudo, as análises químicas indicam que não há concentrações dos compostos químicos de interesse acima dos limites de detecção analíticos laboratoriais. Dessa maneira entende-se que o cenário de ingestão de água subterrânea tanto por residentes quanto por comerciantes não se configura na área de estudo. Porém, conforme solicitação da CETESB (2009) foi indicada a necessidade de adoção de medida de controle institucional, de modo a evitar a instalação de poços de captação de água subterrânea superficial na área de risco atual.

Figura 23 - Área de risco para ingestão de água subterrânea.



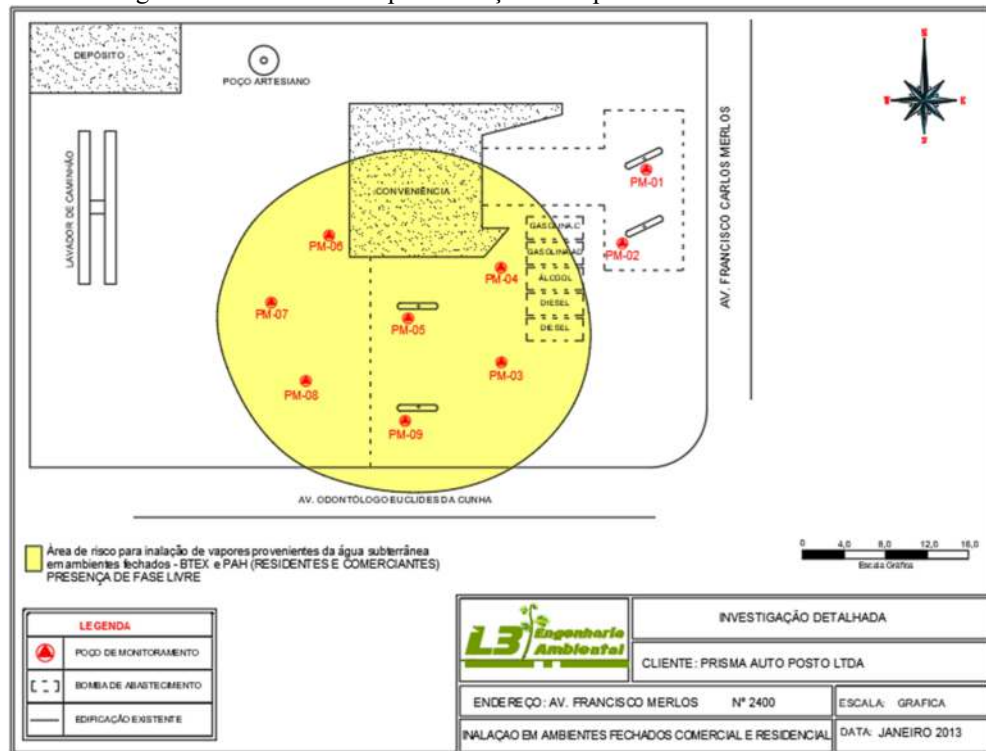
Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

Figura 24 - Área de risco para inalação de vapores em ambiente aberto.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

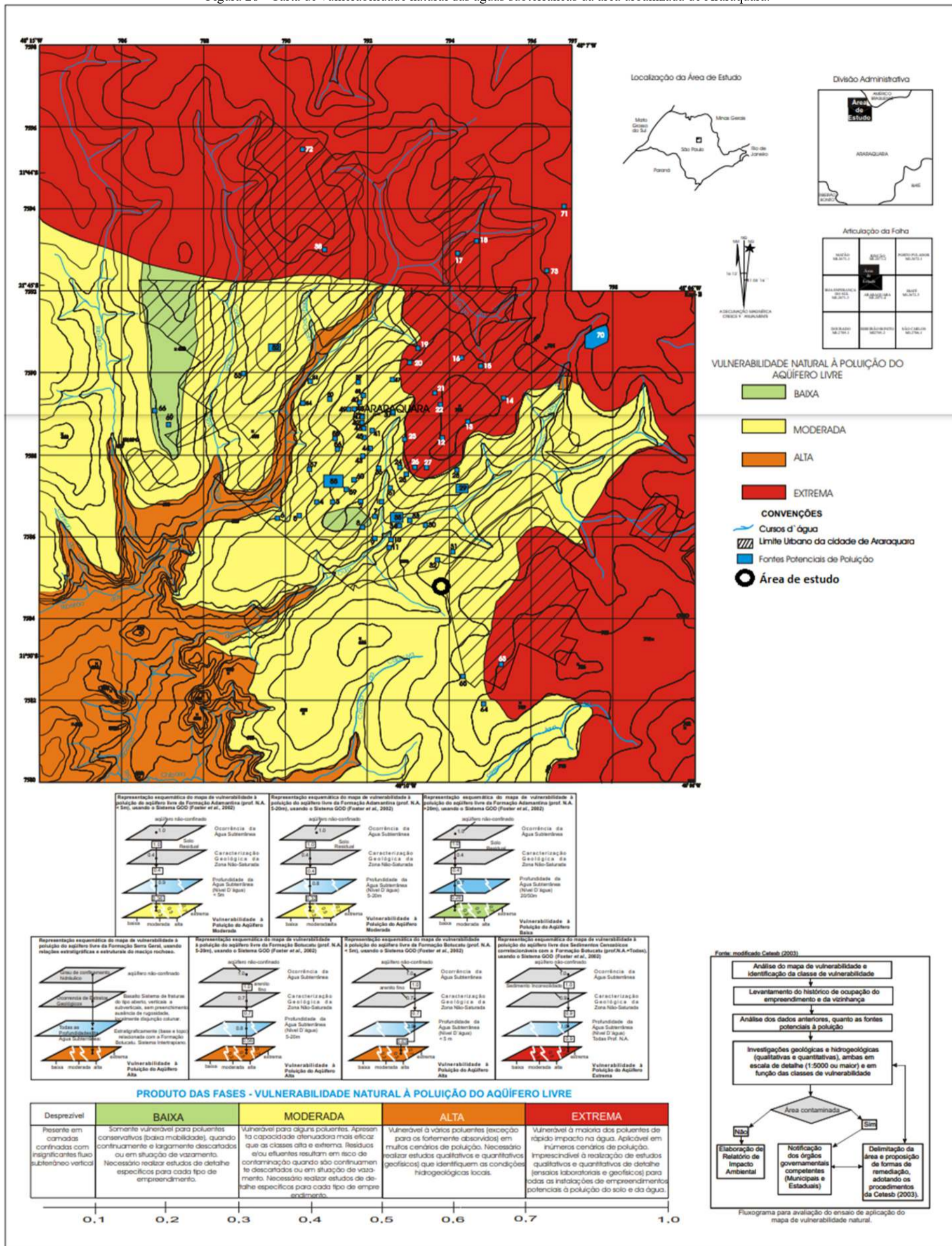
Figura 25 - Área de risco para inalação de vapores em ambiente fechado.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

Ressalta-se que a área de estudo encontra-se inserida na zona de vulnerabilidade moderada de acordo com a carta de vulnerabilidade das águas subterrâneas da área urbanizada de Araraquara (SP) elaborado por Meaulo (2004) (Figura 26). Os resultados obtidos pelos diversos procedimentos de monitoramento, até o momento propiciam validação ao documento elaborado por Meaulo (2004).

Figura 26 - Carta de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas da área urbanizada de Araraquara.



Fonte Meulo (2004).

4.10. Plano de intervenção

O presente capítulo apresenta o Plano de Intervenção elaborado para a área de estudo, com base nos resultados obtidos nos quadros de intervenção e nos mapas de risco.

O plano de intervenção elaborado para o Prisma Auto Posto LTDA. compreende a adoção de medida de remediação, medida de controle institucional e o projeto de monitoramento da qualidade ambiental da água subterrânea e é de autoria da L3 Engenharia Ambiental.

4.10.1. Medida de remediação

Para a remediação da contaminação em fase livre detectada na área impactada foi implantado um sistema baseado na tecnologia de bombeamento e tratamento (*pump and treat*).

A remediação procedeu até a eliminação da fase livre no poço PM-05 e obtenção de concentrações inferiores às concentrações máximas aceitáveis – CMA's, definidas por meio das planilhas da Decisão da Diretoria 263 (CETESB, 2009).

Para a remoção da fase livre, foi instalado um poço de bombeamento à jusante do PM-05 de acordo com o mapa de isoespessura apresentado em capítulo anterior, e foram utilizados os poços PM-05 e PM-09 como pontos de conformidade, isto é, pontos onde ocorrem a verificação do atingimento de metas propostas no plano de remediação.

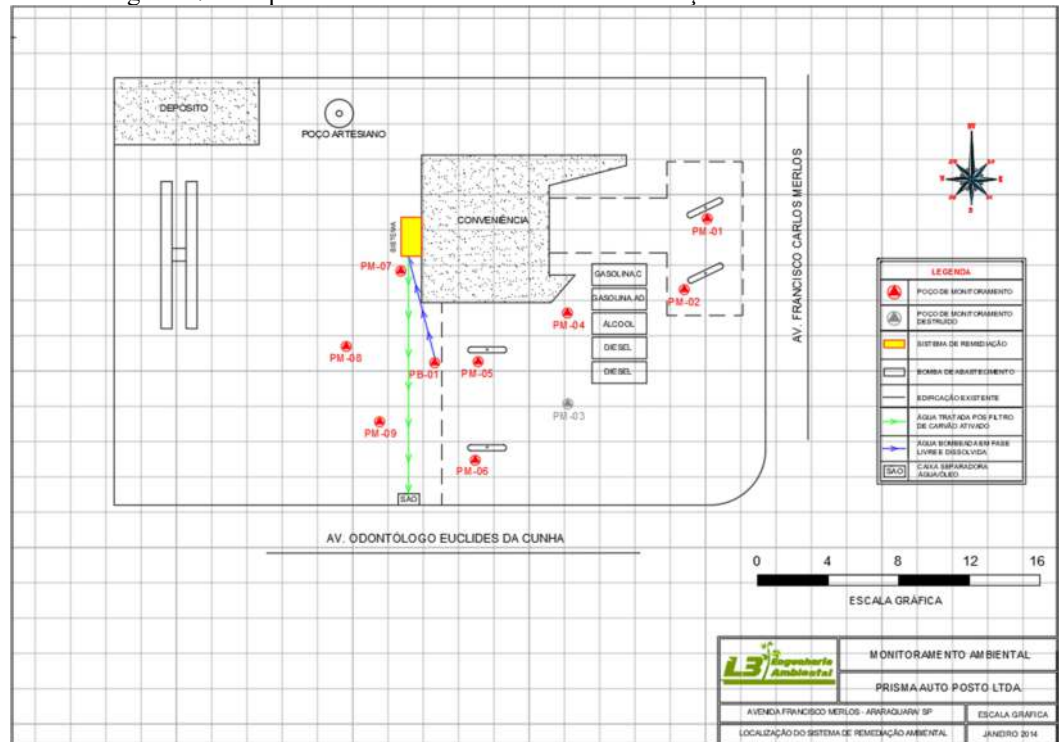
4.10.2. Remoção de fase livre

O sistema *pump and treat* realiza a remoção da fase livre em um 1 poço de bombeamento (PB-01) e foi composto por 1 bomba pneumática de 4 polegadas, 1 controladora de pressão automática, 1 galão de 60 litros para acondicionar o produto recuperado, uma caixa separadora modelo vertical e 1 unidade com filtro de carvão ativado para tratar o líquido após a saída da caixa separadora.

Toda a extração de água subterrânea no PM-05 foi destinada à uma caixa separadora de água e óleo. Após a separação o óleo sobrenadante foi armazenado em uma bombona para posterior destinação ambiental correta e o efluente foi encaminhado para o filtro de carvão

ativado e, em seguida, para seu descarte final. Na Figura 27 segue o esquema do sistema de tratamento *in situ*.

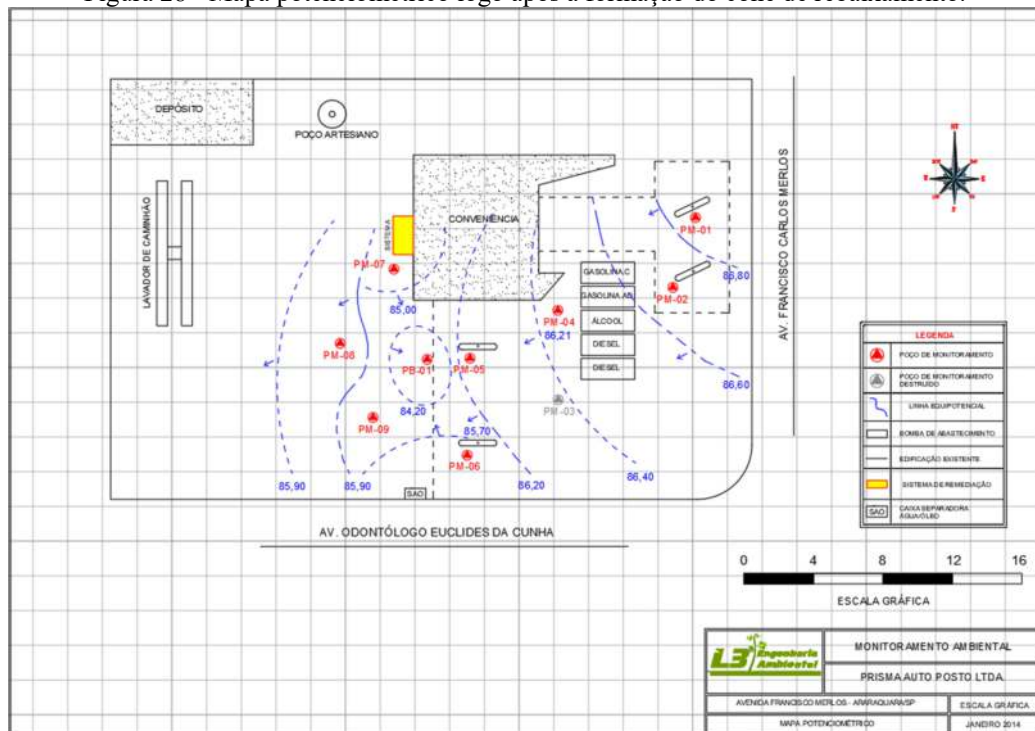
Figura 27 – Esquema detalhado do sistema de remediação no Auto Posto Prisma.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

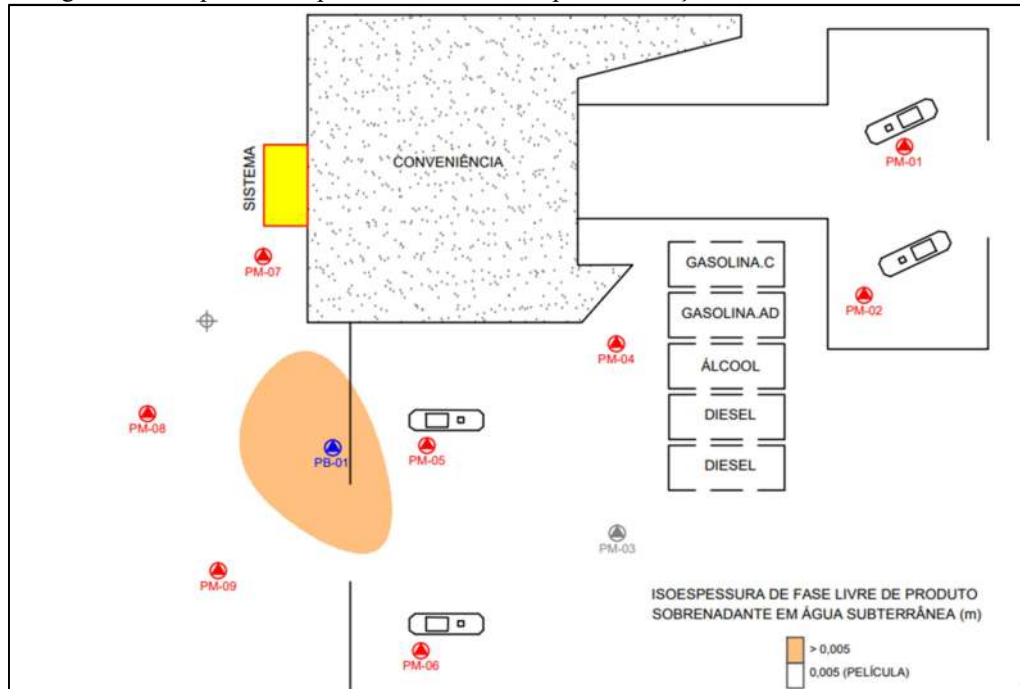
Devido ao início das operações com o sistema de bombeamento, houve a formação de um cone de rebaixamento no entorno do PB-01, movendo a pluma de contaminação para esta região e alterando o mapa potenciométrico, como seguem nas Figura 28 e 29.

Figura 28 - Mapa potenciométrico logo após a formação do cone de rebaixamento.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

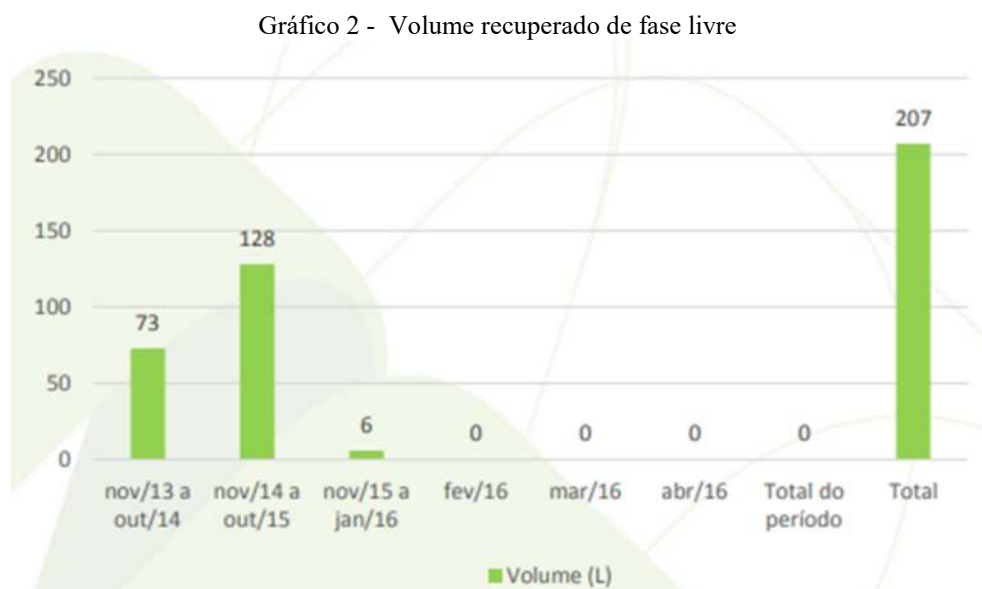
Figura 29 - Mapa de isoespessura de fase livre após a formação do cone de rebaixamento.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental.

Semanalmente, a empresa removia o óleo acumulado na caixa separadora para verificar se o sistema de bombeamento continua realizando a extração da fase livre.

O Gráfico 2, apresenta os resultados de fase livre recuperada entre novembro de 2015 e abril de 2016, data da última campanha de remoção de fase livre. Observa-se que nas últimas 3 amostragens, não havia mais poluente em fase imiscível a ser bombeado.



Fonte: L3 Engenharia Ambiental

4.10.3. Medida de controle institucional

A medida de controle institucional visa a proteção das comunidades existentes próximo à área de estudo e foi baseada no diagnóstico ambiental executado no local e foi elaborada pela L3 Engenharia Ambiental.

Ressalta-se que para o cenário de ingestão de água subterrânea, o mesmo foi considerado um cenário hipotético, uma vez que o poço tubular profundo que existe na área encontra-se à montante do poço PM-05 que apresentou fase livre e fora da área de risco definida. Salienta-se que o poço tubular profundo não apresentou concentrações dos contaminantes de interesse analisados superiores aos limites de detecção analíticos laboratoriais.

Por tratar-se de um poço tubular profundo, a captação de água subterrânea ocorre em profundidade e não no aquífero superficial onde se encontra a contaminação, pois caso este fenômeno ocorresse, haveria a inflexão do mapa potenciométrico indicando o fluxo da água subterrânea em direção ao poço tubular.

Contudo, o estabelecimento de medida de controle institucional visou a restrição de instalação de poços de captação nas áreas de risco identificadas, para que este cenário de exposição não viesse a se configurar no futuro.

Para o estabelecimento da área de restrição, de acordo com a L3 Engenharia Ambiental, utilizou-se de uma área igual à área do empreendimento e da maior pluma de contaminação delimitada na avaliação de risco adicionada à distância de risco relativa à migração da pluma, de acordo com o que concerne a DD 038/2009 da CETESB. A área de restrição definida encontra-se indicada na Figura 30.

Figura 30 - Mapa e restrição do uso da água subterrânea.



Fonte: Autor, adaptado de L3 Engenharia Ambiental.

4.10.4. Programa de monitoramento para encerramento de caso

O programa de monitoramento consistiu na realização de 5 campanhas de monitoramento com periodicidade semestral, englobando todos os poços de monitoramento existentes na área de estudo e abrangeu os parâmetros BTEX e PAH.

Após a realização das 5 campanhas de monitoramento, caso as concentrações se mantivessem inferiores aos valores estabelecidos, seria solicitado ao órgão ambiental a emissão do termo de reabilitação da área para uso declarado.

As amostragens dos poços de monitoramento foram realizadas com a utilização de metodologia de baixa vazão e o resultados da última campanha de monitoramento podem ser

observados na Tabela 11.

Tabela 11 - Amostragens dos poços de monitoramento

Compostos	Poços de monitoramento (µg/l)								Valores Orientadores (2016)*	Inalação de vapores em ambientes fechados por comerciantes CMA-POC	Inalação de vapores em ambientes fechados por residentes CMA-POC	Ingestão de água subterrâneas	
	PM-01	PM-02	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09					
BTEX	Benzeno	<2	2,36	2,40	2,53	2,39	2,54	2,42	2,35	5	892	272	5
	Tolueno	<1	3,27	3,36	4,39	3,28	3,37	3,33	3,27	700	-	-	170
	Etilbenzeno	<2	<2	3,00	3,69	<2	3,02	3,01	2,98	300	2700	-	200
	Xilenos totais	<4	5,14	5,19	12,47	<4	5,20	5,18	5,14	500	22200	-	300
	Xileno (m,p)	<2	2,81	2,84	6,05	2,8	2,84	2,83	2,81	500	-	-	-
	Xileno (o)	<2	2,33	2,35	6,42	<2	2,36	2,35	2,33	500	-	-	-
PAH	Naftaleno	0,74	0,8874	0,861	0,1178	0,5547	<0,005	<0,005	<0,005	60	9010	-	1760
	Acenafiteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Acenafiteno	0,0075	0,0078	<0,005	0,0083	0,0072	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Fluoreno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Fenantreno	0,0676	0,0064	0,0634	0,0067	0,0065	<0,005	<0,005	<0,005	140	-	-	-
	Antraceno	<0,005	<0,005	<0,005	0,018	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	900	-	-	-
	Fluoranteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Pireno	<0,005	0,015	0,015	0,015	0,015	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Benzo(a)antraceno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,4	-	-	-
	Criseno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	41	-	-	-
	Benzo(k)fluoranteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	4,1	-	-	-
	Benzo(b)fluoranteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,4	-	-	-
	Benzo(a)pireno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,7	-	-	0,7
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,4	-	-	-
	Dibenzo(a,h)antraceno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,04	-	-	0,348
	Benzo(g,h,i)perileno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-

NR - Não Regulamentado

Fonte: L3 Engenharia Ambiental

As tabelas das demais campanhas encontram-se em anexo à este trabalho.

5. CONCLUSÃO

A revisão da literatura sobre contaminação dos solos e águas subterrâneas por hidrocarbonetos e suas remediações, foram necessárias para o acompanhamento das atividades prestadas pela L3 Engenharia Ambiental para o Prisma Auto Posto LTDA. Sendo assim, podem ser obtidas duas conclusões específicas deste trabalho:

5.1. Quanto à obtenção dos dados

Como foi enfatizado ao longo desta pesquisa, a investigação detalhada é uma etapa de extrema importância no gerenciamento de áreas contaminadas, já que fornece dados relevantes sobre o local de estudo, bem como uma melhor escolha e execução da técnica de remediação a ser aplicada. Notou-se a ausência de algumas informações tais como mapas de uso e ocupação do entorno da área de estudo e perfis geológicos para melhor compreensão da geologia local, logo, do comportamento do contaminante no solo.

Apesar dos trabalhos exercidos pela L3 Engenharia Ambiental terem sido concluídos com êxito, considera-se que a ausência dos dados citados anteriormente, tornariam a investigação detalhada mais completa e possivelmente permitiriam melhor eficiência na remoção do contaminante em fase livre do PM-05, devido ao melhor entendimento do comportamento deste no solo.

No que diz respeito a legislação, a empresa seguiu os trabalhos em conformidade com o que estabelece a Decisão de Diretoria nº 263/2009 da CETESB, **o qual era a vigente no momento das execução dos trabalhos.**

5.2. Quanto ao plano de ação

Foi necessária a elaboração de um plano de avaliação de riscos, a intervenção no PM-05 com a remoção do contaminante em fase livre a partir da utilização do sistema *pump and treat*, e posteriormente o acompanhamento da concentração das substâncias de interesse durante as campanhas de monitoramento. Nota-se que a aplicação do sistema *pump and treat*, apesar de obter resultados satisfatórios, não dispôs de barreiras de contenção, como cita Cohen et al. (1994), e a ausência desta medida poderia ter contribuído para a dispersão do contaminante a partir do bombeamento para sua retirada, visto que essa técnica altera a potenciometria local, como observamos nas Figuras 3, 4 e 5. No entanto, deve-se considerar o

custo de execução das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas, bem como a paralização dos serviços prestados pelo Auto Posto Prisma durante todo o processo, mediante a isso, a realidade socioeconômica brasileira faz com que muitas vezes os sistemas de remediação devam ser readequados.

Após o fim de 5 campanhas de monitoramento, os resultados de análise do solo e água subterrânea indicaram inexistência de riscos. Sendo assim, conclui-se que o gerenciamento da área contaminada do Auto Posto Prisma foi efetiva e, por isso, teve concedida sua reabilitação para uso declarado no dia 05/09/2019, como segue no Anexo II.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.786** – Posto de serviços – Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.492** - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental. Rio de Janeiro. ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.495-1** - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção. Rio de Janeiro. ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.495-2** - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15515-3**: Avaliação do passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 3: Investigação detalhada. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16209**: Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ADAMS, Robert. **Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy**, Carol Stream, p. 65-120, 2001.

ADRION, A.C.; GOLD, A.; AITKEN, M.D. **Identification of anthraquinone-degrading bacteria in soil contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons**. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 81, 2015.

ALEXANDER, M. **“Biodegradation and Bioremediation”**. *Academis Press, San Diego, U.S.A.*, 453p, 1999.

AMARANTE, C.B.; RUIVO, M.L.P.; OLIVEIRA, M.L.S.; LEONCIO, R.R.; MOURA, Q.L. **Microbial diversity in archaeological black earth soils**. *Enciclopédia Biosfera*, v.6, p.1-10, 2010.

ATLAS, R.M. and BARTHA, R. **Stimulated Biodegradation of Oil Slicks Using Oleophilic Fertilizer**. *Environmental Science & Technology*, 7, 538-541, 1981.

BAKKER, L. B. D. **Instrumentos econômicos e pagamentos por serviços ambientais no Brasil**. In: *Forest Trends* (ed.) **Incentivos Econômicos para Serviços Ecológicos no Brasil**. p.33-56. Rio de Janeiro: Forest Trends. 2015. ISBN 978-1-932928-58-7

BURNS, R.A.; BUELT, J.L.; BONNER, W.F. 1975. **In situ vitrification of soil** (Patent).

CARR, E. H. **The Twenty Years' Crisis, 1919–1939: An Introduction to the Study of International Relations**, rev. 2nd ed, 1964

CHANG, C.H. & MERONEY, R.N. **Concentration and flow distributions in urban street canyons: wind tunnel and computational data**. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 91, n. 9, p. 1141-1154, 2003.

CHERAGHI, & SOBHANARDAKANI, SOHEIL & LORESTANI, & MERRIKHPOUR, & MOSAED, PARVIZI. **Biochemical and Physical Characterization of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils in Tehran**. *Journal of Chemical Health Risks*, 5, 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **CETESB - Decisão de Diretoria nº 263/2009**. Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em postos e sistemas retalhistas de combustíveis. CETESB, São Paulo, 55p, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **CETESB - Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2ed. São Paulo: CETESB, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **CETESB - Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 4p, 2005.

CERNIGLIA, C.E. **Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons**. *Biodegradation* 3, 351–368, 1992.

COOKSON, J.T. **Bioremediation Engineering**. Mc-Graw Hill, New York, 1995.

DAEE/IG/IPT/CPRM (Departamento de Águas e Energia Elétrica/Instituto geológico/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/Serviço Geológico do Brasil). Coordenação Geral: Gerônimo Rocha. 2005. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa**. DAEE/IG/IPT/CPRM, São Paulo, Brasil.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DAEE - Estudo de águas subterrâneas**, Regiões Administrativas 7, 8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba., São Paulo, v.1, v.2, 1976.

DA SILVA, E.B.; DIAS, M.S.C.; GONZAGA, E.I.C. & SANTOS, N.M. **Estimativa da acidez potencial pelo SMP pH em solos da região norte do estado de Minas Gerais**. R. Bras. Ci. Solo, 26:561-565, 2003.

DEMQUE, D. E., BIGGAR, K. W., and HEROUX, J. A. **Land treatment of diesel contaminated sand**. Can. Geotech. J. 34, 421–431. doi: 10.1139/t97-008, 1997.

DIAS, P. L. **Biodegradação microbiana de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos**. Universidade Federal do Mato Grosso. 2016.

DIBBLE, J.T. AND BARTHA, R. **Effect of Environmental Parameters on the Biodegradation of Oil Sludge**. Applied and Environmental Microbiology, 37, 729-739, 1979.

FAILACHE, M. F. **Proposta de procedimentos para estimativa da infiltração potencial e do escoamento superficial Hortoniano potencial baseada em dados geológicos, geotécnicos, de uso e ocupação e eventos de chuva**. Dissertação (doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2018.

FAYAD, N. M.; OVERTON, E. **A unique biodegradation pattern of the oil spill during the 1991 GulfWar**. Marine Pollution Bulletin, 30(4):239-246, 1995.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM . **Declarações de Áreas Contaminadas**. Minas Gerais, 2010.

FREIRE, P. A. C. **Bombeamento e tratamento de plumas de hidrocarbonetos em diferentes aquíferos contaminados por postos de combustíveis**. 2011. 121 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/98300>>.

GILLIAN, A. **A study into the potential of phytoremediation for diesel fuel contaminated**

soil. PhD thesis, University of Glasgow, 2001. Disponível em <<http://theses.gla.ac.uk/id/eprint/4903>>. Acesso em: 10 de agosto de 2021

HAMBERG, D.I. . “**Characterization of Expansive Soils.**” In Shales and Swelling Soils, Transportation Research Record 790,. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

HAMBERG, R. **In situ and on-site soil remediation techniques** : a review. 2009, Semantic Scholar.

HARPER, H. J. **The effect of natural gas on the growth of micro-organisms and the accumulation of nitrogen and organic matter in the soil.** Soil Science 48, 461-466, 1939.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFICA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Cartas topográficas**, folha: 22-X-D-VI-4. 1971. Escala 1:50.000

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFICA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Censo 2017**

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Cartas Topográficas 1:50.000 (IBGE / IGG-SP)**. 1970. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/#>. Acesso em: 17 nov. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **IEA - Oil Market Report** – edição de 13 de Julho de 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré.** São Paulo, 2000. 2v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IPT - Mapa geológico do Estado de São Paulo**; Escala 1:500.000. v1 (texto) e v2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IPT - Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo: Pagina & Letras, 2014.

LEE, B. G., HAN, J. S., & ROWELL, R. M. **Oil sorption by lignocellulosic fibers.** In T. Sellers & N. A. Reichert (Ed.), Kenaf properties, processing and products, 1999.

LIMA, M. P. **A Relação entre o Crescimento Populacional e o Desenvolvimento Sustentável do Distrito Federal**. Universidade de Brasília. Faculdade de economia, Administração e Contabilidade.

LISBOA NA AND MENEGOTTO E. **Diferenciações hidrogeoquímicas no sistema aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul**. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 489-496, 1997.

BIRKS L. S. AND WING A. B., "**Aligning Single Crystals for X-Ray Diffraction**", Review of Scientific Instruments. 2009.

MATIAS, S. C.; DA SILVA, M. **Contaminação por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e acrilamidas em amêndoas de cacau (revisão de literatura) / contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons and acrylamides in cocoa beans**. Brazilian Journal Development 2003. São Paulo, SP.

MANAHAN, S. E., **Environmental chemistry**. CRC Press, Inc. Florida. 811, 1994.

MANCUSO, Malva Andrea. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: aquíferos sedimentares e modelação quantitativa e qualitativa das águas subterrâneas da baixada santista**. Santos: Ipt, 2005.

MARINHA. **Combate ao Óleo**, 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/combate-ao-oleo/sobre>, Acesso em: 17 dez. 2021.

MEAULO, F. J. **Vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de araraquara (SP)**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº518. **Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**. Brasil, 32 p, 2004.

MORAES, S.L.; TEIXEIRA, C.E.; MAXIMIANO, A.M.S. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. IPT/BNDES, São Paulo, 1ª ed., 395 p, 2014.

MERCER, J.W., AND R.M. COHEN, **A review of immiscible fluids in the subsurface: Properties, models, characterization, and remediation**, J. Contam. Hydrol., 6: 107-163, 1990.

NARDY, A.J.R. **Geologia e petrologia do vulcanismo mesozóico da região central da Bacia do Paraná**. 300f. Tese (Doutorado em Geologia Regional)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

OLIVEIRA, E. **Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Tanques de Armazenamento Subterrâneos**. Dissertação de Mestrado IGcUSP. 112 p, 1992.

PAULA E SILVA, F., CAVAGUTI, N. **Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na cidade de Bauru - SP**. Geociências, v.13, n.1, p.83-99, 1994.

PEREIRA NETTO, ANNIBAL & MOREIRA, JOSINO & O, DIAS & ARBILLA, GRACIELA & V, FERREIRA & OLIVEIRA, ANABELA & BAREK, JIRI. **Avaliação da Contaminação Humana por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAS) e seus Derivados Nitradados (NHPAS): Uma Revisão Metodológica**. Química Nova. 2004.

PLANO DIRETOR DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL DO TIETÊ-JACARÉ (PDEA-TJ). **Características gerais da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré**. 2015. Disponível em: <http://pdea.teia.org.br/projeto/a-bacia/>. Acesso em: 18 nov. 2021.

PRABHU, Y, PHALE PS. **O-phthalic acid, a dead-end product in one of the two pathways of phenanthrene degradation in Pseudomonas sp. strain PP2**.

REDDY, K. R.; CHOUSKEY, S. K.; KULKARNI, H. S. **Prediction of long-term municipal solid waste landfill settlement using constitutive model**. Practice Periodical of Hazardous, Toxic, And Radioactive Waste Management, v. 14, n. 2, p. 139-150, 1999.

ROSS JLS and MOROZ IC. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. Volume 1**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997.

ROWELL, M J, ASHWORTH, J, AND QURESHI, A A. **Bioremediation of petroleum hydrocarbons in soil environments**. Report No. EE-141. Canada: N. p., 1992. Web.

RUIHONG, Z. GUO, FEN & HU, YONGQI & ZHAO, HUANQI. **Self-assembly synthesis of organized mesoporous alumina by precipitation method in aqueous solution**. Microporous and Mesoporous Materials. 93. 212-216. 10.1016/j.micromeso.2006.02.024, 2006.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 59.263, de 5 junho de 2013**. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da

qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado.

SCHOLLENBERGER C. J; **Effect of leaking natural gas upon the soil.** *Soil Science* 29:261–266, 1930.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SIGRHI), **Apresentação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê Jacaré**, 2015. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>>. Acesso: Novembro/2021.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. **Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo. v.10, n. 3, p.177-185, 1980.

STEIMLE, G.L. **Thermal conduction heating for in-situ thermal desorption off soils.** In: C.H. Oh (Ed.) Hazardous & Radioactive Waste

WANG, Y. X. ; WAGHORN, G. C. ; BARRY, T. N. ; SHELTON, I. D.. **The effect of condensed tannins in Lotus corniculatus on plasma metabolism of methionine, cystine and inorganic sulfate by sheep.** Br. J. Nutr., 72 (6): 923-935, 1994.

YAMANAKA, Hideko. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016. p. 123-138.

ANEXO A – Concentração das SQIs Durante as Campanhas de Monitoramento

1ª Campanha de monitoramento – L3 Engenharia Ambiental – Auto Posto Prisma

Compostos	Poços de monitoramento (µg/l)									Valores Orientadores (2014) *	
	PM-01	PM-02	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09	PB-01		
BTEX	Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00
	Tolueno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	700,00
	Etilbenzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	300,00
	Xilenos totais	nd	nd	nd	71	nd	nd	nd	nd	123	500,00
PAH	Naftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,67	60,00
	Acenaftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fluoreno	nd	nd	nd	0,86	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Fenantreno	nd	nd	nd	1,58	nd	nd	nd	nd	1,15	140,00
	Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	900,00
	Fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr
	Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40
	Criseno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	41,00
	Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40
	Benzo(b)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,10
	Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,70
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,40
	Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,04
	Benzo(g,h)perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nr

nd – não detectado; nr – não regulamentado; na – não analisado
 *V.O – Valores Orientadores para água subterrânea estabelecidos pela CETESB (2014).

2ª Campanha de monitoramento – L3 Engenharia Ambiental – Auto Posto Prisma

Compostos	Poços de monitoramento (µg/l)									Valores Orientadores (2016) *	Inalação de vapores em ambientes fechados por comerciantes CMA-POE	Inalação de vapores em ambientes fechados por residentes CMA-POE	Ingestão de água subterrânea
	PM-01	PM-02	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09					
BTEX	Benzeno	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	5	892	272	5
	Tolueno	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	700	-	-	170
	Etilbenzeno	<1	<1	<1	3,26	<1	<1	<1	<1	300	2700	-	200
	Xilenos totais	<4	<4	<4	4,48	<4	<4	<4	<4	500	22200	-	300
	Xileno (m,p)	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	500	-	-	-
	Xileno (o)	<2	<2	<2	3,10	<2	<2	<2	2,32	500	-	-	-
PAH	Naftaleno	<0,005	<0,005	<0,005	1,8812	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	60	9310	-	1760
	Acenaftileno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Acenafteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Fluoreno	<0,005	<0,005	<0,005	0,8355	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Fenantreno	<0,005	<0,005	<0,005	0,1980	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	140	-	-	-
	Antraceno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	900	-	-	-
	Fluoranteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Pireno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-
	Benzo(a)antraceno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,4	-	-	-
	Criseno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	41	-	-	-
	Benzo(k)fluoranteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	4,1	-	-	-
	Benzo(b)fluoranteno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,4	-	-	-
	Benzo(a)pireno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,7	-	-	0,7
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,4	-	-	-
	Dibenzo(a,h)antraceno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,04	-	-	0,348
	Benzo(g,h)perileno	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	NR	-	-	-

nd – não detectado; nr – não regulamentado; na – não analisado
 *V.O – Valores Orientadores para água subterrânea estabelecidos pela CETESB (2014).

3ª Campanha de monitoramento – L3 Engenharia Ambiental – Auto Posto Prisma

Compostos	Poços de monitoramento (µg/l)									Valores Orientadores (2014) *	
	PM-01	PM-02	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09	Branco de campo		
BTEX	Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,00
	Tolueno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700,00
	Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	300,00
	Xilenos totais	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	500,00
PAH	Naftaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	60,00
	Acenaftileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Acenafteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Fluoreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Fenantreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	140,00
	Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	900,00
	Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Benzo(a)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,40
	Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	41,00
	Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,10
	Benzo(b)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,40
	Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,70
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,40
	Dibenzo(a,h)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
	Benzo(g,h,i)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR

ND – abaixo do limite de quantificação; NR – não regulamentado; NA – não analisado

*V.O – Valores Orientadores para água subterrânea estabelecidos pela CETESB (2016).

4ª Campanha de monitoramento – L3 Engenharia Ambiental – Auto Posto Prisma

Compostos	Poços de monitoramento (µg/l)									Valores Orientadores (2014) *	
	PM-01	PM-02	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09	Branco de campo		
BTEX	Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,00
	Tolueno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700,00
	Etilbenzeno	ND	ND	ND	4	ND	ND	ND	ND	ND	300,00
	Xilenos totais	ND	ND	ND	61	ND	ND	ND	ND	ND	500,00
PAH	Naftaleno	ND	ND	ND	1,88	ND	ND	ND	ND	ND	60,00
	Acenaftaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Acenafteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Fluoreno	ND	ND	ND	0,55	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Fenantreno	ND	ND	ND	1,06	ND	ND	ND	ND	ND	140,00
	Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	900,00
	Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Benzo(a)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,40
	Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	41,00
	Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,40
	Benzo(b)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,10
	Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,70
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,40
	Dibenzo(a,h)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
	Benzo(g,h,i)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR

ND – abaixo do limite de quantificação; NR – não regulamentado; NA – não analisado

*V.O – Valores Orientadores para água subterrânea estabelecidos pela CETESB (2014).

ANEXO B – Termo de Reabilitação Para Uso Declarado



COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

TERMO DE REABILITAÇÃO PARA O USO DECLARADO

Nº 1337/2019

Data: 05/09/2019

Certificamos, a teor do disposto no Artigo 27, inciso II, da Lei 13.577, de 08 de julho de 2009, e no artigo 54, inciso II, do Decreto 59.263, de 05 de junho de 2013, que o imóvel localizado à Avenida Francisco Carlos Merlos, 2.400, Araraquara, e registrado sob matrícula n.º 76.044 no 1º Oficial de Registro de Imóveis de Araraquara, foi contaminado por hidrocarbonetos de petróleo. Posteriormente, com base no Despacho nº 110/2019/ICRA, apenso à Pasta Administrativa CETESB nº 28/00020/12 foi considerado reabilitado para uso como comércio varejista de combustíveis, sem o estabelecimento de medida de controle institucional.

Elton Gloeden

Gerente do Departamento de Áreas Contaminadas

ANEXO C – Carta De Autorização: L3 Engenharia Ambiental Ltda.

DE: ALEXANDRE SANCHEZ DIB

PARA: L3 ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA.

ASSUNTO: SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS PERTINENTES AOS RELATÓRIOS DE INVESTIGAÇÃO, REMEDIAÇÃO, MONITORAMENTO E REABILITAÇÃO DO AUTO POSTO PRISMA LTDA.

SÃO CARLOS, 27/02/2020.

POR MEIO do presente DOCUMENTO, eu, **Alexandre Sanchez Dib**, aluno matriculado no curso de Engenharia Ambiental, DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, da Universidade de São Paulo (Nº USP 9013095) solicito A V.SAS COMO GESTORES da **L3 Engenharia Ambiental Ltda.**, inscrita sob CNPJ 10.571.789/0001-94, AUTORIZAÇÃO para utilização dos dados CONSTANTES DOS relatórios REFERENTES AOS TRABALHOS PRESTADOS EM RELAÇÃO AO Prisma Auto Posto Ltda. para elaboração de Trabalho de Conclusão de Curso que será orientado pelo Professor Lázaro Valentin Zuquette.

Cumpre-NOS ressaltar que, para a elaboração do referido trabalho serão utilizadas PARCIALMENTE OU INTEGRALMENTE informações CONTIDAS NOS DIFERENTES DOCUMENTOS PERTINENTES AOS RELATÓRIOS.

O objetivo CENTRAL do trabalho de conclusão de curso É UMA ANÁLISE DOS DADOS APRESENTADOS NESTES RELATÓRIOS FRENTE AS DIRETRIZES NACIONAIS E INTERNACIONAIS QUE CONCERNEM A ESTE TIPO DE INVESTIGAÇÃO E MONITORAMENTO.

APÓS a conclusão do trabalho, O MESMO SERÁ APRESENTADO PARA UMA BANCA EM AUDIÊNCIA PÚBLICA e será disponibilizado A COMUNIDADE GERAL VIA biblioteca virtual da Universidade de São Paulo.

Desde já agradeço,
Alexandre Sanchez Dib.


João Luiz Villas Bôas Leães

ANEXO D – Carta De Autorização: Prisma Auto Posto Ltda.

DE: ALEXANDRE SANCHEZ DIB

PARA: PRISMA AUTO POSTO LTDA.

ASSUNTO: SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DE DADOS PERTINENTES AOS RELATÓRIOS DE INVESTIGAÇÃO, REMEDIAÇÃO, MONITORAMENTO E REABILITAÇÃO DO AUTO POSTO PRISMA LTDA.

SÃO CARLOS, 27/02/2020.

POR MEIO do presente DOCUMENTO, eu, **Alexandre Sanchez Dib**, aluno matriculado no curso de Engenharia Ambiental, DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, da Universidade de São Paulo (Nº USP 9013095) solicito A VOSSA SENHORIA COMO GESTOR E REPRESENTANTE LEGAL do **Prisma Auto Posto Ltda.**, inscrita sob CNPJ 06.111.337/0001-52, AUTORIZAÇÃO para utilização dos dados CONSTANTES DOS relatórios REFERENTES AOS TRABALHOS PRESTADOS pela **L3 Engenharia Ambiental** EM RELAÇÃO AO Auto Posto Prisma Ltda. para elaboração de Trabalho de Conclusão de Curso que será orientado pelo Professor Lázaro Valentin Zuquette.

Cumpre-NOS ressaltar que, para a elaboração do referido trabalho serão utilizadas PARCIALMENTE OU INTEGRALMENTE informações CONTIDAS NOS DIFERENTES DOCUMENTOS PERTINENTES AOS RELATÓRIOS.

O objetivo CENTRAL do trabalho de conclusão de curso É UMA ANÁLISE DOS DADOS APRESENTADOS NESTES RELATÓRIOS FRENTE AS DIRETRIZES NACIONAIS E INTERNACIONAIS QUE CONCERNEM A ESTE TIPO DE INVESTIGAÇÃO E MONITORAMENTO.

APÓS a conclusão do trabalho, O MESMO SERÁ APRESENTADO PARA UMA BANCA EM AUDIÊNCIA PÚBLICA e será disponibilizado A COMUNIDADE GERAL VIA biblioteca virtual da Universidade de São Paulo.

Desde já agradeço,
Alexandre Sanchez Dib.



Paulo Sérgio Pessolli Ferraz