

CRISTINA DEPERON MALUF

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO
DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA
INDUSTRIAL CONTAMINADA POR
HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO
MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho
de Formatura do Curso de Graduação em
Engenharia Ambiental, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro
(SP), como parte das exigências para o
cumprimento da disciplina Trabalho de Formatura
no ano letivo de 2009*

Orientador: Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro
Co-orientador: Dr. Miguel A. Alfaro Soto

Rio Claro (SP)
2009

CRISTINA DEPERON MALUF

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO
DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA
INDUSTRIAL CONTAMINADA POR
HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO
MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

Orientador: Prof. Dr. MARCUS CÉSAR AVEZUM ALVES DE CASTRO
Co-orientador: Dr. MIGUEL A. ALFARO SOTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas
da Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental

Rio Claro (SP)
2009

628.092 Maluf, Cristina Deperon
M261d Diagnóstico geoambiental e avaliação de risco à saúde humana para
uma área industrial contaminada por hidrocarbonetos localizada no
município de Paulínia (SP) / Cristina Deperon Maluf. - Rio Claro : [s.n.],
2009
104 f. : il., figs., tabs., mapas + mapa

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Marcus César Avezum Alves de Castro
Co-Orientador: Miguel Angel Alfaro Soto

1. Engenharia ambiental. 2. Contaminantes. 3. RBCA Tier 2. 4.
Planilhas CETESB. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro

Geóloga Fabíola Bonini Tomiatti

Prof. Dr. Samuel Conceição de Oliveira

Rio Claro, 24 de novembro de 2009.

“Estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a humanidade deve escolher o seu futuro. À medida que o mundo torna-se cada vez mais interdependente e frágil, o futuro enfrenta, ao mesmo tempo, grandes perigos e grandes promessas. Para seguir adiante, devemos reconhecer que, no meio da uma magnífica diversidade de culturas e formas de vida, somos uma família humana e uma comunidade terrestre com um destino comum. Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça econômica e numa cultura da paz. Para chegar a este propósito, é imperativo que nós, os povos da Terra, declaremos nossa responsabilidade uns para com os outros, com a grande comunidade da vida, e com as futuras gerações”.

Carta da Terra, maio de 2000.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por todas as oportunidades e pessoas maravilhosas que cruzaram e permanecem em meu caminho.

À minha família, especialmente meus pais Reinaldo e Marli, e meu irmão Luis, bases da minha vida, por todas as oportunidades, amor e renúncias. Obrigada pelos ensinamentos, pelas noites mal dormidas, pelos conselhos e por me darem a chance e a experiência de viver. Amo vocês.

Aos meus amigos de infância e de faculdade, por caminharem comigo e me proporcionarem muitos momentos felizes. Agradeço à toda sala da Turma 2005 (Kazuo, Toroço, Dinha, Bruninha, Camila, Kadu, Cintia, Tchaca, Pancada, Fernanda, Fernando, Itajubá, Pinguim, Tio Chico, Abobão, Robinho, Livia, Malu, Porps, Matuco, Isaac, Monica, Barbie, Mambuca, Paloma, Barretão, Salsixa, Copo e Tati) e demais amigos da Engenharia e de outros cursos, sem os quais minha passagem pela Universidade não seria tão maravilhosa. Em especial, Salsixa, Robinho e Malu, que tantas coisas me ensinaram.

Ao Professor Marcus César A. A. Castro e ao Dr. Miguel A. A. Soto pela ética, competência profissional e orientação.

Ao Programa da Agência Nacional do Petróleo PRH-05 MCT/CTPetro por todo o aporte de recursos e auxílio.

À SGW pelo apoio e auxílio prestados na realização deste trabalho.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, tornaram meu caminho melhor.

Índice de Figuras

Figura 3.1: Matriz Energética Brasileira.	15
Figura 3.2: Esquema das etapas de uma Avaliação de Risco.....	41
Figura 3.3: Estágios da avaliação de exposição (adaptado de EPA, 1989).....	42
Figura 4.1: Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Contaminação.	48
Figura 5.1 – Caracterização Geral da Área.....	60
Figura 5.2 – Localização dos Poços de Monitoramento.....	65
Figura 5.3 – Mapa Potenciométrico	69
Figura 6.1 – Caracterização do Entorno da Área de Estudo.....	73

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Classificação dos Grupos de Acordo com seu Grau de Carcinogenicidade.	44
Tabela 5.1 – Características dos Tanques de Armazenamento.	58
Tabela 5.2 - Dados Climáticos da Região de Paulínia no Ano de 2007.....	63
Tabela 5.3 - Resultados em Amostra Indeformada.	64
Tabela 5.4 – Resultados dos Ensaios de Permeabilidade.	67
Tabela 5.5 – Medições de Nível d'Água (metros).....	68
Tabela 6.1 – Modelo Conceitual de Exposição.	74
Tabela 6.2 - Amostras de Água Subterrânea Seleccionadas para a Avaliação de Risco.	76
Tabela 6.3 – Amostras de Solo Seleccionadas para a Avaliação de Risco.	77
Tabela 6.4 – Cenários de Exposição.....	77
Tabela 7.1 – Riscos Calculados para Trabalhadores Industriais.	80
Tabela 7.2 – Riscos Calculados para Trabalhadores de Obras.....	81
Tabela 7.3 – Riscos Calculados para Residentes <i>Offsite</i> (700 m).	82
Tabela 7.4 – Riscos Calculados para Trabalhadores Industriais.	83
Tabela 7.5 – Riscos Calculados para Trabalhadores de Obras.....	84
Tabela 7.6 – Riscos Calculados para Residentes <i>Offsite</i> (700 m).	85
Tabela 7.7 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores Industriais.	88
Tabela 7.8 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores de Obras.....	89
Tabela 7.9 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores Industriais.	89
Tabela 7.10 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores de Obras.....	90
Tabela 7.11 – Metas de Remediação para a Área de Estudo – Água Subterrânea (mg/L).....	90

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. O Petróleo no Brasil, Importância e Suas Perspectivas.....	15
3.2. A Problemática das Contaminações por Derivados de Petróleo	16
3.3. O Solo e o Transporte de Contaminantes	18
3.3.1. Propriedades Físicas dos Solos.....	19
3.3.2. Contaminação	19
3.4. Petróleo e Seus Derivados	20
3.4.1. Classificação dos hidrocarbonetos.....	20
3.4.2. Classificação de Acordo com a Densidade.....	22
3.4.3. Caracterização das Fases dos hidrocarbonetos	22
3.5. Água Subterrânea	23
3.5.1. Ocorrência e Importância	23
3.5.2. Contaminação em Águas Subterrâneas	24
3.6. Gerenciamento de Áreas Contaminadas.....	25
3.7. Modelos de Simulação.....	26
3.7.1. Modelagem Matemática de Fluxos Subterrâneos.....	28
3.7.2. Modelagem Aplicada ao RBCA	32
3.8. Avaliação de Risco e Diagnóstico Geoambiental.....	36
3.8.1. Risk Based Corrective Action – RBCA	40
3.8.2. Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB	46
4. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO	47
4.1. Primeira Fase: Seleção da Área de Estudo	47
4.2. Segunda Fase: Levantamento Bibliográfico.....	48
4.3. Terceira Fase: Diagnóstico Geoambiental.....	48
4.3.1. Histórico da Área.....	49
4.3.2. Levantamentos e Investigações Preliminares	49
4.4. Quarta Fase: Avaliação de Risco.....	53
4.4.1. Metodologia RBCA e Procedimentos	53
4.4.2. Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB	56
5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANALÍTICOS	57
5.1. Diagnóstico Geoambiental	57
5.1.1. Localização da Área e Histórico Ambiental.....	57
5.1.2. Geomorfologia, Geologia e Hidrologia/Hidrogeologia.....	61
5.1.4 Monitoramento Climático na Região de Paulínia – SP	63
5.1.5 Amostras de Solo e Poços de Monitoramento.....	64
5.2 Caracterização Geoquímica.....	66

5.2.1 Avaliação de Vapores no Solo.....	66
5.2.2 Resultados Analíticos do Solo.....	66
5.3 Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica.....	66
5.3.1 Aspectos Hidrogeológicos.....	66
5.3.2 Caracterização Química da Água	70
6. AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA	72
6.1 Introdução	72
6.2 Modelo Conceitual de Exposição (MCE).....	72
6.2.1 Características do Uso e Ocupação do Entorno Atuais	72
6.2.2 Características do Uso e Ocupação Futuras	74
6.2.3 Fontes Potenciais de Contaminação	74
6.2.4 Vias de Ingresso e Receptores	75
6.2.5 Determinação das Substâncias de Interesse.....	76
6.2.6 Cenários de Exposição	77
6.3. Quantificação do Ingresso	78
6.3.1 Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)	78
7. RESULTADOS DAS SIMULASSÕES E DISCUSSÃO	79
7.1 Níveis Aceitáveis Baseados no Risco.....	88
7.2 Fatores de Incerteza	91
7.2.1. Caracterização de Área.....	91
7.2.2. Modelagem Matemática	91
7.2.3. Estimativa de Parâmetros	91
8. CONCLUSÕES	93
9. BIBLIOGRAFIA	95

ANEXOS

ANEXO A – Perfis construtivos de poços de monitoramento

ANEXO B – Mapa de isoconcentrações de VOC no solo superficial

ANEXO C – Resultados analíticos e comparação com valores orientadores para solo

ANEXO D – Resultados analíticos e comparação com valores orientadores para água subterrânea

ANEXO E – Resultados de *Bail test*

ANEXO F – Mapas de plumas de contaminação em fase dissolvida

ANEXO G – Seções hidrogeológicas

RESUMO

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso de avaliação de risco à saúde humana, tendo como área de investigação um empreendimento industrial localizado na cidade de Paulínia (SP) contaminado por hidrocarbonetos, situação de ocorrência preocupante no estado de São Paulo e que representa riscos à saúde humana, dado o potencial tóxico e carcinogênico dos derivados de petróleo. Como embasamento primordial à avaliação de risco, foi elaborado um diagnóstico geoambiental da região, levantando informações tais como histórico da área e de acidentes, geologia e hidrogeologia regionais, caracterização dos contaminantes e meios afetados, transporte de contaminantes, dados acerca dos potenciais receptores e vias de exposição. Em função da detecção de contaminantes acima dos Valores de Intervenção da CETESB (2005) procedeu-se à quantificação de riscos à saúde humana e determinação das concentrações máximas aceitáveis para que não ocorram danos à saúde. Para isso utilizou-se a metodologia e o *software* RBCA Tier 2 (ASTM, 1998) e as Planilhas de Avaliação de Risco recentemente publicadas pela CETESB. Os resultados mostraram haver risco à saúde de trabalhadores industriais regulares e trabalhadores de obras civis (ambos *on site*) para ingestão de água subterrânea e inalação de vapores em ambientes fechados.

ABSTRACT

This paper deals with a case study of assessing risk to human health, with the study area of an industrial site in the city of Paulinia (SP) contaminated by oil, which is disturbing situation that occurs in the state of Sao Paulo, which represents risks for human health, as toxic and carcinogenic potential of petroleum products. As an essential foundation for risk assessment, a Geo-environmental diagnosis of the region was made, posing as historical information of the area and accidents, regional geology and hydrogeology, characterization of contaminants and affected media, contaminant transport and data on potential receptors and pathways. Because of the detection of contaminants above the intervention values CETESB (2005) it was possible to proceeded to quantify risks to human health and the determination of maximum acceptable concentrations for no damage to health, using the methodology and software RBCA Tier 2 (ASTM , 1998) and Spreadsheet Risk Assessment recently published by CETESB. The results

showed the risk to the health of industrial workers and regular employees of civil works (both on site) for ingestion of groundwater and inhalation of vapors indoors.

1. INTRODUÇÃO

Com as recentes descobertas e início da exploração dos campos do “pré-sal”, o Brasil tem sua expectativa de exploração e produção de petróleo e derivados em patamares até então inéditos, acarretando como inevitável consequência a continuidade da utilização de combustíveis fósseis, especialmente no setor de transportes, no qual o uso de combustíveis como gasolina e diesel perfazem amplo espectro do consumo em uma matriz essencialmente rodoviária. Associadas à questão do petróleo, encontram-se as possibilidades de derramamentos e acidentes em todas as fases de sua cadeia (exploração, refino, transporte, armazenamento e consumo).

Tendo em vista as tendências e realidades acima descritas, e os dados do cadastro de áreas contaminadas da CETESB (2008), no qual as contaminações no estado de São Paulo por postos de combustível perfazem 1953 ocorrências de um total de 2514 áreas cadastradas (correspondente a 77,7%), pode-se constatar a alta incidência de vazamentos de derivados de petróleo, altamente prejudiciais à saúde humana à biota em geral.

Visando a seguridade da saúde humana no gerenciamento de uma área contaminada, os órgãos ambientais sugerem que a tomada de decisão seja baseada em uma avaliação de risco. Por não haver metodologia brasileira específica para disciplinar a questão, geralmente são utilizadas as metodologias norte-americana ou holandesa, tradicionalmente implementadas pela CETESB no estado de São Paulo e largamente utilizada em demais localidades do mundo (especialmente em países industrializados da América do Norte e da Europa). Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um estudo de caso de avaliação de risco à saúde humana para uma área industrial localizada no município de Paulínia (SP), no qual adotou-se a metodologia de “Ação Corretiva Baseada em Risco - RBCA”, homologada em 1995 nos Estados Unidos pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1995). Ainda, de maneira incipiente, os dados obtidos para a avaliação foram adotados como entrada para as planilhas de avaliação de risco recentemente publicadas pela CETESB, ainda sob regime experimental.

Para a aplicação das metodologias supracitadas a uma determinada área de estudo, faz-se imperativo um estudo prévio da área contaminada, buscando amplo detalhamento e máxima fidelidade à realidade de seu meio físico, abrangendo a área de estudo e seu entorno, da situação atual de contaminação e do uso e ocupação do solo na região e seu entorno, caracterizando um

diagnóstico geoambiental de subsídio à avaliação. A tomada de ações baseadas no risco possibilita avaliar a aplicação de ações corretivas adequadas ao local em função dos riscos reais ou potenciais de uma área, garantindo uma melhor alocação de recursos destinados à remediação, podendo-se estabelecer e priorizar, tecnicamente, a implementação de medidas mitigadoras que visem reduzir e controlar danos às populações humanas da área e do entorno (baseando-se em perspectivas de usos atuais e futuros do solo) em função da exposição (em suas diversas vias) aos contaminantes presentes na área a ser aplicada a metodologia de avaliação.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral a elaboração de um diagnóstico geoambiental, a identificação e a quantificação dos riscos à saúde humana, em uma área de estudo contaminada por derivados de hidrocarbonetos, por meio da aplicação da metodologia de avaliação de risco à saúde humana RBCA e das Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB. Especificamente, o trabalho contemplou os seguintes objetivos:

1. Seleção e caracterização dos aspectos geológicos e hidrogeológicos de uma área contaminada para aplicação do modelo RBCA e das Planilhas de Avaliação de Risco formuladas pela CETESB;
2. Definição dos parâmetros para projeção de cenários e delineamento da aplicação dos modelos;
3. Quantificação e comparação dos riscos gerados pela aplicação do *software* RBCA e pelas Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB;
4. Quantificação e comparação das metas de remediação fornecidas pela aplicação do *software* RBCA e pelas Planilhas de Análise de CETESB.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O Petróleo no Brasil, Importância e Suas Perspectivas

O petróleo é uma matéria-prima essencial à vida moderna, sendo o componente básico de mais de 6 mil produtos. Dele se extrai a matéria-prima para a gasolina, o combustível de aviação, o gás de cozinha, os lubrificantes, borrachas, plásticos, tecidos sintéticos, tintas e muitos outros produtos. O petróleo é responsável ainda por mais de 39% da energia utilizada no Brasil (BARBASSA, 2006).

Segundo o anuário estatístico mais recente da Agência Nacional do Petróleo, (ANP, 2008), no Brasil em 2006 existiam 13 refinarias, 54 terminais aquaviários e 30 terminais terrestres, 536 bases de distribuição, 164 distribuidoras, 511 dutos destinados a movimentação de petróleo (15,4 mil Km); 34.709 postos de revenda e uma comercialização de aproximadamente 230 mil m³/dia dos principais derivados de petróleo, sem considerar os postos clandestinos ou os consumidores industriais.

Os combustíveis derivados de petróleo e o gás natural respondem por considerável parte da atual demanda energética no Brasil, sendo a fonte predominante no setor de transporte, onde atendem a quase 90% do consumo (HORTA NOGUEIRA, 2002). A produção brasileira de derivados de petróleo energéticos e não-energéticos no ano 2007 foi de 110 milhões m³, 3% superior ao volume registrado em 2006 e segue tendências de crescimento (ANP, 2008).

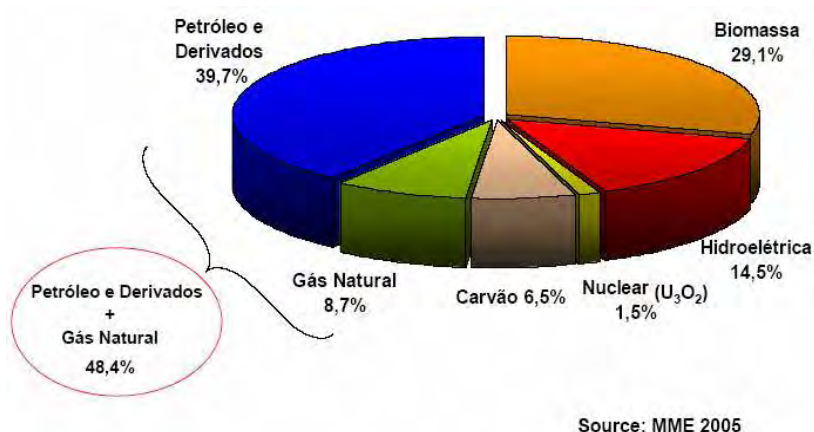


Figura 3.1: Matriz Energética Brasileira.

Fonte: MME (2005) apud Barbassa (2006).

Em 2000, 88,5% do consumo de energia no setor transportes era provido pelos derivados de petróleo, e o restante dividido entre o gás natural (0,6%), eletricidade (0,7%) e álcool (10,2%). De acordo com as projeções, no ano de 2020, este setor apresentará um crescimento absoluto de 135% em relação ao ano 2000 (4,4% ao ano) e a participação dos derivados aumentará para 92% do total demandado (HORTA NOGUEIRA, 2002).

Com a recente descoberta dos campos do Pré-Sal, as estimativas de produção de petróleo no Brasil alcançaram considerável aumento, com reservas estimadas ultrapassando largamente os atuais 12,6 bilhões de barris (ANP, 2008). O início da exploração em 2009 do pré-sal, representa um estímulo às estimativas de consumo de derivados de petróleo a curto prazo, tendo em vista a obrigatoriedade da declaração anual de exploração dos poços de Petróleo e Gás à Agência Nacional do Petróleo, por meio do Regulamento Técnico do Programa Anual de Produção (Portaria ANP nº 100, de 20/06/2000 – DOU 21/06/2000), relatando todas as atividades exercidas nas plataformas de exploração e seus resultados, com o intuito de estimular o aumento nas produções e o desenvolvimento de tecnologias para exploração, haja visto que a ANP tem como uma de suas atribuições a promoção de licitações para a concessão de blocos destinados à exploração de petróleo e de gás natural, os quais, após a conclusão da etapa de exploração e da eventual declaração de comercialidade, alcançam as fases de desenvolvimento e produção.

Até 31/12/2007, estavam em concessão: 198 blocos ainda na fase de exploração, 65 campos em fase de desenvolvimento da produção e 272 campos em fase de produção (ANP, 2008).

3.2. A Problemática das Contaminações por Derivados de Petróleo

A preocupação relacionada à contaminação da água subterrânea vem crescendo em áreas de produção, armazenamento e distribuição de petróleo e derivados em todo o país, sendo um problema que vem ganhando grande importância no Brasil nos últimos anos em função do diagnóstico crescente de áreas impactadas (MICHELSI *et al*, 2004).

As indústrias petrolíferas são consideradas como uma das maiores ameaças ao meio ambiente porque em toda a sua cadeia produtiva há a possibilidade de contaminação do ar, das águas superficiais e subterrâneas e dos solos por uma gama de compostos altamente poluentes (TIBURTIUS & ZAMORA 2004 apud ABNADUR, 2005).

A Agência de Proteção Ambiental Norte-americana (EPA) estima que existam mais de 1,5 milhões de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina nos Estados Unidos. Destes, 400.000 já foram substituídos ou adaptados às legislações federais que entraram em vigor no final de 1998. Ainda em função destas legislações, mais de 250.000 casos de vazamentos já foram identificados e mais de 97.000 remediações completadas (CORSEUIL; MARINS, 1998).

No Brasil, existem aproximadamente 27.000 postos de gasolina. As preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de águas subterrâneas por vazamento de combustíveis vêm crescendo em São Paulo, e em diversas outras cidades do país (CORSEUIL; MARINS, 1998).

Segundo o Relatório da Organização Não Governamental Defensoria da Água “O Estado Real da Contaminação das Águas no Brasil – 2003/2004” (2004), a contaminação dos recursos hídricos aumentou em cinco vezes nos últimos anos e aponta 20 mil áreas contaminadas no Brasil com populações expostas a riscos de saúde. O mesmo relatório prevê que nos próximos dez anos, a escassez de água para consumo humano nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte deve se agravar seriamente e atingir mais de 40 milhões de pessoas (ABNADUR, 2005).

Os hidrocarbonetos de petróleo são poluentes hidrofóbicos e tendem a ficar fortemente retidos na matriz do solo, diminuindo assim sua disponibilidade à remediação (RAIMUNDO & RIZZO, 2000).

Por serem pouco solúveis em água, os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo, contendo mais de uma centena de componentes, inicialmente estarão presentes no subsolo como líquidos imiscíveis, comportando-se como uma fonte contínua de contaminação dissolvendo-se lentamente na água ou passando para fase gasosa (ABNADUR, 2005).

Dentro do contexto de gerenciamento de áreas contaminadas, as preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas por derramamentos de combustíveis vêm crescendo entre órgãos do governo e opinião pública. Esta preocupação é intensificada devido ao grande número de empreendimentos, a estocagem de produtos cujos componentes são altamente tóxicos e a dificuldade na detecção de vazamentos em tanques subterrâneos (TIBURTIUS *et al.*, 2004 apud ABDANUR, 2005).

Levantamentos feitos por agências ambientais do governo federal e dos estados indicam que lençóis freáticos na localidade e nos arredores dos postos de gasolina são freqüentemente atingidos por vazamentos oriundos dos tanques enterrados, passando despercebidos por ocorrem em pequenas quantidades. Entretanto, são justamente os vazamentos mínimos que maiores problemas causam às reservas subterrâneas, na medida em que o combustível vai se infiltrando lentamente, vencendo a resistência do solo e também, por sua tendência de permanecer longo tempo (não detecção), encharcando o solo e contaminando as águas subterrâneas (FERNANDES, 1997; MILLER, 2001 apud MINDRISZ, 2006).

Com o objetivo de diminuir os riscos de contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, do solo e ar, e os riscos de incêndio e explosões, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu a Resolução nº 273 de 29 de novembro de 2000, que estipula uma série de requisitos que devem ser atendidos pelas empresas que integram o setor de combustível no Brasil, alterada posteriormente pela resolução CONAMA nº 319 de 4 de dezembro de 2002, onde os postos de combustíveis passaram a ser considerados como empreendimentos potencialmente poluidores, estando submetidos a licenciamento prévio de suas instalações (licenciamento ambiental e a certificação dos equipamentos de acordo com as normas da ABNT e do Inmetro) e plano de encerramento de suas atividades, no caso de desativação, a serem aprovados por órgão ambiental competente.

3.3. O Solo e o Transporte de Contaminantes

Segundo Fernandes (1997) apud Mindrisz (2006) o solo é definido como material mineral não consolidado (solto) que se estende desde a superfície até o embasamento de rocha. O solo consiste em ar ou vapor, água e uma variedade de sólidos do solo, e é dividido em duas zonas da subsuperfície: as zonas não saturadas e a zona saturada. Sendo que se caracterizam por serem ambiente de vida, apresentando uma microbiota ativa, inclusive atuantes em processos de dispersão e decomposição de poluentes.

O grau de contaminação do solo e a capacidade de transporte e infiltração vão depender de diversos fatores que estão relacionados, entre outros, à composição dos agentes contaminantes, a proporção das fases que compõe o solo (gasosa, líquida e sólida), às características físicas do

solo tais como: porosidade, permeabilidade, condutividade hidráulica, e às interações físico-químicas entre os seus constituintes e estes agentes.

3.3.1. Propriedades Físicas dos Solos

Segundo Guiguer (2000) as propriedades físicas dos solos que mais influenciam o comportamento dos hidrocarbonetos líquidos são:

- Porosidade
- Permeabilidade
- Condutividade Hidráulica

3.3.2. Contaminação

A CETESB define que: Um solo pode ser considerado “limpo” quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. A área será considerada contaminada se, entre outras situações, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima de um dado limite denominado valor de intervenção, indicando a existência de um risco potencial de efeito deletério sobre a saúde humana, havendo necessidade de uma ação imediata na área, a qual inclui uma investigação detalhada e a adoção de medidas emergenciais, visando à minimização das vias de exposição, como a restrição do acesso de pessoas à área e suspensão do consumo de água subterrânea (CETESB apud GUIMARÃES, 2003).

Quando o combustível atinge o solo, seus componentes separam-se em três fases: dissolvida, líquida e gasosa. Uma pequena fração dos componentes da mistura se dissolve na água do lençol freático, uma segunda porção é retida nos espaços porosos do solo na sua forma líquida pura como saturação residual e outra parte dos contaminantes passíveis de evaporação dão origem à contaminação atmosférica (NADIM et al., 1999 apud MARIANO, 2006).

A quantidade de água presente no solo e as características e concentrações dos constituintes nos hidrocarbonetos podem influenciar significativamente o comportamento dos combustíveis líquidos no solo. Por exemplo, um solo próximo da superfície que tenha uma quantidade baixa de umidade e um conteúdo elevado de material orgânico, tende a reter os constituintes de peso molecular maior num vazamento de hidrocarbonetos. Segundo Cabral

(1997) apud Mancini (2002), a adsorção de hidrocarbonetos em materiais do solo aumenta em função do declínio de umidade e o aumento de conteúdo orgânico.

3.4. Petróleo e Seus Derivados

No petróleo existem centenas de hidrocarbonetos, que são os compostos mais simples dentro da química orgânica e constituem-se de hidrogênio e carbono. A composição química do óleo cru e dos produtos derivados depende do local de origem e dos processos de industrialização (MARQUES, 2007).

Segundo Fetter (1993) apud Mancini (2002) o petróleo bruto, ou óleo cru é a fonte primária de aproximadamente quase todos os derivados de petróleo e consiste de uma mistura de hidrocarbonetos de peso molecular variável, contando, na média, aproximadamente 84,5% de carbono, 13% de hidrogênio, 1,5% de enxofre, 0,5% de nitrogênio e 0,5% de oxigênio. Sendo que existem mais de 600 compostos de hidrocarbonetos identificados no petróleo.

As frações destiladas do petróleo podem ser classificadas em três grupos de acordo com o número de átomos de carbono nas moléculas (USEPA, 2003): as gasolinas (4 a 12 átomos de carbono), os destilados médios (9 a 20 átomos de carbono) e óleos combustíveis pesados (mais de 14 átomos de carbono).

O óleo diesel é composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeias simples, não ramificadas. As diferenças mais importantes entre a gasolina e o diesel são o tamanho das cadeias, ou seja, o número de carbono existente na estrutura, o peso molecular, a pressão de vapor e a quantidade dos compostos hidrocarbonetos aromáticos (BTEx). Embora o volume de óleo diesel consumido no país seja quase o dobro do volume consumido de gasolina, este é considerado um combustível menos preocupante, em termos ambientais, devido à sua menor mobilidade no meio poroso e por possuir os compostos tóxicos em menor quantidade na sua composição, se comparada com as quantidades encontradas na gasolina (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).

3.4.1. Classificação dos hidrocarbonetos

Aromáticos

Estão presentes em praticamente todos os tipos de petróleo, em pequena quantidade. São os que apresentam maior toxicidade (capacidade inerente de um agente causar efeitos adversos em um organismo vivo), maior potencial de migração e maior capacidade de produzir impactos ambientais. Sua biodegradação (processo natural onde microorganismos se utilizam, no caso, de hidrocarbonetos de petróleo como fonte de alimento, transformando-os em subprodutos que conseqüentemente serão degradados a carbono e água) é lenta e estão associados a efeitos crônicos e carcinogênicos (SILVA, 2005).

Para Penner (2000), os hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos, chamados compostos BTEX, são percebidos em concentrações significativas nos derivados do petróleo, apresentando maior solubilidade em água. Sendo, portanto, os contaminantes que primeiro poluem o lençol freático. Altamente nocivos à saúde (a exposição contínua ao benzeno pode causar câncer, leucopenia, vertigens, tremores entre outros distúrbios) atuam como depressores do sistema nervoso central.

Alcanos (parafinas ou alifáticos saturados)

Compreendem a maior fração da maioria dos petróleos. São incolores, relativamente inodoros e pouco reativos. A toxicidade geralmente é baixa e são facilmente biodegradados (SILVA, 2005).

Alcenos (olefinas)

São similares aos alcanos diferindo apenas pela presença de ligação dupla entre os átomos de carbono. Geralmente estão ausentes ou aparecem em pequenas quantidades no petróleo, mas são abundantes em produtos de refino como, por exemplo, a gasolina (SILVA, 2005).

Cicloalcanos (naftas)

Sua toxicidade é variável de acordo com a estrutura molecular e são resistentes à biodegradação (SILVA, 2005).

3.4.2. Classificação de Acordo com a Densidade

O escoamento dos hidrocarbonetos em meio saturado sempre é bifásico por serem compostos orgânicos que apresentam baixa miscibilidade em água. A fase composta pelos hidrocarbonetos que não se diluem em água recebe a denominação de NAPL (non-aqueous phase liquid) ou fase líquida não aquosa (GUIGUER, 2000). O NAPL comporta-se como um fluido não molhante na maioria dos meios saturados; por isso ele é armazenado no centro dos poros numa situação de saturação insular. Entretanto, na zona não saturada o NAPL comporta-se como o fluido molhante, e espalha-se para os poros adjacentes. Este espalhamento resulta em uma redução ao nível de concentração residual à sua situação anterior, significando que uma quantidade maior de NAPL é adsorvida na zona não saturada do que na zona saturada (MARQUES, 2007).

De acordo com a densidade do hidrocarboneto existem dois tipos de fases NAPLs (GUIGUER, 2000):

- LNAPL (light non-aqueous phase liquid ou fase líquida não aquosa leve): caracterizada por possuir densidade menor que a água doce. Os hidrocarbonetos com essa característica estão comumente associados com a produção, refino e distribuição de produtos do petróleo, por exemplo, a gasolina, o óleo diesel e o querosene. A densidade da gasolina varia de 0,72 a 0,78 mg mL⁻¹, daí a definição de líquido não aquoso mais leve que a água.
- DNAPL (dense non-aqueous phase liquid ou fase líquida não aquosa densa): caracterizada por possuir densidade maior que a água. Os hidrocarbonetos com essa característica estão relacionados principalmente às atividades industriais, onde são utilizados, por exemplo, hidrocarbonetos clorados, PCBs (bifenilas policloradas), antraceno, pireno, 1,1,1-TCE e fenol.

3.4.3. Caracterização das Fases dos hidrocarbonetos

Após o vazamento de derivados de petróleo, os hidrocarbonetos se infiltram no solo e interagem com o mesmo manifestando-se de diversas formas. A fase em que os hidrocarbonetos se encontram no solo regula quais fenômenos governam o processo de migração, onde essas fases são redistribuídas no solo por vários processos de transferência e transformação.

Segundo a USEPA 2003 apud Mariano (2006) o transporte dos hidrocarbonetos no solo é caracterizado pela formação de quatro fases distintas: fase líquida residual ou fase adsorvida, fase líquida livre, fase dissolvida e fase de vapor.

A quantidade de produto que irá atingir o lençol freático dependerá da sua quantidade inicial, da distância vertical que separa o ponto de vazamento ou derramamento do lençol freático e da quantidade residual de produto que ficará retida pelo solo (OLIVEIRA, 1992).

3.5. Água Subterrânea

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, fraturas, falhas ou fissuras de rochas compactas, que sendo submetida às forças de adesão e gravidade desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela de água precipitada (BORGUETTI et al., 2004).

A maior parte das águas subterrâneas origina-se de água da chuva, a qual se infiltra através da zona insaturada. Durante este processo, a composição da água é constantemente modificada pelas interações com os constituintes minerais do solo e das rochas. Os constituintes químicos das águas subterrâneas podem ser influenciados por três fatores: deposição atmosférica, processos químicos de dissolução e/ou hidrólise no aquífero, e mistura com esgoto e/ou águas salinas por intrusão (SILVA FILHO *et al.*, 1993 apud SILVA, 2002).

No Brasil, a água subterrânea abastece cerca de 60% do uso doméstico da população (IBGE, 2001 apud SILVA, 2002), sendo que em estados como São Paulo, Maranhão e Piauí, este número alcança 80%. Diante desta inegável importância para grande parte da sociedade e da maior conscientização sobre assuntos ambientais, a questão de contaminação de água subterrânea é um assunto que desperta interesse.

3.5.1. Ocorrência e Importância

A água subterrânea vem se constituindo como uma fonte alternativa de abastecimento doméstico e industrial. A Primeira Conferência Mundial da Água, realizada em Mar Del Plata, 1977, considerou que cerca de 70 % das cidades carentes de água potável no Terceiro Mundo

poderiam ser abastecidas de forma mais barata e rápida, utilizando-se águas subterrâneas. (REVISTA CREA RJ, 1999 apud CORDAZZO, 2000).

3.5.2. Contaminação em Águas Subterrâneas

Segundo Cleary (1989) apud Silva (2004), águas subterrâneas apresentam um fluxo do tipo laminar e se caracterizam por se moverem lentamente; seu tempo médio de residência é de 280 anos, enquanto que o dos rios e lagos não mais do que uma semana. Isso significa que a recarga anual das águas subterrâneas é muito pequena, o que as torna reservas confiáveis e não dependentes das flutuações pluviométricas; mas ao mesmo tempo, significa também que, uma vez poluídas, poderão levar séculos ou mais tempo para promoverem sua auto-descontaminação (processos naturais).

A água subterrânea, em geral, é menos vulnerável à contaminação do que a superficial, já que existe uma camada de solo que a protege, entretanto, quando ela é contaminada as ações de remediação podem ser mais dispendiosas e pode não haver tecnologia adequada disponível (USEPA, 1999).

Considerando que a água subterrânea e o subsolo não estão visíveis, o risco de contaminação é muito mais elevado, assim, os poluentes antropogênicos podem contaminar o lençol freático ao integrar-se ao ciclo hidrogeológico da natureza ou ao atingir uma fonte receptora de água subterrânea. Com isto, os limites da intervenção humana não deveriam ser ultrapassados, sob pena de caracterizar-se uma situação de perigo para a humanidade, resultante do esgotamento de suas reservas e/ou a sua degradação (AIRES *et al.*, 1999 apud SILVA, 2002).

Os problemas gerados pela contaminação do solo e da água subterrânea por hidrocarbonetos são vários. Sanches (1998) apud Mariano (2006) aponta três problemas principais: existência de riscos à segurança das pessoas e das propriedades, riscos à saúde pública e dos ecossistemas e restrições ao desenvolvimento urbano e imobiliário.

De acordo com a CETESB (2001), o potencial de poluição da água subterrânea depende:

- Das características, da quantidade e da forma de lançamento do poluente no solo;
- Da vulnerabilidade intrínseca do aquífero (tipo de aquífero, a profundidade do nível d'água e as características dos estratos acima da zona saturada).

3.6. Gerenciamento de Áreas Contaminadas

As principais diretrizes brasileiras vigentes relacionadas ao gerenciamento de áreas contaminadas são ditadas pela CETESB. De acordo com a Decisão de Diretoria N° 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007 da CETESB, que dispõe sobre o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, o gerenciamento visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente em decorrência de exposição às substâncias provenientes das áreas contaminadas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

Com o objetivo de otimizar recursos técnicos e econômicos, a metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas baseia-se em uma estratégia constituída por etapas sequenciais, onde a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior. Trata-se de procedimento para a identificação, priorização e investigação destas áreas e de procedimento para o cadastramento das informações coletadas. Essas informações visam subsidiar a definição do planejamento e da implantação de medidas de remediação, de controle institucional, de engenharia ou emergenciais (CETESB, 2007).

A metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas, de acordo com a Decisão de Diretoria, é composta por dois processos: o de identificação e o de reabilitação de áreas contaminadas.

O **processo de identificação de áreas contaminadas** tem como objetivo principal definir a existência e a localização das áreas contaminadas sob investigação e é constituído por quatro etapas:

1. Definição da região de interesse;
2. Identificação de áreas com potencial de contaminação;
3. Avaliação preliminar; e,
4. Investigação confirmatória.

O **processo de reabilitação de áreas contaminadas** tem como objetivo principal possibilitar a adoção de medidas corretivas visando atingir as metas estabelecidas para um uso

preestabelecido, adotando-se, desta forma, o princípio da “aptidão para o uso”. É constituído por seis etapas:

1. Investigação detalhada;
2. Avaliação de risco;
3. Concepção da remediação;
4. Projeto de remediação;
5. Remediação; e,
6. Monitoramento.

Na realização das etapas dos processos de identificação e de reabilitação de áreas contaminadas, em função do nível das informações ou dos riscos existentes em cada uma das áreas em estudo, estas podem ser classificadas como área com potencial de contaminação (AP), área suspeita de contaminação (AS), área contaminada sob investigação (AI), área contaminada (AC), área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) e área reabilitada para o uso declarado (AR).

Na metodologia desenvolvida para o gerenciamento de áreas contaminadas pela CETESB são considerados, basicamente, as características da fonte de poluição, das vias de transporte dos contaminantes e dos receptores a serem protegidos.

3.7. Modelos de Simulação

A palavra modelo possui muitas nuances em seu significado, contudo, de modo geral, modelo pode ser compreendido como sendo “qualquer representação simplificada da realidade” ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A definição dada por Haggett e Chorley (1967) ainda permanece como a mais adequada e utilizada, e assinala que “modelo é uma estrutura simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade”.

Os modelos, segundo a linguagem utilizada, podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias (BRUNET; FERRAS ; THÉRY, 1993 apud CHRISTOFOLETTI, 1999):

- a) Modelos Matemáticos: eventualmente apresentados sob a forma de equações, com enunciados matemáticos para simular um sistema;
- b) Modelos de Sistema (lógicos): procuram representar a estrutura do sistema e identificar elementos, fluxos e retroalimentações;
- c) Modelos Preditivos: construídos como imagens de sistemas, matrizes de relações entre os elementos de um sistema espacial, prevêm a sua evolução quando se modificam alguns parâmetros, isto é, certas condições de *input* e valores das variáveis de seus elementos e das relações;
- d) Modelos Gráficos: representam a estrutura de um espaço geográfico

Comumente a todos os modelos, as principais características que os definem são (CHRISTOFOLETTI, 1999):

- Seletividade de informações e priorização de dados a serem considerados;
- Estruturação dos aspectos da realidade, estabelecendo conexões integrativas, buscando representar as relações propiciadas na dinâmica dos processos ou correlação das variáveis;
- Caráter enunciativo, ou potencial de sugestões para sua ampliação e generalização, sendo que há 2 aspectos inerentes: 1) a estruturação integrativa do modelo pode enunciar que as implicações do conjunto são maiores do que as supostas pelas partes individuais; 2) há o potencial enunciativo para previsões sobre aspectos do mundo real, ganhando caráter especulativo;
- Simplicidade de entendimento e simulação por parte dos usuários;
- Analogia com a realidade;
- Reaplicabilidade para outros casos da mesma categoria.

Segundo o mesmo autor, os instrumentos básicos para a construção de um modelo consistem no raciocínio lógico, com pressupostos (derivados de observações ou fundamentações teóricas), deduções e conclusões; redução escalar da realidade buscando estabelecer a mais adequada analogia possível; formulações matemáticas representativas dos processos e dinâmicas

e análise dos sistemas considerados e simulação computacional, facilitando cálculos e simulações quantitativas.

3.7.1. Modelagem Matemática de Fluxos Subterrâneos

A proteção e descontaminação dos recursos hídricos subterrâneos dependem principalmente da quantificação do fluxo e do transporte de contaminantes em águas subterrâneas. Estes parâmetros podem ser determinados de diversas formas, seja por medidas de campo ou por modelagem matemática. A abordagem utilizando as medidas de campo é a mais direta e a mais precisa, todavia, raramente é utilizada com exclusividade, haja vista seus altos custos e aos longos prazos que necessita para caracterizar o seu comportamento (CLEARY, 1991).

Desta maneira, a modelagem matemática é a abordagem quantitativa mais utilizada pelos órgãos governamentais e empresas de consultoria. Os modelos matemáticos empregam uma equação ou uma série de equações que simulam e prevêm respostas físico-químicas de um aquífero sujeito a perturbações, tais como poços de injeção ou extração ou a migração de um resíduo tóxico (CLEARY, 1991).

O modelo matemático representa o comportamento do sistema físico real da água subterrânea pela resolução das equações matemáticas que regem os processos atuantes. Os procedimentos ou passos efetuados no computador para a resolução das equações, utilizadas para construir o modelo matemático, constituem o programa de computador ou aplicativo ou simulador matemático. Este programa, construído para resolver as equações parciais através de algoritmos numéricos é denominado de “modelo genérico” (BONGANHA, 2007).

Na aplicação da modelagem matemática em águas subterrâneas, o programa utilizado é o fluxo de água subterrânea necessário para a otimização do sistema de abastecimento que, dentre suas diversas aplicações, permite (BONGANHA, 2007):

- entender tridimensionalmente, a dinâmica de sistemas complexos de fluxo de água subterrânea;
- avaliar o regime de exploração das águas subterrâneas;
- determinar Zona de Captura dos poços, fundamental para o zoneamento de proteção de captações;

- planejar e otimizar sistemas de abastecimento de água através da determinação das melhores localizações dos poços;
- otimizar sistemas de rebaixamento de lençol freático

A equação diferencial parcial tridimensional, aplicada a um modelo matemático, que governa o fluxo de água subterrânea, considerando-se um meio heterogêneo, anisotrópico e em estado transiente, é derivada através da combinação matemática da equação de balanço de água e da lei de Darcy (CLEARY, 1989 apud BONGANHA, 2007).

Considerando-se um volume elementar representativo de um aquífero, com os eixos do sistema de coordenadas coincidentes com as principais direções do tensor de condutividade hidráulica, isto é, x, y e z co-lineares a K_x , k_y , e k_z , respectivamente, e considerando a água com uma densidade constante, a equação fundamental de fluxo de água subterrânea é representada pela equação 3.1 mostrada a seguir (CLEARY, 1991).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W(x, y, z, t) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{Equação 3.1})$$

onde:

h = carga hidráulica [L];

k_{xx} , k_{yy} e k_{zz} são os valores de condutividade hidráulica ao longo dos eixos x, y e z, respectivamente [L/T];

S_s = coeficiente de armazenamento específico [1/L];

t = tempo;

$W(x,y,z,t)$ = representa fontes ou sumidouros de água [L^3/TL^3].

Para a construção de um modelo matemático que represente um sistema real, de fluxo de água subterrânea, são adotados os seguintes procedimentos:

- 1) desenvolvimento do modelo conceitual, que envolve todo o levantamento e interpretação de dados e observações do sistema real;

-
- 2) seleção do programa a ser utilizado segundo as necessidades e os dados existentes (escolha do aplicativo matemático);
 - 3) tradução do modelo conceitual para a linguagem matemática, construindo-se os diversos bancos de dados para a entrada das informações no programa selecionado;
 - 4) calibração do modelo matemático construído de forma a diminuir as incertezas inerentes a uma representação simplificada (modelo matemático) de um sistema real, em geral, complexo.

Modelo Conceitual

Segundo Bonganha (2007) o modelo conceitual consiste em compreender o sistema hidrogeológico em questão com base na interpretação e análise semiquantitativa dos dados de forma a identificar as unidades hidroestratigráficas e suas características hidráulicas e o sistema de fluxo da água subterrânea. Este modelo conceitual norteará a definição do domínio do modelo, do tipo de aquífero a ser modelado, das condições iniciais e de contorno, e das fontes e sumidouros de água no sistema.

A seleção do aplicativo matemático a ser empregado depende de vários fatores, tais como: objetivo do trabalho, problema a ser resolvido com o modelo matemático, complexidade do modelo conceitual, tempo e recursos disponíveis. Estes fatores determinarão a decisão das opções entre um modelo analítico ou numérico, bi ou tridimensional, diferenças finitas ou elementos finitos, fluxo de água subterrânea ou transporte de massa (BONGANHA, 2007).

Elementos do Modelo Matemático

Para a construção do modelo matemático é necessário traduzir o modelo conceitual da área, definido com base nos dados hidrogeológicos e hidrológicos, para a linguagem do programa escolhido. Assim, a discretização da malha, a delimitação das condições de contorno e das condições iniciais devem ser adequadamente introduzidas de modo que o aplicativo matemático, escolhido para a construção do modelo matemático, represente as condições reais do sistema hidrogeológico.

Os elementos para a definição do modelo matemático são (BONGANHA, 2007):

Grade do Modelo: no método das diferenças finitas, a área modelada é discretizada por uma grade ou malha, desenhada por linhas, colunas e camadas, que definem o conjunto de células

onde serão colocadas as condições de contorno e também serão calculadas as cargas hidráulicas e velocidades da água subterrânea. Antes da discretização da malha é necessário definir o domínio do modelo, isto é, a área dentro da região de interesse que será modelada.

A grade discretizada no modelo pode ser refinada nas áreas de maior interesse ou onde existem altos gradientes hidráulicos, como ao redor de poços, para aumentar a definição e precisão no cálculo das cargas hidráulicas e velocidades.

O Processo de Calibração consiste no ajuste do modelo matemático simulado ao sistema hidrogeológico estudado. Neste processo, os parâmetros hidrogeológicos e as condições de contorno são ajustados para que as cargas hidráulicas simuladas pelo modelo matemático sejam semelhantes às aquelas observadas no sistema real.

O processo de calibração mais comumente utilizado é o de “tentativa e erro”, no qual os parâmetros são ajustados manualmente por simulações sucessivas e comparação entre as cargas hidráulicas calculadas e observadas. Quando a diferença entre a carga hidráulica calculada e observada atingir um valor aceitável, previamente definido, o modelo será considerado calibrado. Este valor é também chamado de “critério de calibração” e a diferença entre as cargas hidráulicas é tratada como “resíduo”. A média dos resíduos (denominado nos programas como ME - “*mean error*”) é simplesmente a média da diferença entre as cargas hidráulicas calculadas pelo modelo (h_{calc}) e observadas (h_{obs}). Esta média do resíduo é calculada pela equação 3.2:

$$ME = 1/n \sum_{i=1}^n (h_{obs} - h_{calc})_i \quad (\text{Equação 3.2})$$

onde n é o número de valores de calibração.

Este cálculo da média do resíduo considera os valores positivos e negativos, enquanto que a média do resíduo absoluto (referenciado como ME, “*mean absolute error*”) considera o valor absoluto da diferença entre a carga hidráulica observada e a calculada. Esta média absoluta é obtida pela equação 3.3.

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n | (h_{obs} - h_{calc})_i | \quad (\text{Equação 3.3})$$

Dessa forma, adota-se também um outro critério relativo à diferença de carga hidráulica total (H) no domínio do modelo, denominado neste trabalho de “porcentagem de resíduo” e representado por: % resíduo = RMS/ H, onde se pode assumir um valor inferior a 10% como aceitável.

3.7.2. Modelagem Aplicada ao RBCA

O modelo RBCA diversas equações generalizadas para cálculo de quantidades de ingresso de contaminantes aos receptores e determinação dos fatores de toxicidade e carcinogenicidade. Tais equações são apresentadas no item 3.8.1 do presente estudo.

Com relação aos modelos utilizados, tem-se os cálculos para mecanismos de transporte em água subterrânea e fatores de atenuação do contaminante no meio, representados nos dados de saída do *software* pelo fator de atenuação natural (NAF). Cabe salientar que todas as simulações realizadas através do RBCA consideram uma condição *steady-state*, ou seja, concentração na fonte e fluxo permanente, correspondendo a uma situação de máxima exposição (TAKEUCHI, 2008).

Segundo tese do mesmo autor, as variáveis consideradas no transporte e atenuação são regidas basicamente pelas equações apresentadas abaixo:

Coeficiente de Difusão Efetiva: é utilizado o modelo de Johnson e Ettinger (1991) que mostra as relações da equação do transporte de contaminantes com os coeficientes de Henry (H), coeficientes de difusão efetiva do composto puro na água (D^{wat}) e no ar (D^{air}), porosidade total da matriz (θ_t), conteúdo volumétrico de ar (θ_a) e água (θ_w), resultando no coeficiente de difusão efetiva (D^{eff}) em meio poroso (n):

$$D_n^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{a(n)}^{3.33}}{\theta_{t(n)}^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{w(n)}^{3.33}}{\theta_{t(n)}^2} \quad (\text{Equação 3.4})$$

Coeficiente de Difusão Efetiva na Zona Não Saturada:

$$D_s^{eff} \left[\frac{cm^2}{s} \right] = D^{air} \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_t^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_t^2} \quad (\text{Equação 3.5})$$

onde,

D^{air} = coeficiente de difusão do composto de interesse no ar (cm^2/s);

D^{wat} = coeficiente de difusão do composto de interesse na água (cm^2/s);

θ_{as} = conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada ($\text{cm}^3\text{-ar}/\text{cm}^3\text{-solo}$);

θ_{ws} = conteúdo volumétrico de água na zona não saturada ($\text{cm}^3\text{-água}/\text{cm}^3\text{-solo}$);

θ_t = porosidade total da zona não saturada ($\text{cm}^3\text{-vazios}/\text{cm}^3\text{-solo}$);

H = coeficiente da Lei de Henry ($\text{cm}^3\text{-água}/\text{cm}^3\text{-ar}$).

Coeficiente de Difusão Efetiva na Franja Capilar: esta equação deriva diretamente da Equação 3.4, substituindo-se os conteúdos volumétricos do meio poroso pelos da franja capilar.

$$D_{\text{cap}}^{\text{eff}} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right] = D^{\text{air}} \frac{\theta_{\text{acap}}^{3.33}}{\theta_t^2} + D^{\text{wat}} \frac{1}{H} \frac{\theta_{\text{wcap}}^{3.33}}{\theta_t^2} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Coeficiente de Difusão Efetiva nas Fendas das Fundações: indica a difusão através das fendas existentes nas fundações das construções e é representado através da igualdade:

$$D_{\text{crack}}^{\text{eff}} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right] = D^{\text{air}} \frac{\theta_{\text{acrack}}^{3.33}}{\theta_t^2} + D^{\text{wat}} \frac{1}{H} \frac{\theta_{\text{wcrack}}^{3.33}}{\theta_t^2} \quad (\text{Equação 3.7})$$

Coeficiente de Difusão Efetiva Acima do Nível d'Água: corresponde a difusão de uma substância de interesse através da região compreendida entre a zona não saturada e a franja capilar. Por serem zonas de características e comportamentos distintos, o coeficiente é representado por:

$$D_{\text{ws}}^{\text{eff}} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right] = \left(h_{\text{cap}} + h_v \right) \left[\frac{h_{\text{cap}}}{D_{\text{cap}}^{\text{eff}}} + \frac{h_v}{D_s^{\text{eff}}} \right]^{-1} \quad (\text{Equação 3.8})$$

onde,

$D_{\text{cap}}^{\text{eff}}$ = coeficiente de difusão efetiva na franja capilar;

D_s^{eff} = coeficiente de difusão efetiva na zona não saturada;

H_{cap} = espessura da franja capilar;

h_v = espessura da zona não saturada.

Coeficiente de Partição Fase Retida-Água Intersticial do Solo: apresenta taxa de concentração de um constituinte orgânico presente na água intersticial decorrente da lixiviação da fase retida no solo afetado.

$$K_{sw} \left[\frac{(mg / L - \text{água})}{(mg / kg - \text{solo})} \right] = \frac{\rho_s}{\theta_{ws} + K_d \rho_s + H \theta_{as}} \quad (\text{Equação 3.9})$$

onde,

θ_{ws} = conteúdo volumétrico de água no solo;

θ_{as} = conteúdo volumétrico de ar no solo;

ρ_s = densidade do solo seco;

K_d = coeficiente de partição solo-água;

H = coeficiente da Lei de Henry.

Fator de Lixiviação do Solo Subsuperficial para a Água Subterrânea (LF):

$$LDF = 1 + \left(\frac{U_{gw} \times \delta_{gw}}{I \times W} \right) \quad (\text{Equação 3.10})$$

$$LF = \left[\frac{(mg / L - \text{água})}{(mg / kg - \text{solo})} \right] = \frac{K_{sw}}{LDF} \times 10^0 \frac{cm^3 - kg}{L - g} \quad (\text{Equação 3.11})$$

onde,

U_{gw} = velocidade de Darcy (cm/ano);

δ_{gw} = espessura da pluma dissolvida (cm);

I = taxa de infiltração do solo (cm/ano);

W = maior média da área fonte paralela à direção do fluxo subterrâneo (cm);

LDF = fator de diluição por lixiviação do solo para água subterrânea (adimensional);

K_{sw} = coeficiente de partição fase retida-água intersticial do solo (cm^3 -água/g-solo).

Cabe salientar que para o cálculo do LF assume-se a constância nos valores de concentração das substâncias químicas de interesse e ausência de processos biodegradativos.

Fatores de Volatilização: associam as concentrações de uma substância de interesse no ar e concentrações nos outros meios, sendo alguns ilustrados a seguir:

Volatilização do Solo Superficial para a Zona de Respiração:

$$VF_{ssamb} = \left[\frac{(mg / m^3 - ar)}{(mg / kg - solo)} \right] = \frac{C_{v,amb}}{C_s} = \frac{W \rho_s d}{U_{ar} \delta_{ar} \tau} \times 10^3 \frac{cm^3 - kg}{m^3 - g} \quad (\text{Equação 3.12})$$

onde,

$C_{v, amb}$ = concentração de vapor em ambiente aberto (mg/m^3);

C_s = concentração retida em solo superficial (mg/kg);

W = maior comprimento da area fonte paralela ao vento (cm);

ρ_s = densidade do solo (g/cm^3);

d = menor profundidade da zona de solo superficial (cm);

U_{ar} = velocidade do ar na zona de mistura do ambiente aberto (cm/s);

δ_{ar} = altura da zona de mistura do ambiente aberto (cm);

τ = tempo médio do fluxo de vapor (s).

Volatilização da Água Subterrânea para Ambientes Fechados

$$VF_{wesp} = \left[\frac{(mg / m^3 - ar)}{(mg / L - \acute{a}gua)} \right] = \frac{C_{v,esp}}{C_w} = \frac{H \left[\frac{D_{ws}^{eff} / L_{gw}}{ER \times L_B} \right]}{1 + \left[\frac{D_{ws}^{eff} / L_{gw}}{ER \times L_B} \right] + \left[\frac{D_{ws}^{eff} / L_{gw}}{(D_{crack}^{eff} / L_{crack}) \eta} \right]} \times 10^3 \frac{L}{m^3} \quad (\text{Equação 3.13})$$

onde,

$C_{v, amb}$ = concentração de vapor em ambiente fechado (mg/m^3);

C_w = concentração dissolvida na água subterrânea (mg/L);

H = coeficiente da Lei de Henry ($cm^3\text{-}\acute{a}gua/cm^3\text{-}ar$);

D_{ws}^{eff} = coeficiente de difusão efetiva acima do nível d'água (cm^2/s);

L_{gw} = profundidade do nível d'água (cm);

ER = taxa de renovação do ar em espaços fechados (l/s);

L_B = razão entre o volume do espaço fechado e a área de infiltração (cm);

D_{crack}^{eff} = coeficiente de difusão efetiva através das fendas das fundações (cm²/s);

L_{crack} = espessura da fundação da construção (cm);

η = fração da área da fundação com fendas (cm²-fendas/cm²-área total).

3.8. Avaliação de Risco e Diagnóstico Geoambiental

As dificuldades tecnológicas e econômicas associadas à remediação de solos e aquíferos e a falta de critérios de qualidade ambiental que levem em consideração fatores específicos do local contaminado têm dificultado tanto as ações dos órgãos de controle ambiental como a das partes responsáveis pela contaminação. A utilização dos mesmos critérios utilizados para padrões de potabilidade de água não é adequada, uma vez que grandes gastos podem ser feitos em locais de poucos riscos ao meio ambiente (CORSEUIL; MARINS, 1998). Esta situação vem obtendo melhora em função das inovações tecnológicas e modificações nas legislações cabíveis, mas ainda constitui-se como questão a ser amplamente estudada e discutida.

Em função da necessidade da implantação de regras específicas para solos, países como os Estados Unidos e a Holanda desenvolveram metodologias de avaliação de áreas degradadas que levam em consideração avaliações de risco como ferramenta de tomada de decisão. Deste modo, os padrões são estabelecidos considerando-se as condições e os riscos do local contaminado (CORSEUIL; MARINS, 1998).

Seguindo o exemplo de países industrializados da América do Norte e da Europa, a tomada de decisão sobre a remediação de áreas impactadas no Brasil vem sendo realizado por meio da metodologia de avaliação de risco (PEDROZO et al., 2002).

O desenvolvimento de instrumentos legais como o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2001) tem exigido um encaminhamento efetivo para o controle da poluição por petróleo e seus derivados (MICHELS et al, 2004).

Nos Estados Unidos, a *American Society for Testing and Materials* - ASTM homologou em 1995 uma metodologia chamada de Ação Corretiva Baseada em Risco - RBCA (*Risk Based Corrective Action*), que foi desenvolvida especificamente para hidrocarbonetos de petróleo (ABNADUR, 2005).

A avaliação de risco representa uma das etapas mais importantes do gerenciamento ambiental de áreas impactadas ou de áreas potencialmente perigosas à saúde humana em relação à liberação de compostos químicos no meio ambiente. A tomada de decisão baseada no risco permite avaliar a necessidade de aplicação de ações corretivas adequadas ao local em função do risco real ou potencial de uma área específica, possibilitando, assim, uma melhor alocação dos recursos para remediação, garantindo a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

As metodologias de avaliação de risco à saúde humana empregadas no Brasil são baseadas nas metodologias norte-americana ou holandesa (ABNADUR, 2005).

De maneira inicial, foram publicadas no ano de 2009 pela CETESB as Planilhas de Avaliação de Risco, resultado de estudos e compilações realizadas por profissionais da área. As premissas contidas nas planilhas basicamente seguem o preconizado pela EPA e ASTM, de modo a padronizar e estabelecer parâmetros condizentes com a realidade nacional à avaliação no estado de São Paulo.

Em se tratando de combustíveis, na maioria dos casos, os vazamentos têm origem nos dutos e tanques de armazenamento. Apesar dos significativos avanços e melhorias implementados nas atividades de exploração, transporte e armazenamento de petróleo, essas atividades envolvem grandes riscos, como evidenciam os históricos de acidentes ambientais (PEDROZO et al., 2002).

No entanto, observa-se que nem todas as áreas contaminadas representam um risco para o meio ambiente ou à saúde humana. O risco só existirá se as concentrações de contaminantes excederem determinados limites considerados aceitáveis, se os receptores sensíveis fizerem parte do cenário e se as rotas de exposição forem completadas (CETESB, 2000). Desta forma, a caracterização de uma área impactada em termos de uso e ocupação do solo, bem como o seu entorno, torna-se um aspecto fundamental para a avaliação de risco.

A estrutura da metodologia de avaliação de riscos à saúde humana e ao meio ambiente proposta pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (USEPA, 1989) foi desenvolvida de maneira que facilitasse a apresentação e o entendimento dos resultados pelo público em geral. São indicadores passíveis de acompanhamento e avaliação sistemáticos. Uma parte crítica de todo o processo é a contínua melhoria da qualidade dos dados que geram as estimativas numéricas de risco. Assim, as estimativas serão tão boas quanto a qualidade dos dados que as

suportam. À medida que diminuem seu grau de incerteza, mais acurado e preciso será o índice numérico. Os resultados obtidos por meio das medidas de atividades realizadas e dos indicadores, incluindo-se os resultados da avaliação de risco, devem ser integrados a informações da engenharia, interesses sociais, econômicos e políticos para o gerenciamento de riscos. O gerenciamento de riscos pode ser definido como um processo de ponderação e seleção das mais apropriadas alternativas de remediação, sendo utilizado para orientar cientificamente as decisões ambientais (Castilhos *et al*, 2003).

O risco à saúde humana pode ser definido como a possibilidade de um evento nocivo (morte, dano ou perda) ocorrer como resultado da exposição a agentes físicos ou químicos em condições específicas. A estimativa do risco que os compostos químicos do petróleo em áreas impactadas podem oferecer a saúde humana e ao meio ambiente é baseada em um modelo conceitual de exposição. Este modelo é criado por meio de um cenário que é composto pela fonte de contaminação, mecanismos de transporte e receptores (U.S. EPA, 1997).

A fonte de contaminação representa a origem do derramamento, geralmente onde são encontradas as mais altas concentrações de contaminantes. Os mecanismos de transporte representam os processos de transferência de massa dos contaminantes através do solo, água e ar. No caso da água subterrânea, em função do fluxo do aquífero, os compostos dissolvidos são transportados por meio da zona saturada do solo formando plumas. As plumas de contaminantes podem então atingir receptores, como poços de captação ou recursos hídricos superficiais, localizados em uma posição à jusante da fonte de contaminação (MICHELS *et al*, 2004).

O que faz a singularidade de cada local geográfico a ser estudado é sua particular combinação de características. Há, então, infinitos cenários potenciais para avaliação de risco, levando-se em consideração a população de risco, a natureza dos contaminantes, suas toxicidades para diferentes espécies animais e vegetais e para os seres humanos, vias de exposição e a probabilidade da exposição, fatores ambientais que contribuem ou inibem a toxicidade dos contaminantes, mudanças a curto e a longo-prazo na estrutura das comunidades bióticas, e os efeitos das ações moderadoras sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana no ou próximo ao local do estudo (Castilhos *et al*, 2003).

Desta maneira, é indispensável uma caracterização e o diagnóstico geoambiental regional, com abrangência da área a ser estudada. O diagnóstico conta com etapas de coleta de dados em

campo e com a utilização de sistemas de informações geográficas (SIGs), que com auxílio de ferramentas computacionais de manipulação de mapas, imagens digitais e tabelas de dados georreferenciados permitem a integração e combinação das diversas fontes de dados. Desta maneira é possível caracterizar um problema e analisá-lo interativamente fazendo previsões com modelos, que fornecem subsídios para tomada de decisões ou planejamento (FREITAS; MENDES, 1998).

As linhas básicas da metodologia de avaliação de riscos à saúde humana (USEPA, 1989) são mostradas a seguir:

1. Coleta e Avaliação de Dados Disponíveis

- a) reunião e análise de dados relevantes sobre o local de estudo;
- b) identificação dos agentes tóxicos;
- c) formulação de modelo conceitual;

2. Avaliação de Exposição

- a) análise da liberação do contaminante;
- b) identificação das populações expostas;
- c) identificação de todas as potenciais vias de exposição;
- d) estimativa das concentrações de exposição para cada via;
- e) estimativa de dose diária recebida para cada via, para contaminantes individuais;

3. Avaliação de Toxicidade

- a) coleta de informações toxicológicas qualitativas e quantitativas;
- b) determinação dos valores de toxicidade para contaminantes individuais;

4. Caracterização de Risco

- a) caracterização potencial de ocorrência de efeitos adversos à saúde;
 - a.1) estimativa de risco de câncer;
 - a.2) estimativa de quociente de risco para efeitos não cancerígenos;
- b) avaliação de incertezas.

A seqüência das etapas previstas no sistema de gerenciamento é um procedimento lógico para o conhecimento do cenário da contaminação, sua quantificação, e conseqüentemente, para a seleção da tecnologia de remediação mais adequada, o que leva a uma otimização dos recursos e

esforços aplicados na recuperação da área. A seleção de uma tecnologia de remediação está intrinsecamente associada às propriedades físico-químicas das substâncias envolvidas e do solo (litologia, hidroquímica) e dos bens a proteger ameaçados, tendo como objetivo restabelecer ao meio, condições que não ofereçam risco à saúde humana. A ausência de avaliação de qualquer uma das etapas do sistema de gerenciamento pode ocasionar o risco de implementar-se um processo de remediação de custo elevado e eficiência questionável (COUTO, 2006).

3.8.1. Risk Based Corrective Action – RBCA

RBCA é uma metodologia para avaliação de risco toxicológico em áreas contaminadas. Embora aplicável a diversas situações de contaminação, foi desenvolvido de forma específica para os cenários de contaminação envolvendo hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos. É um procedimento que integra métodos de avaliação de exposição e de risco, e modelos matemáticos de transporte de contaminantes, fornecendo subsídios ao processo de tomada de decisão relacionada à alocação de recursos, à urgência de ações corretivas, à necessidade de remediação, aos níveis de remediação aceitáveis e às alternativas tecnológicas aplicáveis (CETESB, 2000).

A metodologia RBCA, tem sido utilizada amplamente pelas autoridades ambientais dos Estados Unidos da América para o gerenciamento de áreas contaminadas, tendo sido desenvolvidas adaptações desta metodologia para as condições específicas de cada região ou estado daquele país. Iniciativas semelhantes têm sido tomadas em outras regiões do mundo, tais como a União Européia, Austrália e Canadá (CETESB, 2000).

Segundo o Nível 2 (*Tier 2*), contido num universo de 3 Níveis de crescente complexidade, dados específicos complementares do local contaminado devem ser levantados, tais como as vias de exposição que de fato ocorrem, tempos de permanência no local para a população exposta, além de outros dados necessários para subsidiar uma avaliação de risco específica, com vistas à obtenção do chamado “*Site Specific Target Level (SSTL)*” Nível 2 (*Tier 2*), que são valores orientadores estabelecidos especificamente para o local (SQUISSATO, 2008).

Caso os valores de concentrações dos contaminantes apresentem-se abaixo dos valores encontrados para as Metas de Remediação, a área em questão deve ser monitorada a longo prazo e, quando necessário, devem ser realizadas revisões na avaliação de risco, verificando possíveis

mudanças nos cenários ou alterações locais que possam influenciar nos cenários utilizados na avaliação. Um esquema das etapas de uma avaliação de risco podem ser observados na figura a seguir:

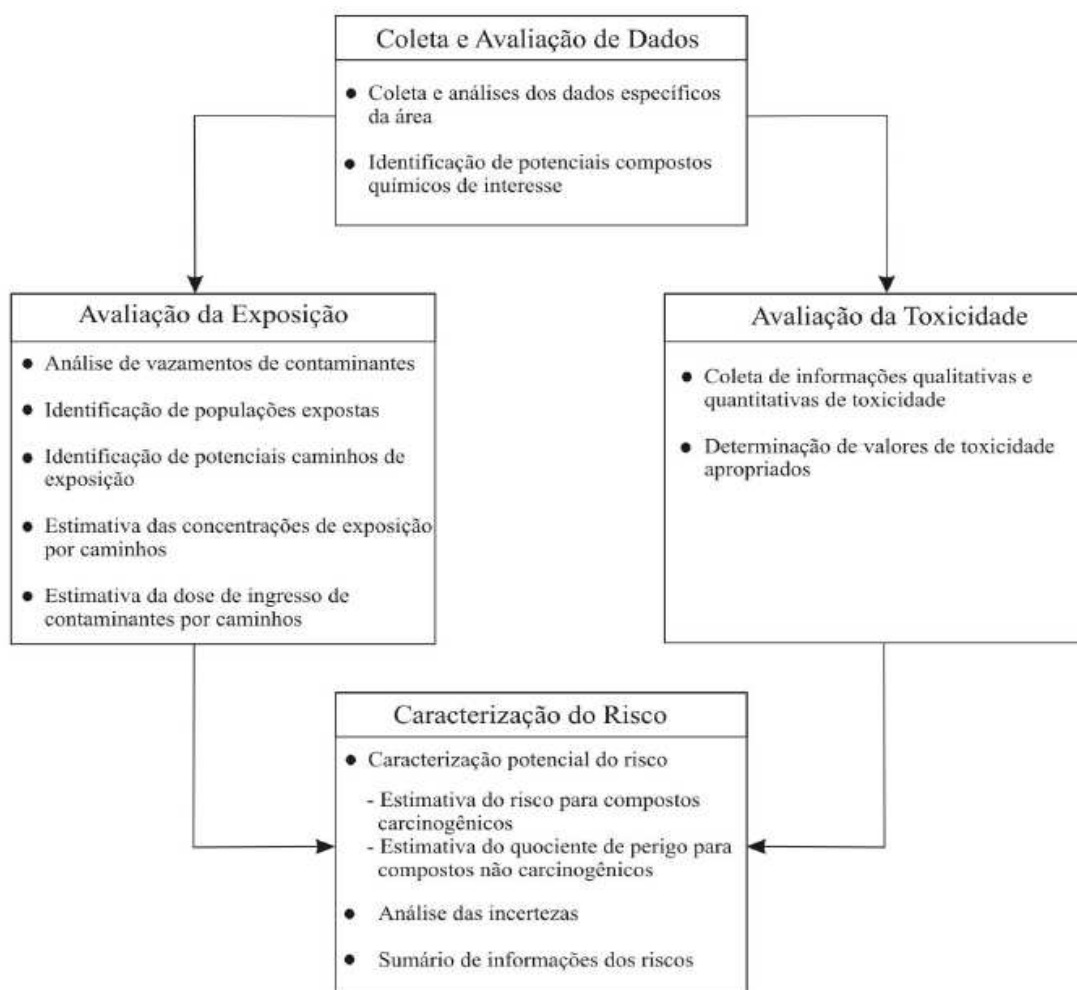


Figura 3.2: Esquema das etapas de uma Avaliação de Risco

Fonte: EPA (1989).

Coleta e avaliação de dados

Após compilação e análise de todos os dados e informações obtidos no diagnóstico geoambiental, tem-se uma caracterização detalhada do meio físico contaminado e a formulação de um modelo conceitual preliminar, abrangendo: compilação de dados e consolidação do histórico ambiental sobre a área, identificação preliminar das fontes de contaminação e

contaminantes associados, identificação dos meios físicos contaminados e dos prováveis caminhos de exposição, identificação dos grupos de indivíduos e populações potencialmente expostas, identificação preliminar dos pontos, fatores e possíveis cenários de exposição, definição e descrição das metodologias a serem utilizadas para o cálculo de transporte do contaminante no meio físico e da Avaliação da Exposição e Caracterização do Risco.

Avaliação da exposição

Consiste na determinação da intensidade, frequência, duração e caminhos da exposição humana, atual ou futura, a determinado contaminante. Esta estimativa tem fundamento nos dados de monitoramento ambiental e resultados da previsão da movimentação e atenuação dos contaminantes. Como resultado final desta etapa, chega-se a uma definição do modelo conceitual de exposição (MCE) e à quantificação das doses de ingresso (In), conforme exposto na Figura 3.3.



Figura 3.3: Estágios da avaliação de exposição (adaptado de EPA, 1989).

O cálculo do ingresso é baseado no conceito de Exposição Máxima Razoável, que se espera ocorrer para cenários de uso atual e futuro da área de estudo. A Exposição Máxima Razoável pode ser definida como o máximo valor de exposição que pode ser aceito em uma

determinada área. A seguir, é apresentada a equação genérica para o cálculo do ingresso de um composto químico, segundo alguns parâmetros de exposição. Três categorias de parâmetros de exposição são utilizados para o cálculo do ingresso: parâmetros relacionados ao composto químico, parâmetros que descrevem a exposição das populações e parâmetros relacionados ao período de exposição.

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (\text{Equação 3.14})$$

onde,

I: Ingresso ou quantidade de contaminante que ingressa no organismo humano por um Caminho de Exposição (mg/kg-dia);

C: Concentração do contaminante no meio focado (mg/L ou mg/kg);

IR: Taxa de contato com o meio focado (L/dia ou kg/dia);

EF: Frequência de Exposição (dias/ano);

ED: Duração da Exposição (Ano);

BW: Peso Corporal (kg);

AT: Período de Exposição (Dias).

Avaliação da Toxicidade

Define-se a toxicidade específica para cada composto químico de interesse, considerando-se os efeitos adversos à saúde associados à exposição ao composto. Para tanto, é necessário avaliar a relação entre a magnitude da exposição, o tipo de efeito adverso e a possibilidade de um composto produzir câncer no indivíduo ao longo da exposição.

Os compostos são avaliados prioritariamente quanto ao seu potencial carcinogênico. Em tese, para substâncias carcinogênicas, não há um nível seguro de isenção de risco. A análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base na determinação do Fator de Carcinogenicidade (SF- *slope factor*) acompanhado do peso da evidência de câncer, sendo o primeiro passo da análise para efeitos carcinogênicos a determinação do peso da evidência de

ocorrência de câncer, o qual pode ser determinado em estudos em animais e humanos. A classificação dos grupos de acordo com seu grau de carcinogenicidade é apresentada Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classificação dos Grupos de acordo com seu Grau de Carcinogenicidade.

Grupo	Descrição
A	Reconhecidamente carcinogênicos para humanos
B1 ou B2	Prováveis carcinogênicos para humanos
B1	Carcinogenicidade apontada com base em estudos limitados para humanos
B2	Carcinogenicidade apontada com base em evidências suficientes para animais, e insuficientes para humanos
C	Possibilidade de causar câncer em humanos
D	Não classificado como carcinogênico para humanos
E	Evidências de não-carcinogenicidade para humanos

Fonte: Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, 2001.

Valores toxicológicos para efeitos carcinogênicos podem ser expressos em termos de risco por unidade de concentração do composto presente em um meio, quando o contato com o ser humano ocorre. Esta medida é chamada de unidade de risco e é calculada por meio da equação:

$$UR = SF \cdot \frac{CR}{BW} \quad (\text{Equação 3.15})$$

onde,

SF: Fator de Carcinogenicidade (1/mg/kg-dia);

CR: Taxa de contato (kg-dia);

BW: Massa Corpórea.

Com relação a compostos de efeito tóxico mas não carcinogênico, determina-se a Dose de Referência (RfD), que é um parâmetro toxicológico que pode apresentar-se em vários tipos, a depender da via de ingresso (inalação, ingestão ou contato dérmico), de efeitos críticos e de extensão da exposição (crônica, subcrônica ou eventos simples).

Para determinação da RfD é imprescindível o estudo de doses críticas, no qual procede-se à determinação do Menor Nível Efeito Adverso Observado (MNEO). O MNEO é determinado em curvas de Dose-Resposta e demonstra o ponto da curva no qual ocorre o primeiro efeito adverso a saúde. A partir do MNEO é determinado o Maior Nível Efeito Adverso não Observado (MNEN).

O cálculo da Dose de Referência para compostos não carcinogênicos, portanto, dá-se por meio da seguinte equação:

$$RfD \text{ (mg / kg .dia)} = \frac{MNEN \text{ ou } MNEO}{UF .MF} \quad \text{(Equação 3.16)}$$

onde,

RfD: Dose de Ingresso Ingestão de Água Contaminada (mg/kg-dia);

MNEN: Maior Nível Efeito Adverso não Observado (mg/kg-dia);

MNEO: Menor Nível Efeito Adverso Observado (mg/kg-dia);

UFI: Fator de Incerteza;

FM: Fator de Modificação.

Caracterização e quantificação dos riscos

Na caracterização do risco integra-se todos os dados obtidos nas etapas anteriores, visando quantificar o risco, por meio dos cálculos do risco para compostos carcinogênicos e não carcinogênicos. Para compostos carcinogênicos, o risco é estimado a partir do SF com a quantificação da dose de ingresso a que um indivíduo está exposto e a probabilidade deste desenvolver câncer ao longo do tempo de sua vida. A igualdade que define o Risco Carcinogênico é dada pela igualdade:

$$Risco = I_n \times SF \quad \text{(Equação 3.17)}$$

onde,

I_n: Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição “n” (mg/kg-dia).

A medida usada para descrever o potencial de ocorrência de efeitos não carcinogênicos associado a um evento de exposição em áreas contaminadas não é expresso como uma probabilidade de ocorrência de efeitos adversos a saúde. Os efeitos não carcinogênicos são avaliados por meio da comparação de um nível de exposição por período de tempo (Dose de Ingresso) com uma Dose de Referência para um período de exposição similar. Esta comparação é representada pelo Quociente de Perigo não Carcinogênico (HQ), conforme apresentado a seguir:

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i} \quad (\text{Equação 3.18})$$

onde,

I_n : Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição “n” (mg/kg-dia);

RfD_i : Dose de Referencia para a Via de Ingresso “i” (mg/kg-dia).

3.8.2. Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) determinou em sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, a elaboração de planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, objetivando padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco realizados no Estado de São Paulo. Essas planilhas têm como objetivo a aplicação na quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de concentrações máximas aceitáveis (CMAs), auxiliando os profissionais que atuam no gerenciamento de áreas contaminadas na elaboração de Planos de Intervenção (CETESB, 2009).

Os cálculos têm como base o procedimento descrito no RAGS - *Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A)* (US.EPA, 1989) para quantificação da exposição e do risco, bem como as equações de Domênico (1987) para transporte de contaminantes em meio saturado, o modelo de Jury e Johnson (1991) para transporte de contaminantes em meio não saturado e Johnson e Etinger (1992) para intrusão de vapores (CETESB, 2009).

Todos os parâmetros de entrada dos modelos matemáticos utilizados foram discutidos por grupo multidisciplinar composto por profissionais da CETESB e especialistas da iniciativa privada, visando o emprego de valores para os fatores de exposição e do meio físico aplicáveis à realidade do Estado de São Paulo. As planilhas encontram-se atualmente sob condição experimental, devendo sofrer aprimoramentos e readequações posteriores.

4. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO

4.1. Primeira Fase: Seleção da Área de Estudo

Inicialmente, selecionou-se uma área para realização do estudo de caso, tendo como principais critérios para sua seleção os seguintes aspectos:

1. Existência de contaminação por hidrocarbonetos, por corresponder à maior parte das áreas contaminadas no Estado de São Paulo e por enquadrar-se na linha de trabalho do Programa PRH/ANP;
2. Localização em região de elevado adensamento de produção e armazenamento de combustíveis, levando à alta vulnerabilidade da área;
3. Disponibilidade de dados bibliográficos e secundários para o estudo.

Tendo em vista os critérios de seleção adotados, a região de Paulínia, devido à seus aspectos físicos, é naturalmente considerada vulnerável a contaminações, situação que se agrava quando considera-se que o município abriga um pólo petroquímico. Segundo o mapa do Instituto Geológico, pode-se verificar a área de estudo e sua inserção, assim como toda a zona industrial da cidade (inserida no quadrado azul), em uma região de alta vulnerabilidade, indicando grande potencial dos contaminantes atingirem corpos d'água subterrâneos.

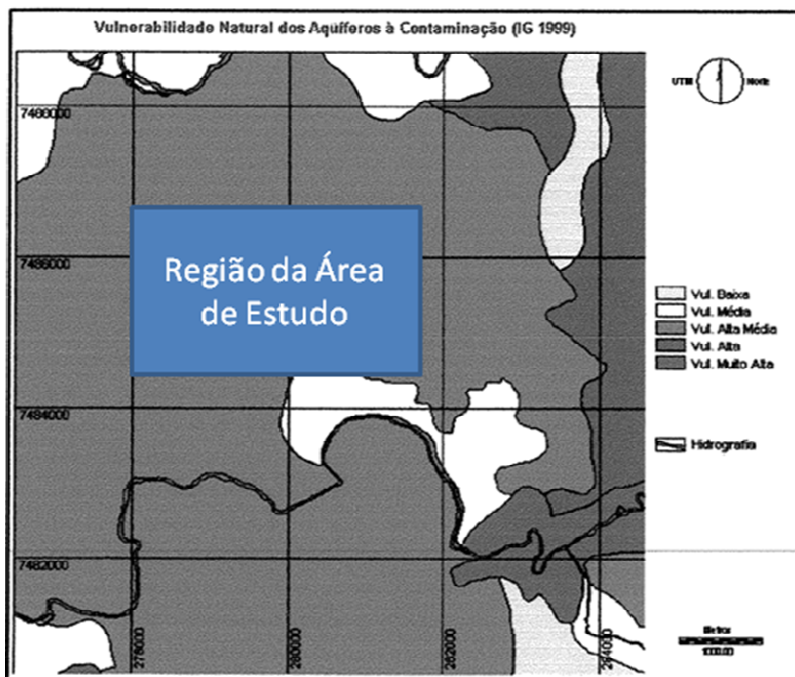


Figura 4.1: Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Contaminação.

Fonte: IG (1999).

Desta maneira, selecionou-se para o presente estudo um empreendimento do ramo de armazenamento de combustíveis localizado na zona industrial no município de Paulínia.

4.2. Segunda Fase: Levantamento Bibliográfico

Nesta etapa buscou-se a pesquisa, reunião e estudo das informações necessárias acerca da metodologia e do tema proposto, por meio da consulta de documentos oficiais dos órgãos e instituições responsáveis pela proposição e aplicação da metodologia RBCA, assim como trabalhos acadêmicos relacionados ao tema e informações necessárias para subsidiar a revisão bibliográfica e realização e complementação do diagnóstico geoambiental da área de estudo.

4.3. Terceira Fase: Diagnóstico Geoambiental

Conforme preconiza a metodologia empregada, o diagnóstico geoambiental consistiu na caracterização detalhada da área, compreendendo o entendimento das dinâmicas do meio físico local e da utilização da área e de seu entorno, sendo subsídio indispensável para a aplicação das metodologias RBCA e da CETESB, por meio do esclarecimento quanto ao estado da

contaminação e dados qualitativos e quantitativos dos meios afetados. Para tanto, utilizou-se das seguintes etapas:

4.3.1. Histórico da Área

Os dados históricos da área foram levantados por meio de informações obtidas junto ao empreendimento da área de estudo;

4.3.2. Levantamentos e Investigações Preliminares

Com relação aos estudos e monitoramentos utilizados no presente estudo, tem-se o seguinte histórico listado em ordem cronológica:

- Avaliação Ambiental Confirmatória. A área já havia sido detectada como contaminada e a avaliação objetivou delimitar a pluma de contaminação, além da realização de uma avaliação de risco local;
- Monitoramento Ambiental;
- Avaliação Detalhada;
- Avaliação Complementar;
- Monitoramento Geral das Águas Subterrâneas e Avaliação Complementar.
- Monitoramento Geral das Águas Subterrâneas e Complementação e Atualização do Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana. Tendo em vista a não adequação da avaliação de risco realizada, o presente estudo vem buscar a realização de nova avaliação de risco, baseada em dados mais completos em relação ao meio físico e maior detalhamento da contaminação na área.

No decorrer das etapas acima descritas foram realizados diversos estudos, sendo que, os mais relevantes são descritos a continuação:

Levantamento de Vapores Orgânicos no Solo

Na área de estudo, foram executadas 80 amostragens de vapores orgânicos do solo (VOC – *Volatile Organic Compounds*), no decorrer dos estudos e monitoramentos, com a finalidade de detectar gases volatilizados oriundos da contaminação por hidrocarbonetos no solo e/ou na água

subterrânea, localmente. As medições de gases foram realizadas *in situ* após a coleta de solo e acondicionamento deste em recipiente apropriado (saco *zip lock*), de modo a evitar o escape de voláteis orgânicos, auxiliando na determinação de amostras de solo a serem quimicamente analisadas e determinar áreas potencialmente contaminadas.

Coletas de amostras deformadas de solo também foram realizadas em diversas profundidades durante a perfuração dos poços (PM-01 ao PM-23), todas elas em superfície (até 1,5m).

Poços de Monitoramento

Na área de estudo em questão, no decorrer das campanhas, foram instalados um total de 23 poços de monitoramento, sendo um deles multinível, todos com a finalidade de coletar amostras de água subterrânea para análises químicas. A instalação de todos os poços seguiu a metodologia prevista na NBR 15.495-1 – Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Construção. A localização dos mesmos baseou-se no histórico de acidentes envolvendo a área e definições estratégicas previstas em planos de trabalho, com vistas a detalhar as plumas de contaminação e verificar possíveis contaminações externas, baseado na determinação do fluxo subterrâneo e dos resultados analíticos das amostras de água.

Exemplos de perfis construtivos de poços podem ser observados no ANEXO A e a localização dos poços de monitoramento na Figura 5.3.

Análises dos parâmetros físicos de solo

Coleta de amostras de solo do tipo deformadas e indeformada foram realizadas para verificação da litologia e posterior utilização na simulação do transporte de contaminantes para as populações expostas. As amostras deformadas foram obtidas pelas sondagens de perfuração de poços de monitoramento e coletas pré-definidas. Por outro lado, a amostra indeformada foi retirada segundo norma ABNT ABNT/NBR 9604/1986 (“Abertura de poços e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas: procedimentos”) e analisada seguindo os procedimentos preconizados pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (1998) em local que se julgou adequado para obtenção de uma

representatividade (estrutura, mineralogia, umidade e matéria orgânica) da área de estudo. A localização das amostragens realizadas encontra-se na Figura 5.3.

Ensaio e caracterização hidrogeológica

Toda caracterização hidrogeológica deu-se por meio dos poços de monitoramento instalados por meio das campanhas de investigação e monitoramento da área.

A metodologia de coleta da água subterrânea para análise obedeceu, em todas as campanhas, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 1999), havendo a execução do esgotamento de toda a água do poço e sua posterior recuperação, para então proceder à coleta por meio da metodologia de micropurga. Com a utilização desta metodologia, a água subterrânea é bombeada diretamente na seção filtrante do poço sob baixa vazão, purgando apenas a zona de amostragem definida.

Com relação ao nível d'água, foram realizadas medições em todos os poços amostrados em cada campanha. Em nenhuma das amostragens foi verificada presença de fase livre.

Em posse dos dados de nível d'água, é possível determinar a direção do fluxo das águas subterrâneas no local de estudo, por meio da determinação da superfície potenciométrica. Contudo, devido às variações que ocorrem nos níveis d'água subterrâneos, os mesmos devem ser medidos nos poços a cada campanha de monitoramento, com o intuito de verificar as variações e possíveis anomalias de fluxo ao longo do tempo. No presente trabalho, foram considerados como representativos os dados da última campanha de monitoramento (Junho de 2007), precedente à avaliação de risco e onde todos os poços existentes foram monitorados e tiveram seus níveis d'água medidos.

Ainda, realizou-se testes para determinação da condutividade hidráulica (K) em meio saturado, por meio do procedimento de *bail test*, que consiste em rebaixar rapidamente um volume de água do poço, procedendo-se em seguida a medição e análise da taxa com que este volume é recuperado por meio do aquífero.

No total, foram realizados 5 testes para determinação da condutividade hidráulica na área de estudo (PM-12A, PM-13, PM-15, PM-17 e PM-19). Os resultados foram interpretados, por meio do programa computacional *AquiferTest 2.5.7, Waterloo Hydrogeologic Inc*, por meio do método de *Hvorslev*, criado em 1951, aplicado a aquíferos rasos e que pressupõe uma extensão

praticamente infinita, pacote geológico homogêneo e de espessura uniforme, isotropia e baixo gradiente hidráulico. A fórmula do método é descrita pela equação abaixo:

$$K = \frac{r^2 \ln\left(\frac{L}{R}\right)}{2LT_o} \quad (\text{Equação 4.1})$$

onde,

K = condutividade hidráulica (cm/s);

L = comprimento do filtro (cm);

R = raio do furo (cm);

r = raio do revestimento do poço (cm);

T_o = tempo onde a altura do nível d'água final medido sobre o nível inicial é igual a 0,37.

Após o tratamento de dados supracitado, procedeu-se ao cálculo da velocidade das águas subterrâneas locais, aplicando a Lei de Darcy:

$$V = \frac{K \cdot i}{n_e} \quad (\text{Equação 4.2})$$

onde,

V = velocidade do fluxo das águas subterrâneas (cm/s);

K = condutividade hidráulica (cm/s);

i = gradiente hidráulico;

n_e = porosidade efetiva.

Outras informações relevantes

Para levantamento de dados necessários à caracterização local foram levantados os dados meteorológicos do Município de Paulínia no ano de 2007 (compatíveis com a data de coleta de dados químicos, níveis de N.A, precipitação, entre outros), por meio de bancos de dados, para avaliar o balanço hídrico local.

Ainda, foram levantados dados topográficos, no decorrer das campanhas em campo, assim como avaliação dos perfis de sondagem dos poços de monitoramento e parâmetros medidos e coletados durante as campanhas, para detalhamento geológico e hidrogeológico da área.

4.3.3 Análises Químicas

Todas as análises químicas correspondentes a amostras de solo (deformadas e indeformadas) e água subterrânea foram enviadas para laboratórios e analisadas prioritariamente para os seguintes parâmetros: Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) e Etanol.

Cabe ressaltar que as amostras foram devidamente acondicionadas em recipientes apropriados e mantidos na temperatura exigida segundo procedimentos recomendados pela CETESB (2001), respeitando, ainda, o tempo de validade de cada análise.

Foram tomados procedimentos para assegurar a qualidade das análises, através da verificação dos brancos de equipamento, LCS e *Surrogates*, garantindo a confiabilidade dos resultados por parte do laboratório e da equipe de campo.

4.4 Quarta Fase: Avaliação de Risco

A metodologia utilizada para proceder à avaliação de risco à saúde humana seguiu a metodologia RBCA nível 2, preconizada pela ASTM (*American Standard for Testing and Materials*), ASTM PS-104 *Standard Provisional Guide for Risk Based Corrective Action* (ASTM 1998) e CETESB (2000). Ainda, baseada na metodologia supracitada, foram utilizadas as planilhas de avaliação de risco disponibilizadas pela CETESB, constituindo-se em um *software* adaptado à realidade brasileira para entrada de dados e quantificação de riscos e metas de remediação.

4.4.1 Metodologia RBCA e Procedimentos

No presente trabalho, foi aplicada à área de estudo, a metodologia RBCA preconizada pela Agência de Proteção Ambiental Americana (*United States Environmental Protection Agency* – U.S.EPA, 1989), no nível *Tier 2*, num universo de 3 níveis de crescente especificidade e

complexidade, sendo que o emprego deste nível se justifica devido à etapa de gerenciamento em que a área contaminada se encontrava.

Coleta e avaliação de dados

Na avaliação dos dados coletados, foram agrupadas todas as informações geradas por meio investigado (solo e água subterrânea), assim como os métodos analíticos utilizados e a qualidade dos dados obtidos. Então, foram comparados os valores das concentrações para os contaminantes, definindo os compostos de interesse. São assumidos, primeiramente, como valores para base de referência, os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (CETESB, 2005). Quando não houver parâmetro determinado pela CETESB para determinado composto-alvo, serão utilizados os valores de referência da Lista Holandesa (2009) e “Tap Water” – EPA (2009) para conferência, salientando que os dois últimos não foram utilizados na determinação das substâncias ingressantes nos cálculos, por se tratarem de referências internacionais não aplicadas em nível nacional.

Avaliação da exposição

Inicialmente, procedeu-se à caracterização da exposição, na qual foram analisados dados sobre o meio físico e sobre as populações dentro e fora da área de interesse, sendo que a população externa considerada abrangeu o raio de 1 km a partir do poço de maior concentração da maior pluma de contaminação, conforme preconizado pela CETESB (2001), culminando na definição detalhada das características associadas ao processo de exposição. Para tanto, fez-se necessária a determinação dos usos atuais e a previsão dos usos futuros da área em estudo e seu entorno, sendo necessário o entendimento dos mecanismos de liberação e transporte do contaminante no meio físico, identificação das populações expostas e suas potenciais vias de contaminação e estimativa das concentrações nos pontos de exposição, para cada via específica, identificando caminhos de exposição e determinando os Parâmetros de Exposição. Cabe salientar que para a estimativa das concentrações optou-se por uma estimativa mais conservadora, tomando como concentração a maior obtida nos laudos analíticos.

A avaliação das informações obtidas permitiu a elaboração dos cenários de exposição, onde foram identificadas as várias possibilidades para que um contaminante, a partir da origem da contaminação, atingisse as populações potencialmente receptoras.

Os principais itens levantados com relação aos contaminantes de interesse para a quantificação das concentrações de exposição, presentes nos dados dos *softwares* utilizados foram: Coeficiente de Partição entre o Carbono Orgânico e Água (K_{oc}), Coeficiente de Partição entre o Solo/Sedimento e Água (K_d), Coeficiente de Partição entre Octanol e Água (K_{ow}), Solubilidade do Contaminante na Água (S), Constante da Lei de Henry (H), Pressão de Vapor (P_v), Coeficiente de Difusão na Água (D_w), Coeficiente de Difusão no Ar (D_a) e Fator de Bioconcentração (BCF).

Os resultados da avaliação da exposição, aliados à caracterização desta, embasaram a quantificação da exposição, uma vez que, após identificados todos os caminhos e populações expostas, aliado aos dados laboratoriais e bibliográficos, a magnitude, a frequência e a duração da exposição para cada caminho identificado puderam ser quantificados, gerando os valores de ingresso dos compostos indicadores para cada via de exposição específica, dados por meio de diversas equações específicas para cada via de ingresso, cujas possibilidades de ocorrência são: inalação, ingestão e contato dérmico.

Avaliação da Toxicidade

Nesta etapa, foram utilizados bancos de dados toxicológicos como fonte de informações sobre a toxicologia dos compostos de interesse e os efeitos adversos à saúde, fornecendo subsídios a determinação do tipo e magnitude do efeito adverso à saúde que é causado pela exposição a um agente tóxico específico e à determinação da dose-resposta (processo de avaliação quantitativa da toxicidade), relacionando-se a dose do contaminante que foi recebida com a incidência de efeitos adversos à saúde em uma dada população exposta.

A partir desta análise pôde-se identificar valores toxicológicos (dose de referência e fator de carcinogenicidade), possibilitando a determinação dos valores utilizados para estimar a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos em função da exposição humana aos compostos químicos de interesse.

Caracterização e quantificação dos riscos

Nesta etapa, foram gerados pelo programa valores referentes aos riscos de exposição, por cenário e por substância de interesse. Os dados que ultrapassaram o valor de $1,0 \text{ E-5}$ para compostos carcinogênicos e $1,0 \text{ E+0}$ para os não-carcinogênicos, foram considerados como potenciais causadores de risco à saúde humana (CETESB, 2001).

A partir das metas de risco aceitáveis, foram geradas as concentrações máximas aceitáveis calculadas para as áreas de interesse, chamadas de Níveis Aceitáveis Baseados no Risco (NABR ou SSTL). Os NABRs são as máximas concentrações dos compostos químicos de interesse dentro do meio físico que não causem riscos à saúde humana, caso um indivíduo ou população fique em exposição.

Cabe salientar que foram considerados os fatores de incerteza associados a cada etapa do processo, havendo a compensação por meio da adoção de uma margem de segurança, adotando valores mais conservadores. Neste momento, as concentrações dos contaminantes medidas nos pontos de exposição e as concentrações teóricas estimadas por meio de modelos de transporte de massa, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do composto de interesse. Esta comparação determinará se os níveis de contaminação atuais ou futuros da área podem produzir algum efeito adverso à saúde humana (seja por meio da estimativa do risco de câncer ou do quociente de risco para efeitos não carcinogênicos), segundo os índices toxicológicos utilizados, embasando as conclusões a cerca da necessidade ou não de remediação da área e suas restrições de uso.

4.4.2 Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB

As Planilhas de Avaliação de Risco basicamente seguem os mesmos preceitos do RBCA, tendo sido utilizados os mesmos dados de entrada, quando possível. Os valores padronizados pela CETESB, tais como dados relacionados a tempos de exposição e características populacionais, além de dados não coletados em campo, buscou-se inserir no RBCA, objetivando utilizar valores mais representativos do Estado de São Paulo.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANALÍTICOS

5.1 Diagnóstico Geoambiental

5.1.1 Localização da Área e Histórico Ambiental

Localização, Atividades e Caracterização do Entorno

A área avaliada localiza-se no município de Paulínia e insere-se numa área de uso predominantemente industrial, sendo cercada por outras bases e empreendimentos do setor petroquímico. Sua operação data desde 1995 e sofreu ampliação no ano de 1998, ocupando atualmente uma área total de aproximadamente 8.160 m². Na denominada Base I, encontram-se os Tanques de 01 a 06, com respectiva bacia de contenção, a plataforma de ECT (Enchimento de Caminhão-Tanque), a caixa separadora água-óleo (CSAO) e as instalações administrativas. Na Base II estão localizados os tanques de 07 a 10, inseridos em bacia de contenção, os tanques 11 e 12, a plataforma de ECT/DCT (Descarga Caminhão-Tanque) e CSAO. A área possui pavimentação de concreto nas áreas das ECTs e estacionamento. As áreas de acesso às ECTs e entornos destas apresentam piso de paralelepípedo. Nas bacias de contenção dos tanques o piso é de brita sobre aterro.

Os tanques 11 e 12 passaram por teste de estanqueidade no ano de 2003 e foi registrada conformidade com relação a este parâmetro.

O fornecimento de água é realizado pela SABESP e o poço cacimba da área de estudo é utilizado somente para o sistema de combate a incêndio e, esporadicamente, para lavagem das plataformas de abastecimento.

A Tabela 5.1 apresenta as características e usos principais dos tanques da área:

Tabela 5.1 – Características dos Tanques de Armazenamento.

Tanque	Tipo	Volume (m ³)	Produto	Observação
Tq-01	Aéreo	1.500	Óleo Diesel	-
Tq-02	Aéreo	1.500	Óleo Diesel	-
Tq-03	Aéreo	1.500	Gasolina	-
Tq-04	Aéreo	500	Álcool Anidro	-
Tq-05	Aéreo	500	Gasolina	-
Tq-06	Aéreo	500	Álcool Hidratado	-
Tq-07	Aéreo	1.800	Gasolina	Já armazenou Diesel
Tq-08	Aéreo	1.800	Álcool Anidro	-
Tq-09	Aéreo	1.800	Óleo Diesel	-
Tq-10	Aéreo	1.800	Álcool Hidratado	-
Tq-11	Subterrâneo	17	Gasolina	Até 1998 armazenavam Álcool
Tq-12	Subterrâneo	17	Gasolina	
Tq-13	Aéreo	500	Água	-
Tq-14	Aéreo	8	Óleo Queimado	-
Tq-15	Aéreo	30	Efluentes	Armazenamento dos Efluentes Oriundos da SAO

Fonte: Dado preexistente

Os corpos hídricos superficiais mais próximos são um Córrego localizado a cerca de 700 metros e dois importantes rios distantes aproximadamente 2,8 e 3 km. A Figura 5.1 apresenta a caracterização geral da área de estudo.

Histórico Ambiental

No ano de 2004, data do início dos estudos ambientais na localidade, não foi relatado nenhum acidente ou ocorrência de vazamento na área. Contudo, foram observadas manchas de óleo nas imediações das ECTs e próximos aos pátios de bombas, ambos pavimentados com concreto.

Os resíduos provenientes da limpeza dos tanques aéreos, potenciais fontes de contaminação, desde a instalação do empreendimento no local, são armazenados em tambores de 200 litros, armazenados em área impermeabilizada com bacia de contenção e destinados em concordância com a legislação.

Em 2005, durante serviços de manutenção preventiva, verificou-se no solo próximo ao bocal de descarga dos tanques subterrâneos a presença de odor de combustível. Em vista disto e do fato do PM-05 ter indicado alteração da qualidade da água subterrânea foram executadas

inspeções mais detalhadas no ponto de descarga dos Tanques 11 e 12. Verificou-se durante os trabalhos que a câmara de contenção da descarga não se constituía em reservatório estanque, e por isso, possíveis derrames ocorridos na operação de descarga devem ter infiltrado no solo por meio desta câmara. Foram realizadas, em julho de 2005, obras de adequação das câmaras de contenção das descargas dos tanques 11 e 12, de modo a tornar estanques estes compartimentos.

Também foi notificada à ocorrência de vazamento acidental, ocorrido na área da casa de bombas há alguns anos, e que devido a obras no piso no momento da ocorrência permitiu a infiltração de produto no solo por uma sondagem aberta. Esta ocorrência foi pontual e prontamente contida após sua ocorrência.

Nenhuma outra ocorrência de acidente ou vazamento no solo e/ou na água subterrânea foi notificada.

A Figura 5.1 mostra a caracterização geral da área de estudo, com a divisão e denominação de seus espaços internos. Para manter o sigilo quanto à área estudada, ressalta-se a supressão de coordenadas geográficas nas figuras e mapas apresentados neste trabalho.

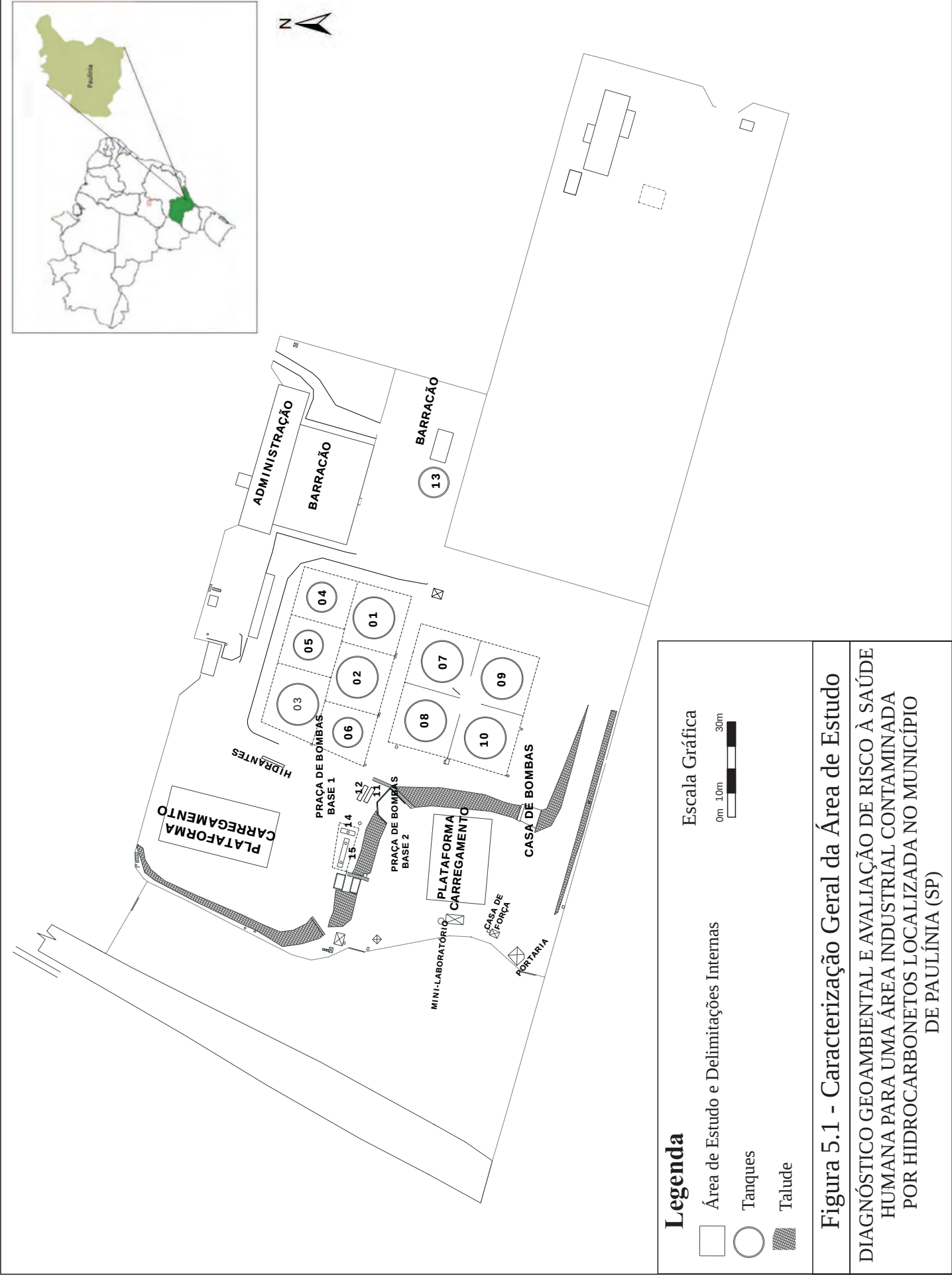


Figura 5.1 - Caracterização Geral da Área de Estudo

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

5.1.2 Geomorfologia, Geologia e Hidrologia/Hidrogeologia

Geomorfologia e Pedologia Regionais

Segundo Bocarde (2003) a área situa-se na porção leste da Depressão Periférica, com formato alongado, direção aproximada Norte-Sul e dominância de relevos colinosos, discriminados a seguir:

- Colinas Amplas: associadas a uma superfície de aplainamento, constitui-se de formas onduladas subniveladas, com topos amplos e convexos, apresentando traços erosivos acumulativos abertos e bem marcados junto às linhas de drenagem dos rios Atibaia e Jaguari. Apresenta Latossolos (Vermelho Amarelo, Húmico, Roxo e Vermelho Escuro), Solo Podzólico Vermelho Amarelo e Terra Roxa;
- Colinas Amplas com Topos Subhorizontais: associado a uma superfície de aplainamento, apresenta formas suaves e subniveladas, topos amplos e subhorizontais, com perfil de vertente contínuo, longo e retilíneo, ocorrendo localmente segmentos convexos. Vales acumulativos abertos e bem marcados com encaixamento de canal e planícies fluviais pouco desenvolvidas e isoladas também se fazem presentes. Do ponto de vista pedológico, caracteriza-se por apresentar as mesmas feições das Colinas Amplas;
- Relevos Erosivos Acumulativos: caracterizam-se por rampas pedimentares, que ocorrem predominantemente associadas aos vales dos rios Jaguari e Atibaia, gradando para formas acumulativas de maior expressão e menor inclinação, muitas vezes condicionadas a elementos estruturais e formadas por sedimentos aluviais. Caracterizam-se também por planícies fluviais (aluviais ou coluviais), originando-se da deposição mista de materiais detríticos acumulados na base de vertentes ou retrabalhados pela ação fluvial, e também de depósitos aluviais. Pedologicamente apresentam Latossolo Vermelho Amarelo/Húmico, Cambissolo/Podzólico Vermelho Amarelo e solos Hidromórficos.

Geologia

A área industrial de Paulínia está inserida entre duas feições geológicas distintas, sendo que a oeste encontra-se a Bacia Sedimentar do Paraná, onde, em sua borda leste, constitui-se

basicamente de rochas sedimentares do Subgrupo Itararé, diabásio do mesmo evento magmático formador da Serra Geral e depósitos cenozóicos. A leste tem-se o embasamento cristalino do Planalto Atlântico, representado por granitos do Neoproterozóico e, localmente, por rochas pré-cambrianas de alto e médio grau metamórfico (BOCARDE, 2003).

A Depressão Periférica, onde localiza-se a área de estudo, corresponde à faixa de ocorrência de rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná, incluindo corpos intrusivos sob a forma de diques e *sills* de diabásio, capeadas por extensas e delgadas coberturas sedimentares cenozóicas (BOCARDE, 2003).

Localmente, as sondagens realizadas na área de estudo indicaram, de forma geral, a ocorrência do seguinte perfil litológico:

- Aterro de solo argiloso marrom com ocorrência na superfície até aproximadamente 1,5 metro de profundidade;
- Sedimento argilo-arenoso marrom claro, com ocorrência a partir do aterro até a profundidade 5,0 metros;
- Areia grossa ocorrendo abaixo de sedimentos arenosos nas porções mais a sudeste da área.

Hidrologia/Hidrogeologia Locais

Na escala da área de estudo, de acordo com dados secundários, as potenciais contaminações estão primeiramente condicionadas ao aquífero superior, representado pelo freático local e limitado por camada argilosa. Neste, a circulação das águas subterrâneas ocorre por meio da porosidade intersticial. Este aquífero é considerado como de natureza livre, raso e condicionado às variações pluviométricas.

Os níveis d'água medidos no último monitoramento (2007) indicaram uma variação de 1,53 a 7,31 metros de profundidade na área. O sentido preferencial dos fluxos subterrâneos é mostrado no mapa potenciométrico da área, elaborado a partir dos dados do último monitoramento. A velocidade linear média das águas subterrâneas calculada no item 5.3.1 foi de 12,5 m/ano.

5.1.3 Monitoramento Climático na Região de Paulínia – SP

Para obter estimativas de infiltração efetiva, que é um dos parâmetros que influencia na lixiviação de compostos químicos de interesse da zona não saturada na Avaliação de Risco, foram coletados os dados de monitoramento no período entre 01/01/2007 e 13/01/2008, obtidos por meio do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), apresentados na tabela a seguir.

Tabela 5.2 - Dados Climáticos da Região de Paulínia no Ano de 2007.

Período (dias)	P (mm)	E (mm)	Período (dias)	P (mm)	E (mm)
01/01/2007 a 07/01/2007	132,9	28	09/07/2007 a 15/07/2007	0	7
08/01/2007 a 14/01/2007	54,5	33	16/07/2007 a 22/07/2007	96	12
15/01/2007 a 21/01/2007	85	30	23/07/2007 a 29/07/2007	101,4	11
22/01/2007 a 28/01/2007	93,4	33	30/07/2007 a 05/08/2007	0	12
29/01/2007 a 04/02/2007	49,6	36	06/08/2007 a 12/08/2007	0	14
05/02/2007 a 11/02/2007	32,4	33	13/08/2007 a 19/08/2007	0	12
12/02/2007 a 18/02/2007	8,8	28	20/08/2007 a 26/08/2007	0	11
19/02/2007 a 25/02/2007	5,4	28	27/08/2007 a 02/09/2007	0	9
26/02/2007 a 04/03/2007	54,2	34	03/09/2007 a 09/09/2007	0	12
05/03/2007 a 11/03/2007	27,6	31	10/09/2007 a 16/09/2007	0	9
12/03/2007 a 18/03/2007	90,8	30	17/09/2007 a 23/09/2007	0	9
19/03/2007 a 25/03/2007	32,1	26	24/09/2007 a 30/09/2007	6,7	11
26/03/2007 a 01/04/2007	0	29	01/10/2007 a 07/10/2007	0	6
02/04/2007 a 08/04/2007	0	9	08/10/2007 a 14/10/2007	0	7
09/04/2007 a 15/04/2007	0	8	15/10/2007 a 21/10/2007	0	4
16/04/2007 a 22/04/2007	3	10	22/10/2007 a 28/10/2007	48,7	25
23/04/2007 a 29/04/2007	39,5	19	29/10/2007 a 04/11/2007	94,9	35
30/04/2007 a 06/05/2007	0	9	05/11/2007 a 11/11/2007	43,2	19
07/05/2007 a 13/05/2007	6,3	10	12/11/2007 a 18/11/2007	33,1	28
14/05/2007 a 20/05/2007	4	9	19/11/2007 a 25/11/2007	12,2	27
21/05/2007 a 27/05/2007	53,8	12	26/11/2007 a 02/12/2007	1,3	24
28/05/2007 a 03/06/2007	37	12	03/12/2007 a 09/12/2007	41,6	34
04/06/2007 a 10/06/2007	0,2	10	10/12/2007 a 16/12/2007	32,1	30
11/06/2007 a 17/06/2007	0	12	17/12/2007 a 23/12/2007	52,5	28
18/06/2007 a 24/06/2007	0	9	24/12/2007 a 30/12/2007	18,2	35
25/06/2007 a 01/07/2007	0	8	31/12/2007 a 06/01/2008	11	31
02/07/2007 a 08/07/2007	0	9	07/01/2008 a 13/01/2008	18,4	28

Fonte: CIIAGRO (2009). Obs.: P = Pluviometria; E = Evapotranspiração Real.

Conforme valores obtidos, pode-se estimar uma infiltração de água no solo em 2007 de 386 mm/ano, ou 38,6 cm/ano.

5.1.4 Amostras de Solo e Poços de Monitoramento

Solo

As amostras referentes ao solo coletadas durante à época dos estudos objetivaram caracterizar os litotipos da área de estudo e determinar, por meio da medição de vapores orgânicos, os melhores locais para realizar-se coleta de amostras para análises químicas.

O solo local basicamente constitui-se de uma porção mais argilosa na parte superficial que gradativamente, em alguns pontos, adquire percentuais crescentes de areia em sua composição e em outros permanece com sua constituição argilosa, variando em cor. A argila é a camada confinante e o aquífero local constitui-se em granular e raso.

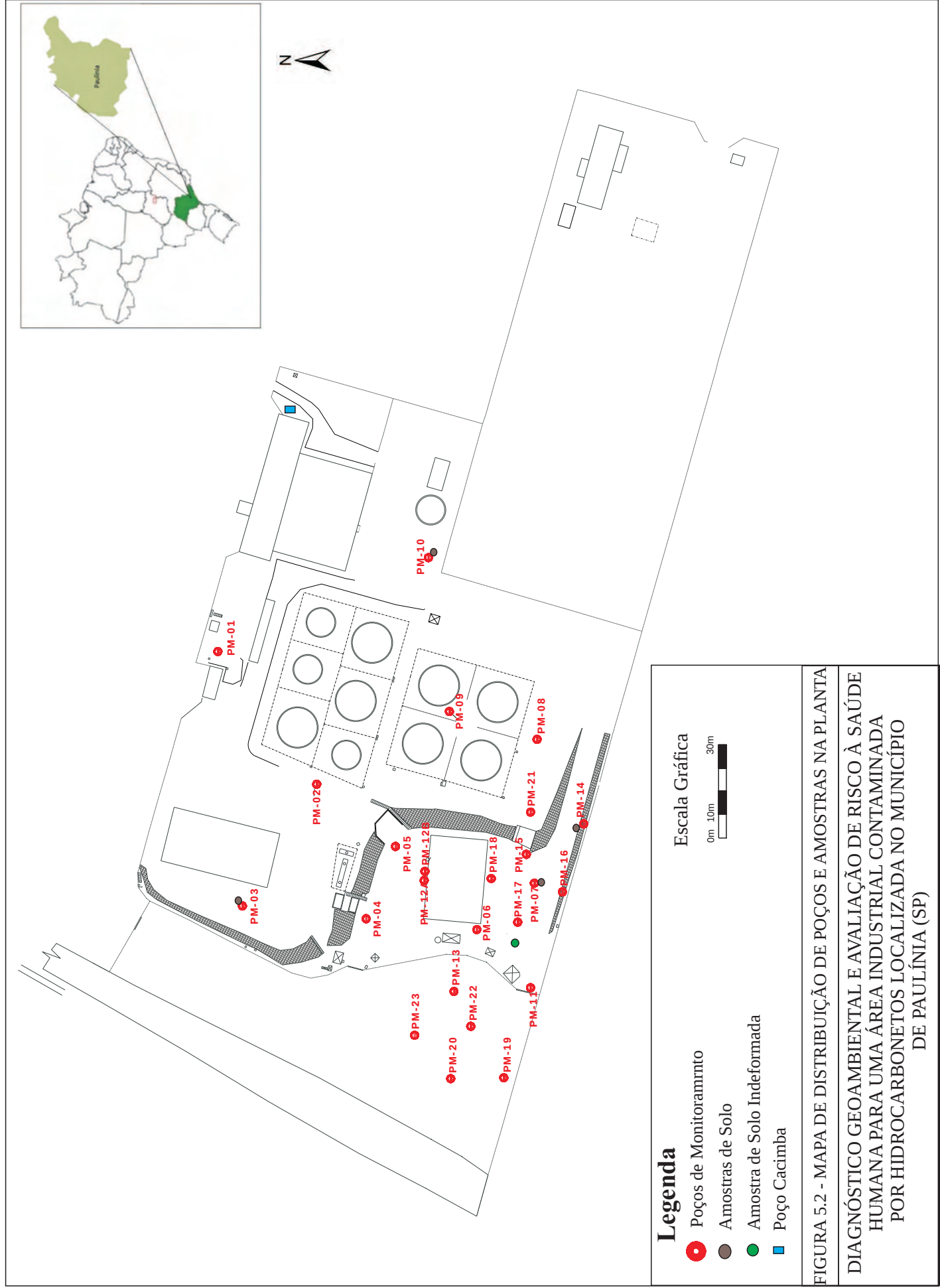
Tabela 5.3 - Resultados em Amostra Indeformada.

Amostra	Umidade gravimétrica (%)	Matéria Orgânica (%)	Massa Específica Amostra Seca (g/cm ³)	Densidade Real (g/cm ³)	Porosidade total (cm ³ /100cm ³)	Porosidade efetiva (cm ³ /100cm ³)
Ind1	19,5	1,1	1,100	2,357	53,3	21,0

Fonte: Dado preexistente.

Poços de Monitoramento

Foram instalados na área 23 poços de monitoramento, sendo um deles um par multinível (PM-12A e PM-12B), numa sequência que vai do PM-01 ao PM-23. A instalação dos poços data de 2004 a 2007. A localização dos mesmos pode ser observada na Figura 5.2. A localização ocorreu de forma a delimitar precisamente a pluma de contaminação e certificar sua restrição à região interna do empreendimento, sem atingir receptores vizinhos à área de estudo, assim como afirmar que não há contaminação de fontes externas na área.



5.2 Caracterização Geoquímica

5.2.1 Avaliação de Vapores no Solo

No ANEXO B pode-se observar os resultados das medições de vapores orgânicos no solo (VOC) realizado com o medidor *Photo Ionization Detector* (PID) à época das investigações realizadas na área. As maiores concentrações foram obtidas nas áreas a jusante dos tanques de armazenamento de combustíveis, indicando a migração dos compostos derivados de petróleo para a região oeste da planta, conforme fluxo definido no mapa potenciométrico.

5.2.2 Resultados Analíticos do Solo

Como padrão de referência para a análise dos valores de solo utilizou-se os valores estabelecidos pela CETESB (2005) para cenários de prevenção e industrial, onde os valores do primeiro foram calculados tomando-se por referência a concentração em cuja adequação indica a qualidade de um solo capaz de sustentar suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos (alvos de ensaios toxicológicos). Para o cenário industrial, obteve-se os valores estabelecidos por meio de cálculos utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana.

Dentre as amostras de solo coletadas nos estudos ambientais realizados nenhuma apresentou valores superiores aos limites de referência para ambos os cenários considerados. Os resultados e comparações com os valores da CETESB podem ser vistos no ANEXO C.

5.3 Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica

5.3.1 Aspectos Hidrogeológicos

Ensaio de Permeabilidade e Velocidade Linear de Fluxo

A Tabela 5.4 mostra os resultados de condutividade Hidráulica obtidos para os 5 poços submetidos a ensaios de *bail test* e as figuras com os gráficos constam no ANEXO E deste trabalho.

Tabela 5.4 – Resultados dos Ensaios de Permeabilidade.

Poço	Condutividade Hidráulica (cm/s)
PM-12A	$5,07 \times 10^{-4}$
PM-13	$1,46 \times 10^{-4}$
PM-15	$3,76 \times 10^{-5}$
PM-17	$3,32 \times 10^{-4}$
PM-19	$1,75 \times 10^{-4}$

Fonte: Dado preexistente.

Os resultados dos testes evidenciam uma diferença de condutividade bastante significativa entre os poços a leste do PM-12 e do PM-07 em relação aos poços situados nas porções mais baixas do terreno.

O aquífero nestes poços da parte oeste da planta mostraram uma permeabilidade bastante elevada provavelmente condicionada a camada silto-arenosa existente. O PM-15 situado na área central da pluma de contaminação originária da casa de bombas indicou uma condutividade mais baixa que as áreas a jusante.

Para o cálculo da velocidade linear do fluxo subterrâneo adotou-se as cargas hidráulicas dos pontos PM-17 (590,644m) e PM-19 (588,599m), por serem bastante representativas da região contaminada, à data da realização dos ensaios de permeabilidade, e a distância entre eles de 55,8 metros, o que definiu um gradiente hidráulico (i) de 0,037 (3,7%). Considerou-se ainda a condutividade (K) média de $2,28 \times 10^{-4}$ cm/s, obtida a partir dos ensaios em campo, e a porosidade efetiva de 21% para o litotipo predominante da área na região saturada.

Conforme já especificado, considerou-se para o cálculo de velocidade a fórmula da Lei de Darcy, resultando numa velocidade linear média das águas subterrâneas de 12,5 m/ano.

Superfície Potenciométrica

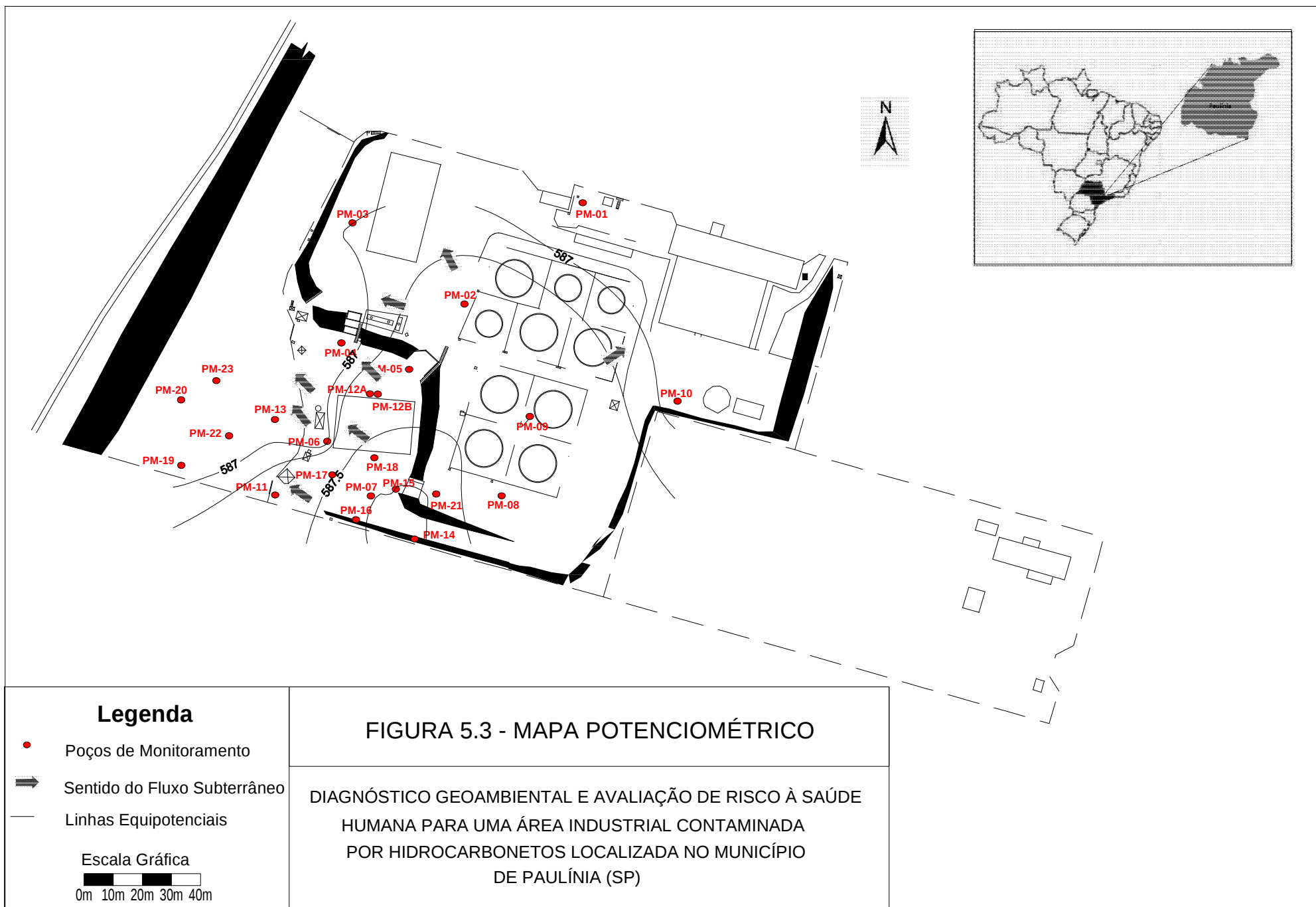
Levando-se em consideração que os dados de nível d'água variam conforme o ciclo hidrológico, optou-se por considerar para o mapa potenciométrico os valores do último monitoramento realizado, cujos dados permitem elaborar um mapa detalhado da área. Os valores de carga hidráulica dos poços podem ser vistos na Tabela 5.5 e a representação do mesmo encontra-se na Figura 5.3.

Tabela 5.5 – Medições de Nível d'Água (metros).

Poço	Nível D'água	Carga Hidráulica
PM-01	7,310	586,870
PM-02	6,720	587,230
PM-03	6,760	587,003
PM-04	2,700	586,845
PM-05	3,300	587,195
PM-06	3,670	586,910
PM-07	3,270	587,160
PM-08	5,750	587,285
PM-09	5,500	587,475
PM-10	7,250	586,960
PM-11	2,600	587,234
PM-12A	3,500	587,257
PM-12B	3,500	-
PM-13	1,850	586,969
PM-14	4,060	587,762
PM-15	3,240	587,694
PM-16	3,370	587,664
PM-17	3,200	587,444
PM-18	3,250	587,684
PM-19	1,640	586,959
PM-20	1,530	586,937
PM-21	5,460	587,719
PM-22	1,650	586,897
PM-23	1,680	586,957

Fonte: Dado preexistente, coleta em Junho de 2007.

Conforme pode ser observado na Figura 5.3, o sentido preferencial do fluxo dá-se de sudeste para noroeste, com componente para nordeste, concordando com a topografia local. As águas seguem em direção ao corpo d'água superficial mais próximo, situado a oeste.



5.3.2 Caracterização Química da Água

A água subterrânea local foi submetida a análises laboratoriais por diversas vezes, ao longo das campanhas ambientais realizadas na área. Os dados obtidos ao longo de 4 anos, em todos os poços instalados, estão representados no ANEXO D.

De acordo com os resultados, pode-se destacar os seguintes compostos com concentrações superiores aos valores de referência comparados:

- Benzeno: apresentou-se com valores bastante significativos ao longo dos trabalhos nos poços PM-05, PM-06, PM-07, PM-13, PM-15, PM-17 e PM-18;
- Tolueno: foram detectados valores acima dos valores orientadores da CETESB nos poços PM-05, PM-06, PM-07, PM-15, PM-17 e PM-18;
- Etilbenzeno: PM-07, PM-15 e PM-18 apresentaram concentrações superiores aos valores da CETESB;
- Xilenos: o PM-05 apresentou valores acima da CETESB em algumas campanhas, tendo este valor diminuído no decorrer do tempo. PM-06, PM-07, PM-15 e PM-18 apresentam até a última campanha realizada valores superiores aos limites da CETESB;
- Naftaleno: apresentaram concentrações superiores aos valores da CETESB os PM-15 e PM-18. O poço PM-05 indicou concentrações superiores em duas campanhas de amostragem (abril e agosto de 2006) e o PM-07 apresentou valor acima da CETESB na última campanha.

De acordo com os resultados obtidos e a distribuição dos mesmos, pode-se concluir que as plumas de contaminação encontram-se restritas à área de estudo, sem que tenham atingido receptores externos, além de não receberem contribuições de fontes *offsite*. Os contaminantes encontram-se prioritariamente na porção sudoeste da área, na região correspondente à Plataforma de Carregamento da Base 2. Tal contaminação deveu-se a um vazamento acidental ocorrido durante manutenção da linha na área da casa de bombas da Plataforma de Carregamento 2, sendo notória contaminação por gasolina e, de forma secundária, diesel e óleos lubrificantes, dada grande concentração de BTEX nos PM-05, PM-06, PM-07, PM-15, PM-1, PM-17 e PM-18. Uma pequena pluma encontra-se mais a norte da referida plataforma, restrita ao PM-05, cuja

fonte de contaminação está relacionada ao vazamento dos tanques TQ-11 e TQ-12, apresentando como principais contaminantes o Etanol e, de maneira secundária, Gasolina.

As plumas de contaminação da última campanha são apresentadas no ANEXO F.

6. AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

6.1 Introdução

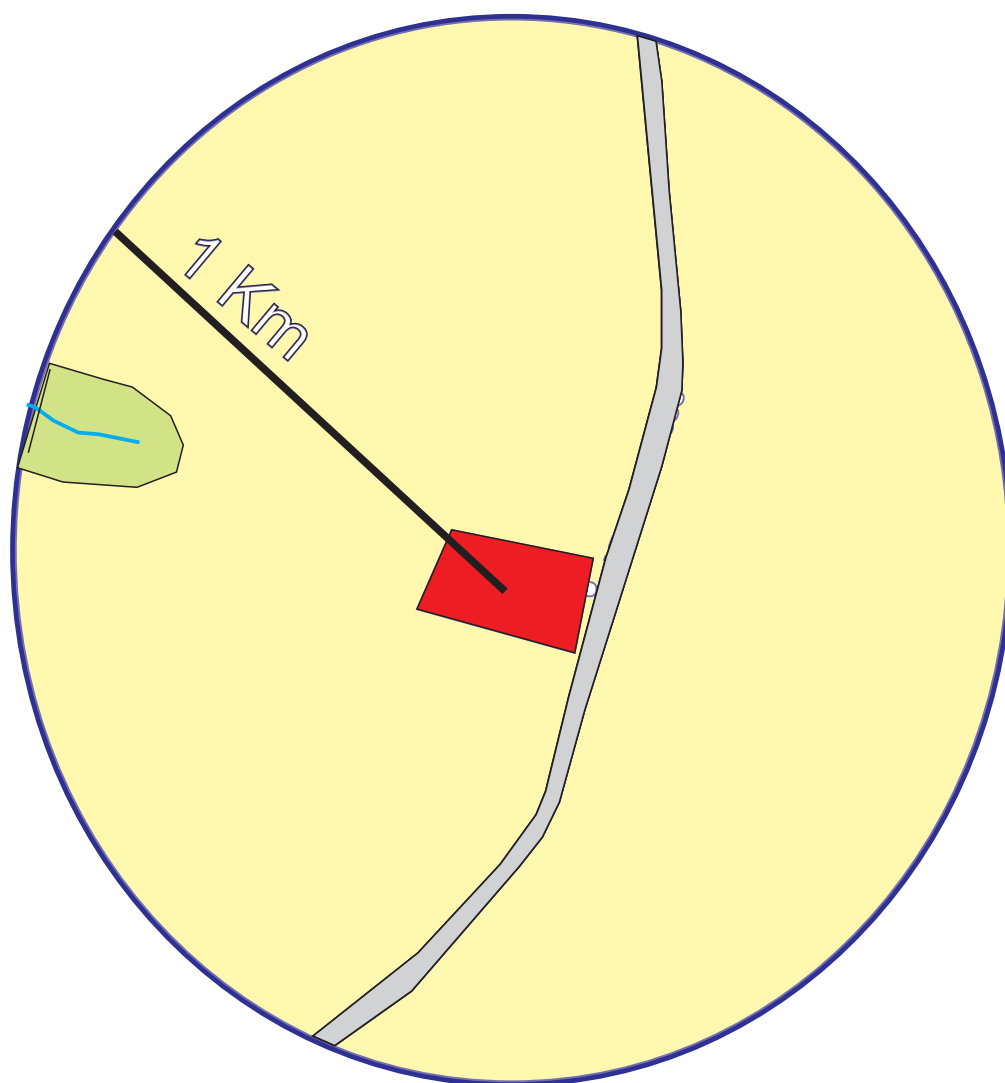
O presente capítulo busca, com base nos dados do Diagnóstico Geoambiental realizado no capítulo anterior, conduzir uma avaliação de riscos à saúde humana com base nos usos atual e futuro de solo da área de estudo.

6.2 Modelo Conceitual de Exposição (MCE)

6.2.1 Características do Uso e Ocupação do Entorno Atuais

A Figura 6.1 mostra as características de uso e ocupação do entorno da área de estudo. De acordo com a figura, nota-se a predominância de áreas industriais, cortadas pela via de acesso principal. Um pequeno córrego e sua respectiva mata ciliar localizam-se a oeste da área de influência.

Com relação aos poços listados no DAEE, não há poços em funcionamento atualmente que demandem água potável num raio de 1 km da área de estudo, levando-se em consideração o fluxo das águas subterrâneas locais, sendo que toda a região é abastecida pela SABESP. Ao verificar as linhas de fluxo apresentadas no Mapa Potenciométrico (Figura 5.3) nota-se que o fluxo preferencial das águas subterrâneas caminha na direção oeste da planta, no sentido do córrego.



Legenda

- Córrego
- Área Industrial
- Área de Estudo
- Área de Mata Ciliar
- Via de Acesso

Figura 6.1 - Caracterização do Entorno da Área de Estudo

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)



6.2.2 Características do Uso e Ocupação Futuras

A região onde se insere a área de estudo é predominantemente industrial, estando cercada por empreendimentos do setor petroquímico de grande prosperidade (tendo em vista o cenário atual brasileiro e suas futuras estimativas). Portanto, considerou-se como uso futuro da área a permanência de um cenário industrial.

6.2.3 Fontes Potenciais de Contaminação

O Modelo Conceitual de Exposição (MCE) é apresentado na Tabela 6.1, conforme preconizado pela CETESB (2001).

Tabela 6.1 – Modelo Conceitual de Exposição.

Fontes Primárias	Fontes Secundárias	Mecanismos de Transporte	Vias de Exposição	Caracterização dos Receptores
Tubulação / Distribuição (descargas, linhas bombas, etc)	Solos superficiais e subsuperficiais impactados	Volatilização e Dispersão Atmosférica	Inalação de Vapores e Partículas	Industrial / Trabalhadores de obras civis
Tubulação / Distribuição (descargas, linhas bombas, etc)	Solos superficiais e subsuperficiais impactados	Atividades humanas (obras)	Ingestão	Industrial / Trabalhadores de obras civis
Tubulação / Distribuição (descargas, linhas bombas, etc)	Pluma de fase dissolvida na água subterrânea	Volatilização e Dispersão Atmosférica	Inalação de Vapores	Industrial / Trabalhadores de obras civis
Tubulação / Distribuição (descargas, linhas bombas, etc)	Pluma de fase dissolvida na água subterrânea	Volatilização e Acumulação em Ambiente Fechado	Inalação de Vapores	Industrial / Trabalhadores de obras civis
Tubulação / Distribuição (descargas, linhas bombas, etc)	Pluma de fase dissolvida na água subterrânea	Transporte no Lençol Freático	Uso de Água Potável	Industrial / Trabalhadores de obras civis / Recreação
Tubulação / Distribuição (descargas, linhas bombas, etc)	Pluma de fase dissolvida na água subterrânea	Transporte no Lençol Freático até córrego	Contato Dermal	Adultos e Crianças em Recreação

Como evidenciado pelo histórico e conclusões obtidas a partir da análise dos dados analíticos laboratoriais, a fonte principal encontra-se na Plataforma de Carregamento da Base 2.

A contaminação, restrita à área de estudo e sem contribuições externas, possui como principal fonte secundária o transporte por meio da água subterrânea da pluma dissolvida, sendo que a consideração do solo como fonte contaminante, apesar do mesmo não ter apresentado valores superiores aos limites da CETESB, deu-se pela adoção de critérios conservadores, considerando mecanismo de lixiviação. Os mecanismos de transporte por meio do uso de água potável e de contato dermal com a água subterrânea também seguiram critérios conservadores, uma vez que não há poços locais utilizados para consumo humano. A consideração da ingestão de solo baseia-se nas obras civis locais, onde funcionários podem, ao revolver e escavar o solo, ingerir involuntariamente quantidades de solo.

Apesar do entorno da área ser estritamente industrial, apresentando trabalhadores industriais, estes não foram considerados na avaliação de risco, haja visto que resultados mais conservadores para cenários industriais serão obtidos para os trabalhadores empregados nas dependências internas na área de estudo, onde há maior proximidade da fonte de contaminação.

O centro de massa considerado para a contaminação por água subterrânea e solo a região dos poços PM-15, cujos valores apresentaram-se mais críticos com relação aos demais, localizando-se no centro das plumas de contaminação.

6.2.4 Vias de Ingresso e Receptores

As principais vias e pontos de exposição considerados foram:

- Solo: via de exposição por meio da inalação de partículas e vapores pelos receptores locais e ingestão por trabalhadores de obras;
- Água subterrânea: via de exposição por ingestão direta, inalação de vapores ou contato dérmico;
- Ar: via de exposição por inalação de vapores e partículas advindos do solo e/ou da água subterrânea pelos receptores locais em ambientes abertos ou fechados.

Com relação aos receptores, podemos mencionar:

- Trabalhadores industriais (*on site*): trabalhadores comerciais que cumprem regularmente 8 horas de trabalho no local, durante 290 dias por ano, por 25 anos;

- Trabalhadores de obras (*on site*): trabalhadores temporários que cumprem, durante o período de contratação (290 dias durante 1 ano), 8 horas de trabalho diário;
- Residenciais (*off site*): apesar de situar-se numa área estritamente industrial, a presença de um córrego 700 metros a noroeste da área de estudo pode atrair a presença de pessoas para atividades de recreação.

6.2.5 Determinação das Substâncias de Interesse

Os dados utilizados para seleção das substâncias químicas de interesse iniciam-se a partir da elaboração de tabelas com os resultados analíticos laboratoriais (vide ANEXOS C e D). Em seguida, foram segregados os dados por meio (solo e água subterrânea). Os dados considerados para a presente avaliação referem-se aos da última campanha de monitoramento, que abrangeram a análise de todos os poços da área de estudo e cujos resultados mostraram-se confiáveis por meio de ensaios de qualidade laboratoriais das análises.

Os compostos que em nenhuma amostra foram detectados acima dos limites de quantificação do laboratório ou apresentaram frequências de detecção menores do que 5% do universo total de amostras foram eliminados. Em seguida, foram eliminados os compostos cujas concentrações máximas não excederam os limites de intervenção estabelecidos pela CETESB. Tais medidas foram tomadas levando-se em consideração a não necessidade de avaliação de compostos que não representem real periculosidade à saúde humana tomando por base a legislação do Estado de São Paulo. A Tabela 6.2 apresenta os compostos selecionados para a avaliação de risco, assim como as concentrações máxima e mínima detectadas.

Tabela 6.2 - Amostras de Água Subterrânea Selecionadas para a Avaliação de Risco.

Parâmetro	Nº Amostras	Amostras Positivas	Porcentagem de Amostras Positivas	Concentração Máxima (µg/L)	Concentração Mínima (µg/L)	CETESB Intervenção
Benzeno	25	6	24	4555	15	5
Tolueno	25	5	20	41731	63	300
Etilbenzeno	25	6	24	5087	5,3	700
Xilenos	25	5	20	15423	197	500
Naftaleno	25	6	24	1791	6	140

Com base nos resultados obtidos, foram selecionados os compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e Naftaleno para avaliação de risco de água subterrânea. O meio solo não apresentou concentrações de nenhum composto superior aos limites da CETESB, contudo, foram selecionados os parâmetros cujos resultados apresentaram-se acima dos limites de quantificação laboratoriais, haja visto que contaminantes do solo podem sofrer lixiviação para água subterrânea. A Tabela 6.3 mostra os parâmetros de solo ingressantes na avaliação de risco.

Tabela 6.3 – Amostras de Solo Selecionadas para a Avaliação de Risco.

Parâmetro	Nº Amostras	Amostras Positivas	Porcentagem de Amostras Positivas	Concentração Máxima (µg/L)	Concentração Mínima (µg/L)
Benzeno	4	1	25	0,014	nd
Tolueno	4	2	50	0,028	0,005
Etilbenzeno	4	3	75	0,003	0,002
Xilenos	4	3	75	0,060	0,001

Obs.: nd = não detectado.

6.2.6 Cenários de Exposição

Após definidas fontes, rotas de exposição, vias de ingresso, receptores e substâncias químicas de interesse (SQIs), pode-se elaborar os cenários de exposição:

Tabela 6.4 – Cenários de Exposição.

Caminho	Localização	Vias de Ingresso	Cenário	SQI	Distância (m)	Receptores atuais e futuros
Solo	On site	Inalação	Ambientes Abertos e Fechados	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos	0	Trabalhadores Industriais Trabalhadores de Obras
		Ingestão de partículas	NA	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos	0	Trabalhadores de Obras
Água Subterrânea	On site	Inalação	Ambientes Abertos e Fechados	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos, Naftaleno	0	Trabalhadores Industriais Trabalhadores de Obras
		Ingestão	NA	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos, Naftaleno	0	Trabalhadores Industriais Trabalhadores de Obras
		Contato Dermal	NA	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos, Naftaleno	0	Trabalhadores Industriais Trabalhadores de Obras
Córrego	Off site	Contato Dermal	NA	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos, Naftaleno	700	Adultos e Crianças em Recreação

(*) – ambiente fechado não foi considerado devido à presença de piso nas áreas fechadas do empreendimento; NA – não se aplica.

6.3. Quantificação do Ingresso

A quantificação de ingresso dos SQIs foi derivada a partir de equações contidas no *default* do software *RBCA Tool Kit for Chemical Releases 2.5* e das Planilhas de Análise da CETESB, sendo os dados de entrada de cada contaminante a concentração máxima obtida na última campanha de monitoramento.

6.3.1 Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)

A obtenção de valores acima dos limites de quantificação laboratoriais e acima dos Limites de Intervenção da CETESB tornam possível a confecção de mapas de isoconcentrações dos SQIs para água subterrânea, apresentados no ANEXO F.

A delimitação em seção da pluma de fase dissolvida não foi possível de ser realizada com exatidão devido à limitação do número de poços multiníveis existentes na área. Para efeitos de cálculo, foi utilizado o valor de 2,0 metros, como estipulado pelo ACBR (CETESB, 2000). As seções hidrogeológicas podem ser observadas no ANEXO G.

Com relação aos parâmetros referentes ao solo, a área considerada foi, em extensão, a mesma utilizada para a água subterrânea (baseada na área da maior pluma, de Benzeno), tornando a análise mais restritiva ao considerar a lixiviação da área para a água subterrânea e sua volatilização para ambientes internos e externos.

Os parâmetros necessários à avaliação de risco relativos aos receptores (massa corporal, estimativa de vida, tempo de exposição à substâncias carcinogênicas e não-carcinogênicas, entre outros) foram estipulados com referência prioritária nos valores considerados pela CETESB, buscando sempre o dado mais atualizado disponível. Os demais parâmetros que não puderam ser obtidos em campo foram adotados com base no *default* de cada programa.

7. RESULTADOS DAS SIMULASSÕES E DISCUSSÃO

As tabelas a seguir mostram os riscos calculados para cada um dos receptores e vias de ingresso consideradas. As Tabelas 7.1 a 7.3 indicam os resultados do *software* RBCA *Tool Kit* versão 2.5, enquanto as Tabelas 7.4 a 7.6 evidenciam os resultados obtidos por meio das Planilhas de Análise da CETESB.

Tabela 7.1 – Riscos Calculados para Trabalhadores Industriais.

Substância	Ingestão de Água Subterrânea				Exposição pelo Solo			
	Slope Factor (mg/kg/dia) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Dose de Referência (mg/kg/dia)	Risco Não Carcinogênico	Slope Factor (mg/kg/dia) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Dose de Referência (mg/kg/dia)	Risco Não Carcinogênico
Benzeno	5,52E-2	9,9E-4	4,0E-3	1,3E+1	5,5E-2	1,5E-10	4,0E-3	2,0E-6
Etilbenzeno			1,0E-1	5,8E-1			1,0E-1	1,7E-8
Naftaleno			2,0E-2	1,0E+0			ND	ND
Toueno			8,0E-2	5,9E+0			8,0E-2	2,0E-7
Xilenos			2,0E-1	8,8E-1			2,0E-1	1,7E-7
Valores Cumulativos		9,9E-4		2,1E+1		1,5E-10		2,4E-6
Substância	Inalação de Vapores em Ambientes Abertos				Inalação de Vapores em Ambientes Fechados			
	Inhalation Unit Risk Factor (μg/m ³) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Referência de Inalação (mg/m ³)	Risco Não Carcinogênico	Inhalation Unit Risk Factor (μg/m ³) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Referência de Inalação (mg/m ³)	Risco Não Carcinogênico
Benzeno	2,2E-6	2,3E-6	3,0E-2	1,0E-1	2,2E-6	4,9E-5	3,0E-2	6,2E-3
Etilbenzeno			1,0E+0	4,1E-3			1,0E+0	8,7E-2
Naftaleno			3,0E-3	2,5E-2			3,0E-3	5,0E-1
Toueno			5,0E+0	6,6E-3			5,0E+0	1,4E-1
Xilenos			1,0E-1	1,1E-1			1,0E-1	2,3E+0
Valores Cumulativos		2,3E-6		2,5E-1		4,9E-5		3,1E+0

Obs.: Espaço em Branco = não aplicável.

Tabela 7.2 – Riscos Calculados para Trabalhadores de Obras.

Substância	Ingestão de Água Subterrânea				Exposição pelo Solo			
	Slope Factor (mg/kg/dia) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Dose de Referência (mg/kg/dia)	Risco Não Carcinogênico	Slope Factor (mg/kg/dia) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Dose de Referência (mg/kg/dia)	Risco Não Carcinogênico
Benzeno	5,5E-2	3,9E-5	4,0E-3	6,5E+0	5,5E-2	1,2E-11	4,0E-3	2,0E-6
Etilbenzeno			1,0E-1	2,9E-1			1,0E-1	1,7E-8
Naftaleno			2,0E-2	5,1E-1			ND	ND
Toueno			8,0E-2	3,0E+0			8,0E-2	2,0E-7
Xilenos			2,0E-1	4,4E-1			2,0E-1	1,7E-7
Valores Cumulativos		3,9E-5		1,1E+1		1,2E-11		2,4E-8
Substância	Inalação de Vapores em Ambientes Abertos				Inalação de Vapores em Ambientes Fechados			
	Inhalation Unit Risk Factor (μg/m³) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Referência de Inalação (mg/m³)	Risco Não Carcinogênico	Inhalation Unit Risk Factor (μg/m³) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Referência de Inalação (mg/m³)	Risco Não Carcinogênico
Benzeno	2,2E-6	8,9E-10	3,0E-2	4,9E-4	2,2E-6	2,9E-6	3,0E-2	7,6E-3
Etilbenzeno			1,0E+0	2,1E-6			1,0E+0	6,5E-2
Naftaleno			3,0E-3	1,8E-5			3,0E-3	3,7E-1
Toueno			5,0E+0	4,7E-6			5,0E+0	1,0E-1
Xilenos			1,0E-1	3,7E-4			1,0E-1	1,7E+0
Valores Cumulativos		8,9E-10		8,6E-4		2,9E-6		2,3E+0

Obs.: Espaço em Branco = não aplicável.

Tabela 7.3 – Riscos Calculados para Residentes *Offsite* (700 m).

Substância	Exposição pela Água Superficial			
	Slope Factor (mg/kg/dia) ⁻¹	Risco Carcinogênico	Dose de Referência (mg/kg/dia)	Risco Não Carcinogênico
Benzeno	5,5E-2	1,2E-11	4,0E-3	9,6E-8
Etilbenzeno			1,0E-1	8,2E-9
Naftaleno			2,0E-2	1,4E-8
Toueno			8,0E-2	6,2E-8
Xilenos			2,0E-1	1,3E-8
Valores Cumulativos		1,2E-11		1,9E-7

Obs.: Espaço em Branco = não aplicável.

Tabela 7.4 – Riscos Calculados para Trabalhadores Industriais.

Substância	Risco	Exposição pelo Solo				
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Ingestão de Água a partir da Lixiviação do Solo	Ingestão	Valores Cumulativos
Benzeno	C	1,72E-9	1,83E-7	8,39E-6	1,52E-10	8,58E-6
	NC	2,11E-5	2,25E-3	1,10E-1	1,99E-6	1,12E-1
Etilbenzeno	C	1,18E-10	1,26E-8	2,26E-7	6,50E-12	2,39E-7
	NC	1,36E-7	1,45E-5	5,92E-7	1,70E-8	6,07E-4
Naftaleno	C	NA	NA	NA	NA	NA
	NC	NA	NA	NA	NA	NA
Toueno	C	NA	NA	NA	NA	NA
	NC	2,54E-7	2,70E-5	8,35E-3	1,99E-7	8,37E-3
Xilenos	C	NA	NA	NA	NA	NA
	NC	2,72E-5	2,90E-3	3,92E-3	1,70E-7	6,48E-3
Valores Cumulativos	C	1,83E-9	1,96E-7	8,62E-6	1,58E-10	-
	NC	4,78E-5	5,19E-3	1,23E-1	2,37E-6	-
Substância	Risco	Exposição pela Água Subterrânea				Valores Cumulativos
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Ingestão		
Benzeno	C	1,14E-6	4,81E-5	9,87E-4		1,04E-3
	NC	1,40E-2	5,91E-1	1,29E+1		1,35E+1
Etilbenzeno	C	4,02E-7	1,76E-5	2,21E-4		2,39E-4
	NC	4,63E-4	2,03E-2	5,77E-1		5,98E-1
Naftaleno	C	2,84E-7	5,77E-6	NA		6,05E-6
	NC	8,01E-3	1,63E-1	1,02E+00		1,19E+0
Toueno	C	NA	NA	NA		NA
	NC	7,59E-4	3,27E-2	5,92E+0		5,95E+0
Xilenos	C	NA	NA	NA		NA
	NC	1,51E-2	6,53E-1	8,70E-1		1,54E+0
Valores Cumulativos	C	1,82E-6	7,15E-5	1,21E-3		-
	NC	3,84E-2	1,46E+0	2,13E+1		-

Obs.: NA = não aplicável; C = carcinogênico; NC = não carcinogênico.

Tabela 7.5 – Riscos Calculados para Trabalhadores de Obras.

Substância	Risco	Exposição pelo Solo				
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Ingestão de Água a partir da Lixiviação do Solo	Ingestão	Valores Cumulativos
Benzeno	C	1,72E-9	7,91E-8	6,57E-7	4,86E-11	7,38E-7
	NC	2,64E-4	1,22E-2	1,07E-1	7,95E-6	1,20E-1
Etilbenzeno	C	1,18E-10	3,51E-9	1,73E-8	2,08E-12	2,09E-8
	NC	1,70E-6	5,05E-5	5,66E-4	6,81E-8	6,18E-4
Naftaleno	C	0	0	0	0	NA
	NC	0	0	0	0	NA
Toueno	C	NA	NA	NA	NA	NA
	NC	3,17E-6	1,11E-4	8,04E-3	7,95E-7	8,15E-3
Xilenos	C	NA	NA	NA	NA	NA
	NC	3,40E-4	6,92E-3	3,68E-3	6,81E-7	1,09E-2
Valores Cumulativos	C	1,83E-9	8,26E-8	6,74E-7	5,06E-11	
	NC	6,09E-4	1,93E-2	1,20E-1	9,49E-6	
Substância	Risco	Exposição pela Água Subterrânea				
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Ingestão		Valores Cumulativos
Benzeno	C	9,10E-9	4,61E-6	7,90E-5		1,07E-4
	NC	1,40E-2	7,10E-1	1,29E+1		1,75E+1
Etilbenzeno	C	3,22E-8	1,69E-6	1,76E-5		3,64E-5
	NC	4,63E-4	2,44E-2	5,77E-1		1,16E+0
Naftaleno	C	2,27E-8	5,54E-7	NA		5,77E-7
	NC	8,01E-3	1,96E-1	1,02E+0		2,16E+0
Toueno	C	NA	NA	NA		NA
	NC	7,59E-4	3,92E-2	5,92E+0		9,57E+0
Xilenos	C	NA	NA	NA		NA
	NC	1,51E-2	7,83E-1	8,70E-1		1,67E+0
Valores Cumulativos	C	1,46E-7	6,86E-6	9,66E-5		
	NC	3,84E-2	1,75+0	2,13E+1		

Obs.: NA = não aplicável; C = carcinogênico; NC = não carcinogênico.

Tabela 7.6 – Riscos Calculados para Residentes *Offsite* (700 m).

Substância	Risco	Exposição pela Água Superficial
		Contato Dérmico
Benzeno	C	1,06E-10
	NC	1,15E-6
Etilbenzeno	C	3,10E-18
	NC	6,75E-15
Naftaleno	C	NA
	NC	2,37E-25
Toueno	C	NA
	NC	7,13E-36
Xilenos	C	NA
	NC	NA
Valores Cumulativos	C	1,06E-10
	NC	1,15E-6

Obs.: NA = não aplicável; C = carcinogênico; NC = não carcinogênico.

Conforme resultados obtidos, o *software* RBCA indicou risco à saúde humana para os cenários de ingestão de água subterrânea e inalação de vapores em ambientes fechados para trabalhadores industriais regulares. O benzeno foi o composto que apresentou risco carcinogênico para ambos os cenários; para o risco não-carcinogênico, benzeno, naftaleno e tolueno apresentaram risco para a ingestão de água subterrânea e Xilenos figuraram como substância de risco à saúde humana para a via de inalação de vapores em ambientes fechados.

Com relação aos trabalhadores de obras, o RBCA indicou os mesmos cenários de risco, com a única exceção feita ao Etilbenzeno, cujas concentrações calculadas não ultrapassaram o valor de risco.

Para residentes *off site* em contato com a água superficial do córrego, não foram detectados riscos para exposição.

As Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB apresentaram cenários de risco para ingestão e inalação de vapores em ambiente fechado para trabalhadores industriais regulares. Todavia, para o cenário de ingestão, foram consideradas frações carcinogênicas excedendo o limite para risco para as substâncias Benzeno e Etilbenzeno, enquanto as frações não carcinogênicas consideradas referiram-se a Benzeno e Naftaleno. Tanto para contato dérmico quanto inalação em ambientes fechados foi considerado risco carcinogênico para Benzeno e Etilbenzeno. Xilenos apresentaram risco não carcinogênico quando calculado o total cumulativo desta substância na água subterrânea.

Para trabalhadores de obras, as Planilhas resultaram em cenários de risco para contato dérmico e ingestão. Quando considerada a via de inalação de vapores em ambientes fechados, nenhum composto apresentou-se como fator de risco, porém a soma das concentrações indicou risco cumulativo não carcinogênico para a respectiva via. Os riscos para contato dérmico e ingestão foram superados por Benzeno e Etilbenzeno em suas frações carcinogênicas e por Benzeno e Tolueno para risco não-carcinogênico, acrescendo-se ainda a substância Naftaleno para a via de ingestão de água subterrânea.

Nenhuma substância apresentou risco para o cenário de utilização de água superficial do córrego localizado a 700 metros da área de estudo. Apesar de apresentarem valores cumulativos semelhantes, houve grande disparidade na comparação entre os valores finais de risco por substância.

Na comparação entre os resultados de ambos os modelos, tem-se as seguintes constatações:

- Trabalhadores Industriais

1. Ingestão de Água Subterrânea: valores semelhantes, mas fração carcinogênica apresentou-se maior pelas planilhas da CETESB pelo fato de considerar o Etilbenzeno também como carcinogênico;
2. Ingestão de Solo: valores semelhantes para compostos carcinogênicos e não carcinogênicos;
3. Inalação de Vapores em Ambientes Abertos: RBCA apresentou maiores valores para risco, chegando à diferença de uma ordem de grandeza nos resultados;
4. Inalação de Vapores em Ambientes Fechados: resultados da CETESB para compostos carcinogênicos superaram os do RBCA, por considerar o Etilbenzeno como potencial causador de câncer. Contudo, em se tratando do somatório das substâncias não carcinogênicas, o resultado da CETESB mostrou-se inferior ao calculado pelo RBCA.

- Trabalhadores de Obras

1. Ingestão de Água Subterrânea: o somatório dos riscos indicou valores obtidos pelas planilhas da CETESB superiores aos do RBCA;
2. Ingestão de Solo: planilhas da CETESB resultaram em valores de risco bastante superiores, com grande disparidade dos compostos não-carcinogênicos;
3. Inalação de Vapores em Ambientes Abertos: valores apresentados pela CETESB indicaram risco maior em comparação com o modelo RBCA;
4. Inalação de Vapores em Ambientes Fechados: as frações carcinogênicas das substâncias submetidas à avaliação apresentaram valor cumulativo maior por meio das planilhas de avaliação da CETESB, ocorrendo o oposto quando o referencial é a fração não carcinogênica das substâncias.

De maneira geral, para o presente estudo de caso, as planilhas da CETESB revelaram valores superiores ao RBCA no que tange às frações carcinogênicas das substâncias em questão, sobretudo pelo fato de considerar o Etilbenzeno como carcinogênico, o que não ocorre no modelo RBCA. A CETESB apresentou resultados mais conservadores e indicando maior risco para

grande parte dos cenários, especialmente em se tratando de trabalhadores de obras como receptores. As maiores divergências com relação ao RBCA ocorrem na comparação com valores cumulativos de Solo.

7.1 Níveis Aceitáveis Baseados no Risco

As Tabelas 7.7 e 7.8 mostram os Níveis Aceitáveis Baseados no Risco (NABRs) para os compostos e cenários definidos na Área de Estudo com o programa RBCA *Tool Kit*, ao passo que as Tabelas 7.9 e 7.10 mostram os NABRs calculados a partir das Planilhas da CETESB. Para o cenário de Receptores *off site* em contato com a água superficial todos os NABRs calculados indicaram valores superiores aos de solubilidade do composto em água e nenhum apresentou risco ao potencial receptor.

Tabela 7.7 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores Industriais.

Água Subterrânea (mg/L)							
Substância	Ingestão de Água Subterrânea	Volatilização em Ambiente Aberto	Volatilização em Ambiente Fechado	NABR		FRC a ser considerado	
				Aplicável	Foi excedida?		
Benzeno	4,6E-2	2,0E+1	9,4E-1	4,6E-2	SIM	9,9E+1	
Etilbenzeno	8,8E+0	>1,7E+2	5,8E+1	8,8E+0	NÃO	<1,0	
Naftaleno	1,8E+0	>3,1E+1	3,6E+0	1,8E+0	SIM	1,0E+0	
Tolueno	7,0E+0	>5,3E+2	3,2E+2	7,0E+0	SIM	5,9E+0	
Xilenos	6,6E+0	1,4E+2	6,6E+0	6,6E+0	SIM	2,3E+0	
Solo (mg/kg)							
Substância	Lixiviação de Solo Para Água de Ingestão	Volatilização do Solo para Ambientes Fechados	Volatilização do Solo para Ambientes Abertos	Modos de Contato Direto	NABR		FRC a ser considerado
					Aplicável	Foi excedida?	
Benzeno	5,2E-2	9,9E-1	1,1E+2	9,5E+1	5,2E-2	NÃO	<1,0
Etilbenzeno	2,6E+1	1,1E+2	>3,8E+2	1,8E+5	2,6E+1	NÃO	<1,0
Naftaleno	3,6E+1	4,6E+1	1,3E+2	1,3E+2	3,6E+1	NÃO	<1,0
Tolueno	1,5E+1	3,9E+2	>8,5E+2	1,4E+5	1,5E+1	NÃO	<1,0
Xilenos	6,1E+1	1,4E+1	>5,2E+2	3,5E+5	1,4E+1	NÃO	<1,0

Obs.: > = concentração superior ao limite de saturação da água

Tabela 7.8 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores de Obras.

Água Subterrânea (mg/L)							
Substância	Ingestão de Água Subterrânea	Volatilização em Ambiente Aberto	Volatilização em Ambiente Fechado	NABR		FRC a ser considerado	
				Aplicável	Foi excedida?		
Benzeno	7,0E-1	2,0E+1	2,9E+0	7,0E-1	SIM	6,5E+0	
Etilbenzeno	1,8E+1	>1,7E+2	7,8E+1	1,8E+1	NÃO	<1,0	
Naftaleno	3,5E+0	>3,1E+1	4,8E+0	3,5E+0	NÃO	<1,0	
Tolueno	1,4E+1	>5,3E+2	4,0E+2	1,4E+1	SIM	3,0E+0	
Xilenos	3,5E+1	1,4E+2	8,9E+0	8,9E+0	SIM	1,7E+0	
Solo (mg/kg)							
Substância	Lixiviação de Solo Para Água de Ingestão	Volatilização do Solo para Ambientes Fechados	Volatilização do Solo para Ambientes Abertos	Modos de Contato Direto	NABR		FRC a ser considerado
					Aplicável	Foi excedida?	
Benzeno	8,0E-1	3,7E+0	2,9E+1	2,9E+1	8,0E-1	NÃO	<1,0
Etilbenzeno	5,3E+1	1,4E+2	>3,8E+2	1,8E+5	5,3E+1	NÃO	<1,0
Naftaleno	7,3E+1	6,2E+1	5,1E+1	5,0E+1	7,3E+1	NÃO	<1,0
Tolueno	3,0E+1	6,1E+2	>8,5E+2	1,4E+5	3,0E+1	NÃO	<1,0
Xilenos	1,2E+2	1,9E+1	1,6E+2	1,6E+2	1,9E+1	NÃO	<1,0

Obs.: > = concentração superior ao limite de saturação da água

Tabela 7.9 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores Industriais.

Substância	Risco	Exposição pelo Solo (mg/kg)			
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Ingestão de Água a partir da Lixiviação do	Ingestão
Benzeno	C	8,15E+1	7,65E-1	1,67E-2	9,23E+2
	NC	6,63E+2	6,22E+0	1,27E-1	7,05E+3
Etilbenzeno	C	2,54E+2	2,39E+0	9,67E-2	4,61E+3
	NC	2,21E+4	2,07E+2	3,69E+0	1,76E+5
Naftaleno	C	1,87E+1	3,54E+0	NA	NA
	NC	6,63E+1	1,25E+1	3,09E+0	3,52E+4
Toueno	C	NA	NA	NA	NA
	NC	1,10E+5	1,04E+3	3,35E+0	1,41E+5
Xilenos	C	NA	NA	NA	NA
	NC	2,21E+3	2,07E+1	1,53E+0	3,52E+5
Substância	Risco	Exposição pela Água Subterrânea (mg/L)			
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Contato Dérmico	Ingestão
Benzeno	C	4,00E+1	9,48E-1	6,26E-1	4,61E-2
	NC	3,25E+2	7,70E+0	4,78E+0	3,52E-1
Etilbenzeno	C	1,27E+2	2,89E+0	9,58E-1	2,31E-1
	NC	1,10E+4	2,50E+2	3,66E+1	8,81E+0
Naftaleno	C	6,31E+1	3,10E+0	NA	NA
	NC	2,23E+2	1,10E+1	7,63E+0	1,76E+0
Toueno	C	NA	NA	NA	NA
	NC	5,50E+4	1,28E+3	4,63E+1	7,05E+0
Xilenos	C	NA	NA	NA	NA
	NC	1,01E+3	2,35E+1	NA	1,76E+1

Obs.: NA = não aplicável.

Tabela 7.10 – Metas de Remediação Determinadas – Trabalhadores de Obras.

Substância	Risco	Exposição pelo Solo (mg/kg)			
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Ingestão de Água a partir da Lixiviação do	Ingestão
Benzeno	C	8,15E+1	1,77E+0	2,13E-1	2,88E+3
	NC	5,30E+1	1,15E+0	1,30E-1	1,76E+3
Etilbenzeno	C	2,54E+2	8,55E+0	1,26E+0	1,44E+4
	NC	1,77E+3	5,94E+1	3,86E+0	4,41E+4
Naftaleno	C	2,01E+2	4,01E+1	NA	NA
	NC	5,70E+1	1,14E+1	3,36E+0	8,81E+3
Toueno	C	NA	NA	NA	NA
	NC	8,83E+3	2,52E+2	3,48E+0	3,52E+4
Xilenos	C	NA	NA	NA	NA
	NC	1,77E+2	8,66E+0	1,63E+1	8,81E+4
Substância	Risco	Exposição pela Água Subterrânea (mg/L)			
		Inalação em Ambientes Abertos	Inalação em Ambientes Fechados	Contato Dérmico	Ingestão
Benzeno	C	5,00E+2	9,87E+0	1,96E+0	5,77E-1
	NC	3,25E+2	6,42E+0	1,20E+0	3,52E-1
Etilbenzeno	C	1,58E+3	3,01E+1	2,99E+0	2,88E+0
	NC	1,10E+4	2,09E+2	9,15E+0	8,81E+0
Naftaleno	C	7,89E+2	3,23E+1	NA	NA
	NC	2,23E+2	9,16E+0	1,91E+0	1,76E+0
Toueno	C	NA	NA	NA	NA
	NC	5,50E+4	1,06E+3	1,16E+1	7,05E+0
Xilenos	C	NA	NA	NA	NA
	NC	1,01E+3	1,96E+1	NA	1,76E+1

Obs.: NA = não aplicável.

A Tabela 7.11 indica as metas de remediação finais obtidas. Cabe salientar que, apesar dos NABRs referentes à ingestão de água para trabalhadores industriais sejam metas mais conservadoras, esta via completa-se somente num cenário hipotético. Desta maneira, será adotada a via de inalação de vapores em ambientes fechados como meta de remediação aplicável para a área.

Tabela 7.11 – Metas de Remediação para a Área de Estudo – Água Subterrânea (mg/L).

Substância	Trabalhadores Industriais		Trabalhadores de Obras	
	NABR RBCA	NABR CETESB	NABR RBCA	NABR CETESB
Benzeno	9,4E-1	9,48E-1	7,0E-1	5,77E-1
Etilbenzeno	5,8E+1	2,89E+0	1,8+1	2,88E+0
Naftaleno	3,6E+0	3,10E+0	3,5E+0	1,76E+0
Tolueno	3,2E+2	1,28E+3	1,4E+1	7,05E+0
Xilenos	6,6E+0	2,35E+1	3,5E+1	1,76E+1

7.2 Fatores de Incerteza

O presente item busca listar alguns fatores de incerteza associados a todo o processo de avaliação de risco. Considerando-se que as etapas e suas informações são cumulativas e dependentes, certas informações inferidas podem acabar por superestimar a realidade, tendo em vista a adoção de valores sempre conservadores para assegurar ausência de danos à saúde humana.

7.2.1. Caracterização de Área

Apesar da aparente homogeneidade da área com relação aos seus condicionantes geológicos, muitas vezes peculiaridades locais podem não ter sido detectadas, resultando numa representação que não reflete fielmente a realidade, aplicando-se o mesmo pressuposto à outras etapas da caracterização física da área.

Os dados relativos ao histórico da área baseiam-se na observação de fotos aéreas e informações coletadas *in loco*, passíveis de imprecisões.

Para o dado relativo à contaminação por Etanol, apesar de apresentar-se acima do limite de quantificação laboratorial, não há um valor de intervenção nacional ou internacional definido, tendo o mesmo sido excluído da avaliação de risco por falta de parâmetros orientadores.

A inclusão de um cenário de recreação por receptores residenciais distante 700 metros da área de estudo constitui-se como cenário hipotético, uma vez que sua probabilidade de ocorrência, em virtude do uso e ocupação da área, é extremamente baixa.

7.2.2. Modelagem Matemática

Os modelos contidos no *software* e nas planilhas embutem em seus cálculos equações e modelos intra e inter-meios com parâmetros e dados padronizados (geralmente conservadores), não obtidos diretamente na área por métodos analíticos, levando à geração de valores de saída muitas vezes superestimados.

7.2.3. Estimativa de Parâmetros

Como parte da avaliação de risco, deve-se estimar valores para os receptores, tais como tempo médio de vida, tempo de exposição aos contaminantes locais, horas de trabalho diários e

número de dias trabalhados, entre outros, os quais, na falta de valores obtidos diretamente com funcionários no local de estudo, foram estimados por meio de parâmetros tabelados pela CETESB e EPA. Tais valores objetivam uma padronização para usuários em geral, baseados em estudos populacionais, contudo, podem não refletir a realidade local da área avaliada

7.2.4. Informações Toxicológicas

Estudos toxicológicos muitas vezes são realizados em animais e seus resultados extrapolados para seres humanos, acarretando em incertezas e limitações. Ainda, tem-se a aplicação de dados de exposição aguda extrapolados para estimativas de exposição a longo prazo.

Os dados toxicológicos utilizados no estudo seguiram o *default* de cada programa.

8. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou os resultados de um Diagnóstico Geoambiental e Avaliação de Risco à Saúde Humana para um estudo de caso real, correspondente à uma área industrial de armazenamento de combustíveis cuja água subterrânea fora impactada em virtude de um vazamento.

A avaliação contou com dados secundários, representativos do local em sua maior parte. Nos casos nos quais houve necessidade de complementação, recorreu-se a dados bibliográficos especializados. Em suma, o meio físico apresenta estratificação homogênea, com camadas mais argilosas na superfície e aumento dos teores de areia conforme avança a profundidade, levando à existência de um aquífero raso granular; o fluxo potenciométrico segue em direção a oeste, para áreas industriais vizinhas e em direção a um córrego localizado a cerca de 700 m.

Os cenários de risco e metas de remediação foram simuladas por meio do *software* RBCA, obedecendo sua metodologia preconizada e por meio das Planilhas de Avaliação de Risco da CETESB, lançadas recentemente. Os resultados indicaram risco para trabalhadores industriais regulares quanto à ingestão de água subterrânea (cenário hipotético considerando uso atual) e inalação de vapores em ambientes fechados e risco aos trabalhadores de obras civis pelas mesmas vias.

As metas de remediação apresentaram diferenças entre os resultados fornecidos pelas Planilhas da CETESB e pelo RBCA. No primeiro caso, as metas calculadas para receptores industriais para inalação em ambientes fechados resultaram em 0,94 mg/L para benzeno; 28,9 mg/L para etilbenzeno; 3,1 mg/L para naftaleno; 1280 mg/L para tolueno e 23,5 mg/l para xilenos, ao passo que, no RBCA, para a mesma unidade de concentração e as mesmas substâncias, respectivamente, os resultados obtidos foram 0,94; 58; 3,6; 320 e 6,6. Com relação aos trabalhadores industriais, no cenário de ingestão de água subterrânea, os valores resultantes com as Planilhas da CETESB foram, em mg/L, 0,577 para benzeno; 2,88 para etilbenzeno; 1,76 para naftaleno; 7,05 para tolueno e 17,6 para xilenos, enquanto o RBCA indicou valores respectivos de 0,7; 18; 3,5; 14 e 35.

Desta forma, nota-se que, de maneira geral, os valores obtidos por meio das Planilhas da CETESB são mais restritivos para etilbenzeno, por considerar uma fração carcinogênica deste

composto e naftaleno. Xilenos e tolueno apresentam-se mais restritivos nos valores apresentados pelo RBCA e dados de benzeno apresentaram valores bastante semelhantes.

No presente estudo de caso, as principais hipóteses levantadas acerca das discrepâncias com relação aos riscos e metas de remediação residem nas diferenças entre dados toxicológicos dos dois modelos (especialmente com relação aos xilenos) e nos dados de *default* para os quais a CETESB limita maior quantidade de dados de entrada, padronizando grande parte destes de modo a facilitar e não gerar grandes subjetividades aos executores da avaliação. Cabe ressaltar que esta padronização seguiu principalmente valores preconizados pela EPA, CSOIL (holandesa) e muitos dados representativos do Estado de São Paulo, levantados pela própria CETESB ou por pesquisadores brasileiros, gerando, conseqüentemente, diferenças com relação aos dados padronizados pelo programa RBCA. Os modelos de dispersão e transporte utilizados em ambos os modelos foram os mesmos, não sendo a diferença de modelos levantada como hipótese relevante.

De maneira geral, no presente estudo de caso, as simulações demonstraram que uma maior padronização de dados com base em estudos representativos do estado de São Paulo, quando comparada com um *software* de maior demanda de dados iniciais, mas valores de *default* não necessariamente condizentes à realidade de São Paulo, geraram alguns dados diferenciados entre os dois modelos no que tange a determinadas substâncias e cenários de exposição, evidenciando a subjetividade de modelos ambientais e a necessidade de aprimoramento das representações ambientais e de estudos específicos.

9. BIBLIOGRAFIA

ABNADUR, Adriano. **Remediação de Solo e Água Subterrânea Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo**: Estudo de Caso na Refinaria Duque de Caxias/RJ. 2005. 156 f. Tese (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Agência Nacional do Petróleo - ANP. **Anuário Estatístico da Agência Nacional do Petróleo**. Atualizado em 2008. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em 20 Jun. 2009.

ASTM – American Standard for Testing and Materials. **E1739-95**: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Released Sites. Philadelphia, 1995.

BARBASSA, A. G. **Perspectiva dos Setores de Energia e Petróleo**. Rio de Janeiro: 2006. V Fórum de Tendências Aliança do Brasil. Disponível em: <<http://www.aliancadobrasil.com.br>>. Acesso em 20 jun. 2009.

BOCARDE, Flávio. **Análise dos Conflitos**: Uso e Ocupação da Terra e Fragilidade de Aquíferos em Paulínia, SP, Brasil. 2003. 132 f. Tese (Mestrado) - Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, 2003.

BONGANHA, C. A. **A utilização da modelagem matemática como ferramenta para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos**: uma proposta para o município de Araraquara – SP. Dissertação de Mestrado – Centro Universitário de Araraquara – UNIARA, Araraquara, 2005, 124p.

BONGANHA, C. A.; et al. Conceitos e Fundamentos da Modelagem Matemática para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos. **Revista Analytica**, nº 30, 2007, 116-120 p.

BORGUETTI, N.R.B.; BORGUETTI, J.R.; FILHO, E.F.R. **O Aquífero Guarani**: a verdadeira integração dos países do Mercosul. 214p. Curitiba, 2004.

Brasil – **Ministério da Saúde** – Portaria MS Nº 518 de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://dtr2004.saude.gov.br/dab/docs/legislacao/portaria518_25_03_04.pdf>. Acesso em 05 jun. 2009

Brasil – Agência Nacional do Petróleo – **ANP** – Portaria ANP nº 100, de 20/06/2000 – DOU 21/06/2000. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em 05 jun. 2009

Brasil – Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Meio Ambiente – **CONAMA** – Resolução 273/2000. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/2000_Res_CONAMA_273.pdf>. Acesso em 05 jun. 2009.

Brasil – Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Meio Ambiente – **CONAMA** – Resolução 319/2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/legislacao/Resolucao_CONAMA_319_02.pdf>. Acesso em 05 jun. 2009.

CASTILHOS, Zuleica Carmen et al. Avaliação de Risco Ambiental na Recuperação de Áreas Degradadas. Estudo de Caso: Região Carbonífera Catarinense. In: SEMINÁRIO BRASIL-CANADÁ DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS MINERADAS, 1., 2003, Florianópolis. **Anais...** . Rio de Janeiro: Cetem, 2003. p. 197 - 217.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Ações Corretivas Baseadas no Risco (ACBR)** – Câmara Ambiental do Comércio e Derivados de Petróleo. Grupo de Avaliação de Risco – Projeto ACBR. CETESB, São Paulo, 2000. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 01 jun. 2009.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. CETESB, São Paulo, 2001.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria Nº **195-2005-E**, de 23 de novembro de 2005 Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001 e dá outras providências. CETESB, São Paulo, 2005.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria Nº **103/2007/C/E**, de 22 de junho de 2007. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. CETESB, São Paulo, 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Cadastro de Áreas Contaminadas do Estado de São Paulo**. São Paulo: 2008. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 08 Jun. 2009.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Vazamentos de Óleo**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/vazamento.asp>>. Acesso em: 17 jun. 2009.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

CLEARY, R.W. **Qualidade das Águas Subterrâneas**. In: PORTO *et al.* Hidrologia Ambiental. ABRH e EDUSP. São Paulo. p. 211-293. 1991.

CORDAZZO, J. **Modelagem e Simulação Numérica do Derramamento de Gasolina Acrescida de Álcool em Águas Subterrâneas**. 2000. 120p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

CORSEUIL, Henry Xavier; MARINS, Marcus Dal Molin. Efeitos Causados pela Mistura de Gasolina e Álcool em Contaminações de Águas Subterrâneas. **Boletim Técnico Petrobras**, Rio de Janeiro, n. 41, p.133-138, 1998.

COUTO, Maria Luiza Teixeira. **Atualização dos Fatores de Exposição e sua Influência nos Valores de Intervenção para Solo do Estado de São Paulo**. 2006. 269 f. Tese (Mestrado) - Departamento de Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

DEFENSORIA DA ÁGUA. **Relatório “O Estado Real das Águas no Brasil 2003-2004”**. 16 mar. 2004. Conselho deliberativo (representantes): Ministério Público Federal, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Conferência Nacional dos Bispos do Brasil, Cáritas Brasileiras, Instituto Ambiental 21, Comissão Pastoral da Terra, ONG Terra de Direitos.

EPA, 2008 - **Regional Screening Levels for Chemical Contaminants at Superfund Site**. EUA. Disponível em: < <http://www.epa.gov/region09/superfund/prg/>>. Acesso em 01 jul. 2009.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L. V. **Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os compostos do meio físico**. Instituto de Geociências, 557p., 1998.

FREITAS, M. A.; MENDES, C. A. B. **Definição de Áreas de Proteção em Aquíferos Fraturados Através de Modelagem de Mapas com Sistema de Informações Geográficas**. 1998. Disponível em: <<http://www.perfuradores.com.br>>. Acesso em 25 jul. 2009.

GUIGUER, N. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento**. Waterloo Hydrogeologic, Inc. 356p, 2000.

GUIMARÃES, C. H. D. **Avaliação de Risco Ambiental de Sítios Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo**. 2003. 315 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro (RJ): Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2003.

HAGGET, P.; CHORLEY, R. J. Models, Paradigmes and the New Geography. In **Models in Geography**. Londres, Methuen & Co., 1967.

HORTA NOGUEIRA, L. A; Agência Nacional do Petróleo. Produção e Processamento de Petróleo e Gás Natural no Brasil: perspectivas e sustentabilidade nos próximos 20 anos. In: SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL: OS PRÓXIMOS 20 ANOS, 1, 2002, Campinas. **Evento**. Campinas: UNICAMP, 2002. Disponível em: <<http://www.unicamp.br>>. Acesso em 08 jun. 2009.

INSTITUTO GEOLÓGICO - 1999. Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos. São Paulo. 98p. (Relatório Técnico de Instituto Geológico).

IRITANI, M.A. **Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea**. Tese (Doutorado). USP, São Paulo, 1998. 200 p.

MANCINI, T. M. **Métodos De Caracterização de Áreas Potencialmente Contaminadas por Hidrocarbonetos de Petróleo**. 2002. 187f. Trabalho de Conclusão de Curso. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências, 2002.

MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. 2006. 162p. Tese de doutorado – São Paulo (SP): Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2006.

MARQUES, S. G. **Metodologia geofísica para contaminação por hidrocarbonetos** – estudo de caso em posto de combustíveis. 2007. 98 f. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, 2007.

MICHELS, Cristiana et al. Avaliação de risco à saúde humana em terminais de armazenamento de petróleo e derivados: estudos de casos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** . Cuiabá: ABAS, 2004.

MINDRISZ, A. C. **Avaliação da Contaminação da Água Subterrânea de Poços Tubulares, por Combustíveis Fósseis, no Município de Santo André, São Paulo:** uma contribuição à gestão ambiental. 2006. 254 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006.

NUNES, Gabriela. **Contaminação do Solo e da Água Subterrânea por Hidrocarbonetos de Petróleo e o Caso da Gasolina Brasileira.** 2008. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2008.

OLIVEIRA, E. de. **Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo.** 1992. Dissertação de mestrado. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 1992.

PEDROZO, M.F.M.; BARBOSA, E.M.; CORSEUIL, H.X.; SCHNEIDER, M.R.; LINHARES, M.M. **Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo.** CRA – Centro de Recursos Ambientais, Governo da Bahia, Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia, Salvador, 2002.

PENNER, G. C. **Estudos Laboratoriais da Contaminação do Solo por Gasolina com o Uso de Detetor de Fotoionização.** 2000. 107p. Dissertação de Mestrado. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

PETROBRAS. **Indústria Nacional**. Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://www2.petrobras.com.br/portal>> Acesso em: 01 ago. 2009.

RAIMUNDO, R. S.; RIZZO, A. C. L.. Efeito da Adição de Surfatantes na Biodegradação de Hidrocarbonetos de Petróleo em Solo. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Cetem, 2001. p. 220 - 228. Disponível em: <http://200.20.105.247/publicacao/serie_anais_IX_jic_2001/Renatar.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2009.

SILVA, C. C. G. **Otimização de uma unidade de *air stripping* para remover BTEX de águas residuárias**. 2004. Dissertação de Mestrado. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Química, 2004.

SILVA, M. A. B. da. **Sistema de Classificação Fuzzy para Áreas Contaminadas**. 2005. 221f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil– Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

SILVA, R. L. B. **Contaminação de Poços Rasos no Bairro Brisamar, Ítaqui, RJ, por Derramamento de Gasolina: Concentração de Btex e Avaliação da Qualidade da Água Consumida Pela População**. 182p. Tese de Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública. Rio de Janeiro (RJ): Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, 2002.

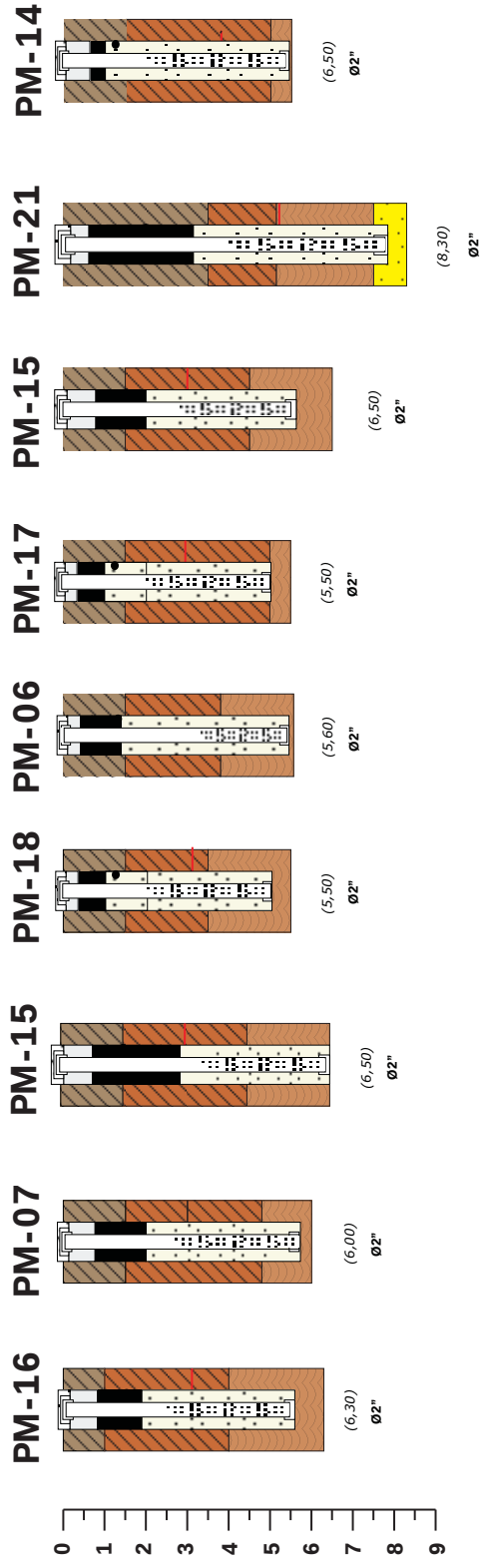
SQUISSATO, Bianca Vazzoler Alves de Oliveira. **Diagnóstico Geoambiental e Avaliação de Risco à Saúde Humana para uma área industrial na região do município de Paulínia - SP**. 2008. 61 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro, 2008.

TAKEUCHI, Eri. **Aplicação da Metodologia RBCA para o Município de Porto Alegre:** Definição de níveis aceitáveis baseados no risco para hidrocarbonetos. 2008. 158 f. Tese (Mestrado) - Ufrgs, Porto Alegre, 2008.

TIBURTIUS, R. L. E.; ZAMORA, P. P. Contaminação de Águas por BTEX e Processos Utilizados na Remediação de Sítios Contaminados. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 3, p.441-446, 2004.

VROM, 2008 – **Circular on target values and intervention values for soil remediation** - Revised Dutch Reference Framework (STI –Values) - Netherlands Government. Disponível em: <<http://www.vrom.nl/Docs/internationaal/Soil%20Remediation%20Circular2006pdf.>>. Acesso em 01 jul. 2009.

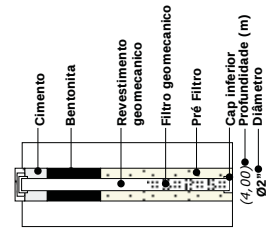
ANEXO A



Legenda

- Solo argiloso marrom
- Sedimento argiloso com frações silto-arenosas marrom
- Sedimento Arenoso com argila marrom
- Areia grossa com silte ocre

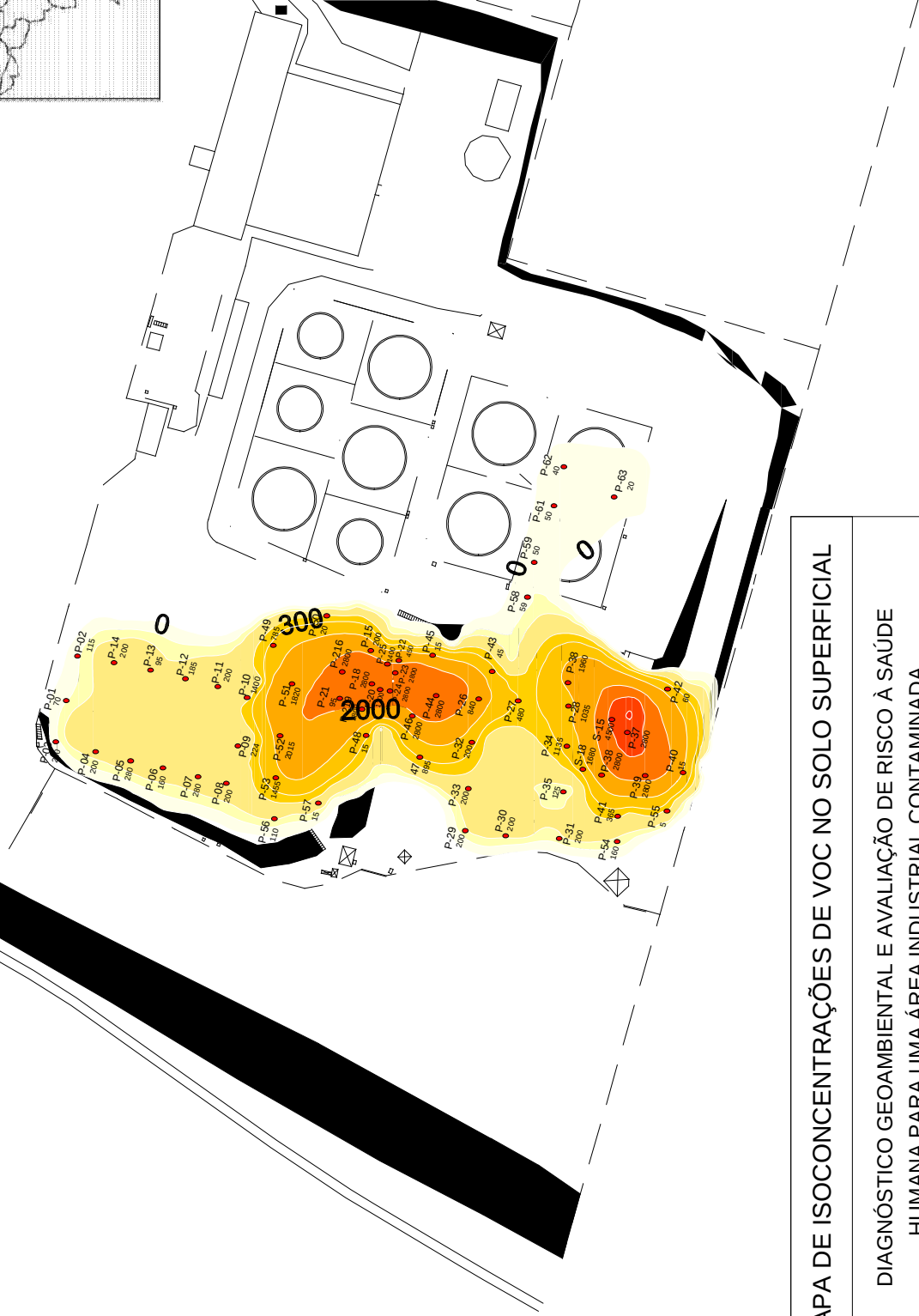
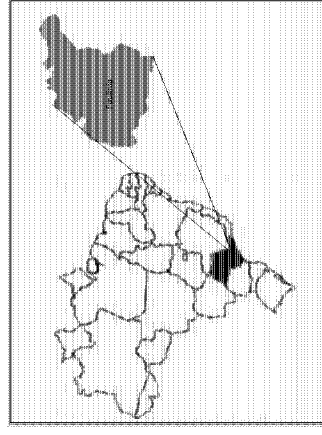
PERFIL CONSTRUTIVO DO POÇO DE MONITORAMENTO



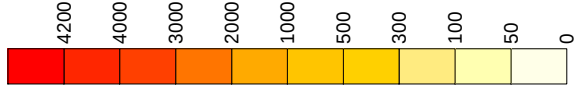
PERFIS CONSTRUTIVOS DE POÇOS DE MONITORAMENTO

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

ANEXO B



Legenda
Concentrações
de VOC (ppm)



● Pontos de
Medição

MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE VOC NO SOLO SUPERFICIAL

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE
HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA
POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO
DE PAULÍNIA (SP)

ANEXO C

Resultados de solo

Tabela 1 – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (mg/kg)						
Parâmetros	Amostra / Profundidade					
	2004			2006	CETESB	CETESB
	S-11 (6,00 m)	S-12 (3,00 m)	S-14 (6,00 m)	S-12 (4,00 m)	Prevenção	Industrial
Benzeno	nd	nd	nd	0,014	0,03	0,15
Tolueno	nd	nd	0,005	0,028	0,14	75
Etilbenzeno	0,002	0,002	0,003	nd	6,2	95
m,p-xilenos	0,001	nd	0,002	0,009	0,13	70
o-xilenos	nd	nd	nd	0,051		
Acenaftaleno	nd	nd	nd	nd		-
Acenafteno	nd	nd	nd	nd		-
Antraceno	nd	nd	nd	nd	0,039	-
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	0,025	65
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	nd	nd	-	-
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	nd	nd	0,57	-
Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	nd	nd	0,38	-
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	0,052	3,5
Criseno	nd	nd	nd	nd	8,1	-
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	0,08	1,3
Fenantreno	nd	nd	nd	nd	3,3	95
Fluoranteno	nd	nd	nd	nd	-	-
Fluoreno	nd	nd	nd	nd	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	0,031	130
Naftaleno	nd	nd	nd	nd	0,12	90
Pireno	nd	nd	nd	nd	-	-

ANEXO D

Resultados analíticos de água subterrânea

Tabela 1 – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-01							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	na	na	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	na	na	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,15	0,05	na	na	nd	nd	140	—
Antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	nd	na	na	nd	nd	140	—
Etanol	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-02							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	189	na	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	104	na	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	47	na	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	57	na	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	33	na	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	na	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	na	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,11	0,09	nd	na	nd	nd	140	—
Antraceno	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	nd	nd	na	nd	nd	140	—
Etanol	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-03							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	na	na	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	na	na	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Naftaleno	4,69	0,45	na	na	nd	nd	140	—
Acenafteno	0,08	0,04	na	na	nd	nd	—	—
Fluoreno	0,11	0,07	na	na	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	0,12	na	na	nd	nd	140	—
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,06	nd	na	na	nd	nd	0,17	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-04							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	4	nd	nd	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	nd	11	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	2	nd	11	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	nd	6	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,28	0,20	nd	nd	nd	nd	140	—
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	140	—
Etanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-05							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	482	215	335	260	155	1391	5	5
Tolueno	1584	191	455	120	72	63	300	200
Etilbenzeno	272	72	300	150	32	59	700	170
m,p-xilenos	1208	238	750	270	155	128	500	300
o-xilenos	757	135	715	170	97	69	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	0,32	nd	nd	nd	—	—
Fluoreno	0,12	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	36,23	nd	19	250	210	107	140	—
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	3,3	—	—
Acenafteno	0,15	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Fenantreno	0,09	0,04	nd	nd	nd	3,7	140	—
Etanol	nd	nd	1,11E+6	na	1,72E+8	9,53E+7	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-06							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	80	509	660	470	224	145	5	5
Tolueno	111	753	405	700	329	238	300	200
Etilbenzeno	9	146	564	550	343	266	700	170
m,p-xilenos	23	210	348	980	750	630	500	300
o-xilenos	14	106	336	330	226	183	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,94	3,97	7,88	86	122	47	140	—
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	140	—
Etanol	nd	nd	nd	na	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-07							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	410	11000	4500	4500	1687	5	5
Tolueno	nd	2425	45800	6300	34800	15231	300	200
Etilbenzeno	nd	330	15200	40400	9300	3301	700	170
m,p-xilenos	nd	672	15400	13200	21000	7752	500	300
o-xilenos	nd	255	9800	4300	7000	2998	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	0,48	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	0,67	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	0,14	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	0,76	nd	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	1,60	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	0,61	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,14	25,33	38,3	380	160	869	140	—
Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	2,1	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-08							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	na	na	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	na	na	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,28	0,04	na	na	nd	nd	140	—
Antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	nd	na	na	nd	nd	140	—
Etanol	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-09							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	na	na	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	na	na	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,7	nd	na	na	nd	nd	140	—
Acenafteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-10							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	na	na	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	na	na	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	na	na	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	na	na	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,05	nd	na	na	nd	nd	140	—
Antraceno	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Fenantreno	nd	nd	na	na	nd	nd	140	—
Etanol	nd	nd	na	na	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-11							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	nd	nd	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	nd	nd	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	nd	nd	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	nd	nd	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	nd	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)antraceno	-	-	nd	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(k)fluoranteno	-	-	0,08	nd	nd	nd	—	—
Benzo(b) fluoranteno	-	-	0,08	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	0,7	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	nd	nd	nd	nd	140	—
Antraceno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Fenantreno	-	-	nd	nd	nd	nd	140	—
Etanol	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-12A							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	43	nd	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	102	nd	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	6,6	nd	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	12	16	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	8,7	5	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	nd	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	nd	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	nd	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-12B							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	50	na	na	nd	5	5
Tolueno	-	-	94	na	na	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	7,2	na	na	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	13	na	na	nd	500	300
o-xilenos	-	-	7,8	na	na	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	nd	na	na	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	nd	na	na	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	nd	na	na	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	nd	na	na	nd	—	—
Criseno	-	-	nd	na	na	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	nd	na	na	nd	—	—
Naftaleno	-	-	nd	na	na	nd	140	—
Acenafteno	-	-	nd	na	na	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-13							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	132	21	79	nd	5	5
Tolueno	-	-	45	7	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	13	8	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	25	13	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	23	7	12	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	nd	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	nd	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	nd	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	nd	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-14							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	nd	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	nd	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	nd	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	nd	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	nd	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-15							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	9600	1980	4555	5	5
Tolueno	-	-	-	5400	12800	33239	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	67800	1900	5087	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	10200	4100	12099	500	300
o-xilenos	-	-	-	3700	1100	3324	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	310	169	1457	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-16							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	nd	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	18	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	103	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	34	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	15	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Etanol	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-17							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	550	120	15	5	5
Tolueno	-	-	-	390	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	140	39	5,3	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	118	8,1	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	41	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	5,9	nd	6,0	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-18							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	5300	2800	4081	5	5
Tolueno	-	-	-	4700	25100	41731	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	47800	3700	4276	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	7800	7000	7575	500	300
o-xilenos	-	-	-	2700	2100	3213	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	340	236	1791	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-19							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	34	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	72	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	210	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	121	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	43	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-20							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	18	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	44	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	280	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	74	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	27	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-21							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	9	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	14	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	67	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	26	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	11	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Etanol	-	-	-	nd	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-22							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	-	9,4	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	-	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	-	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	-	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	-	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	-	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	-	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Etanol	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-23							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	-	-	-	-	nd	nd	5	5
Tolueno	-	-	-	-	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	-	-	-	-	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	-	-	-	-	nd	nd	500	300
o-xilenos	-	-	-	-	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	-	-	-	-	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Criseno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Fluoranteno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Naftaleno	-	-	-	-	nd	nd	140	—
Acenafteno	-	-	-	-	nd	nd	—	—
Etanol	-	-	-	-	nd	nd	—	—

Obs.: (-) = não analisado pois não existia o poço na ocasião; nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

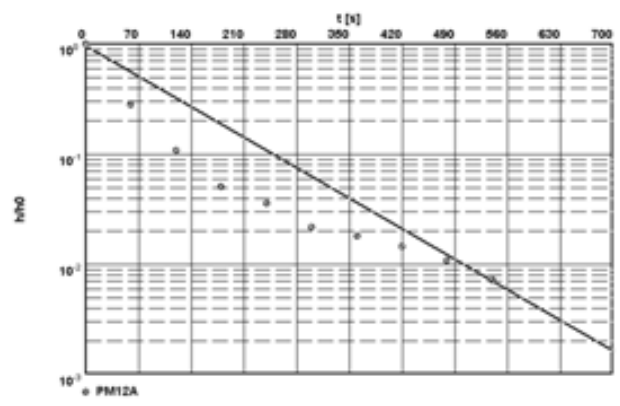
Tabela 1 (continuação) – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	Poço Cacimba							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	CETESB Intervenção	Portaria 518
Benzeno	nd	nd	na	nd	nd	nd	5	5
Tolueno	nd	nd	na	nd	nd	nd	300	200
Etilbenzeno	nd	nd	na	nd	nd	nd	700	170
m,p-xilenos	nd	nd	na	nd	nd	nd	500	300
o-xilenos	nd	nd	na	nd	nd	nd	500	300
Benzo(a)antraceno	nd	nd	na	nd	nd	nd	1,75	—
Benzo(a)pireno	nd	nd	na	nd	nd	nd	0,7	0,70
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	na	nd	nd	nd	—	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	na	nd	nd	nd	—	—
Criseno	nd	nd	na	nd	nd	nd	—	—
Fluoranteno	nd	nd	na	nd	nd	nd	—	—
Naftaleno	0,22	nd	na	nd	nd	nd	140	—
Acenafteno	nd	nd	na	nd	nd	nd	—	—
Etanol	nd	nd	na	nd	nd	nd	—	—

Obs.: nd = não detectado acima do limite de quantificação; na = não analisado.

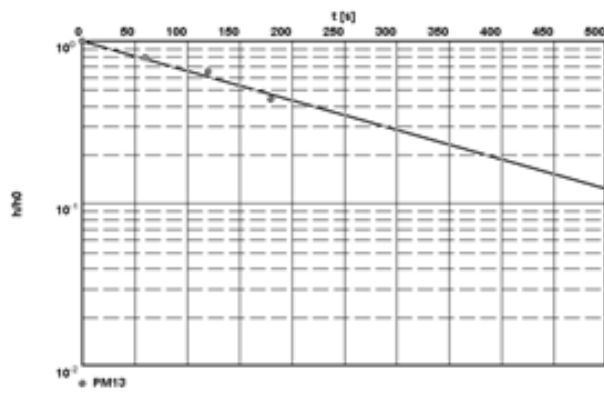
Tabela 2 – Comparação entre os Resultados das Últimas Campanhas com Valores Internacionais (µg/L)								
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-03							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	EPA Industrial	Lista Holandesa
Acenafteno	0,08	0,04	na	na	nd	nd	2200	—
Fluoreno	0,11	0,07	na	na	nd	nd	1500	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-05							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	EPA Industrial	Lista Holandesa
Criseno	nd	nd	0,32	nd	nd	nd	2,9	0,2
Fluoreno	0,12	nd	nd	nd	nd	nd	1500	—
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	3,3	11000	5
Acenafteno	0,15	nd	nd	nd	nd	nd	2200	—
Etanol	nd	nd	1,11E+6	na	1,72E+8	9,53E+7	—	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-07							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	EPA Industrial	Lista Holandesa
Benzo(b) fluoranteno	nd	nd	0,14	nd	nd	nd	0,029	—
Benzo(g,h,i) perileno	nd	nd	0,76	nd	nd	nd	—	0,05
Criseno	nd	nd	1,60	nd	nd	nd	2,9	0,2
Fluoranteno	nd	nd	0,61	nd	nd	nd	1500	1
Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	2,1	2200	—
Parâmetros	Amostra / Poço							
	PM-11							
	Mai/04	Ago/05	Jan/06	Abr/06	Ago/06	Mai/07	EPA Industrial	Lista Holandesa
Benzo(k)fluoranteno	-	-	0,08	nd	nd	nd	0,29	0,05
Benzo(b) fluoranteno	-	-	0,08	nd	nd	nd	0,029	—
Criseno	-	-	0,7	nd	nd	nd	2,9	0,2

Obs.: na = não analisado; nd = não detectado acima do limite de quantificação.

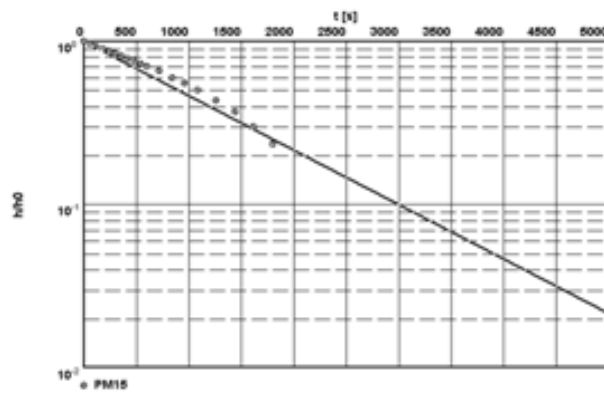
ANEXO E



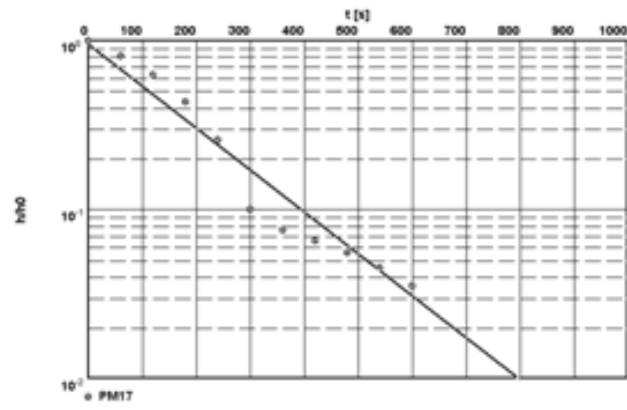
PM-12A



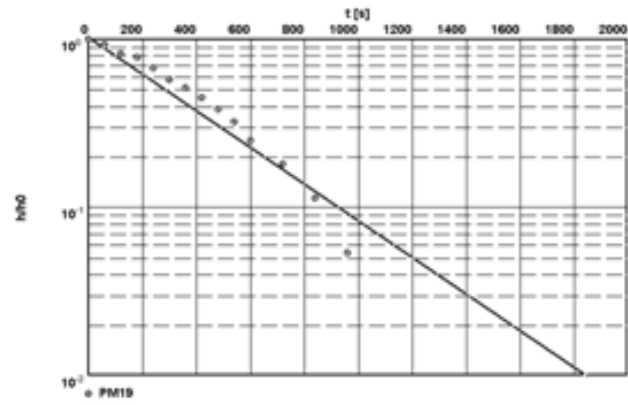
PM-13



PM-15

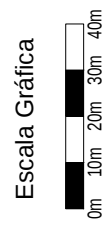
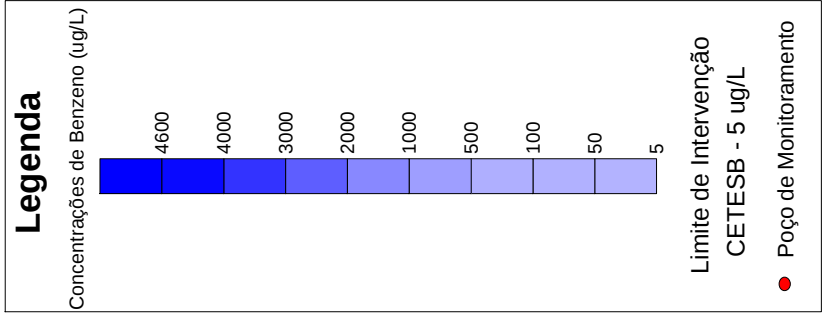
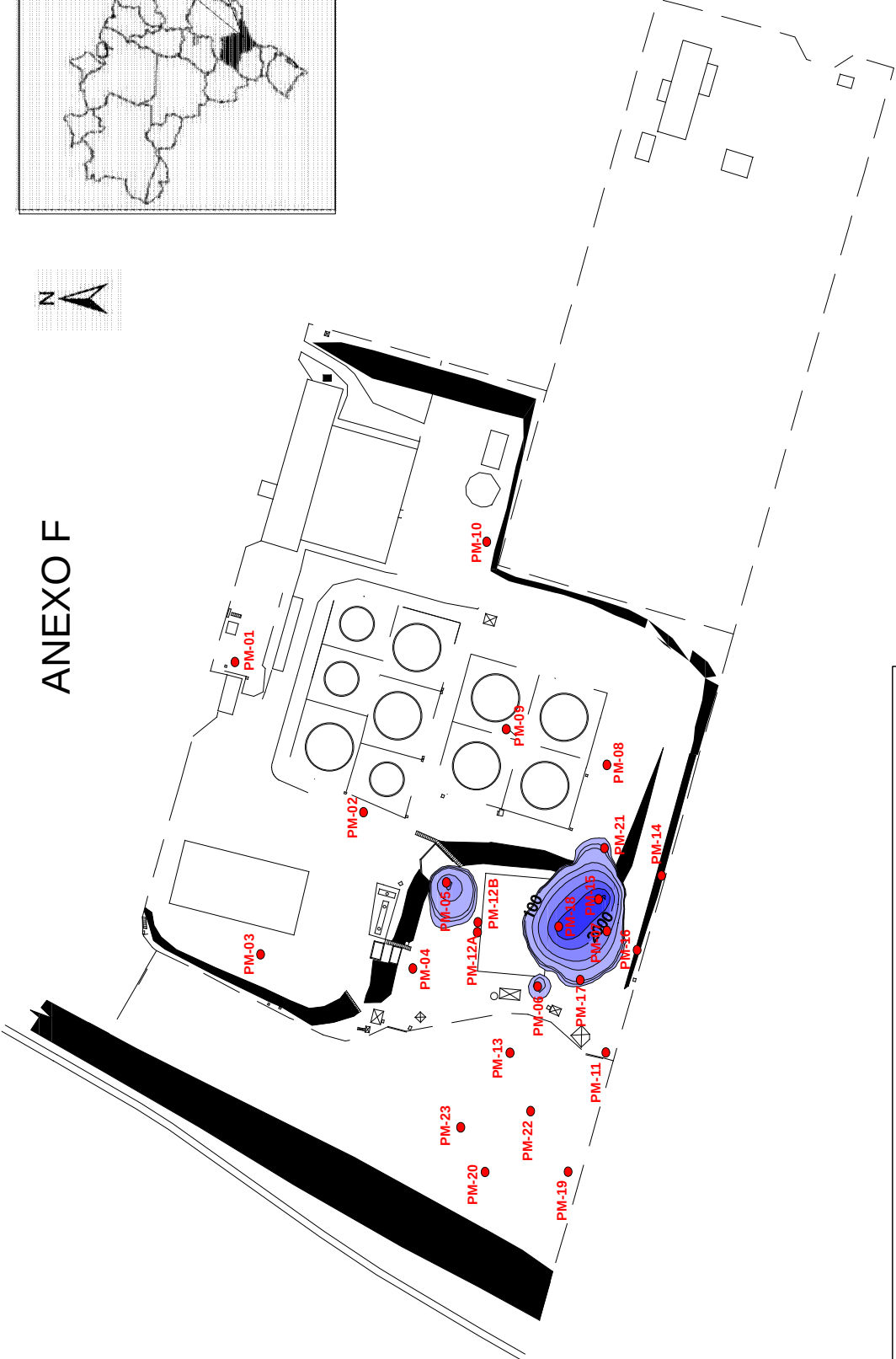
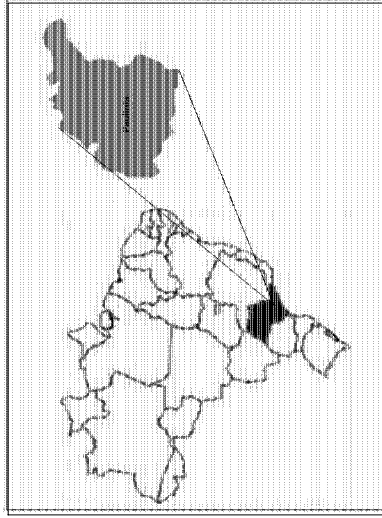


PM-17



PM-19

ANEXO F

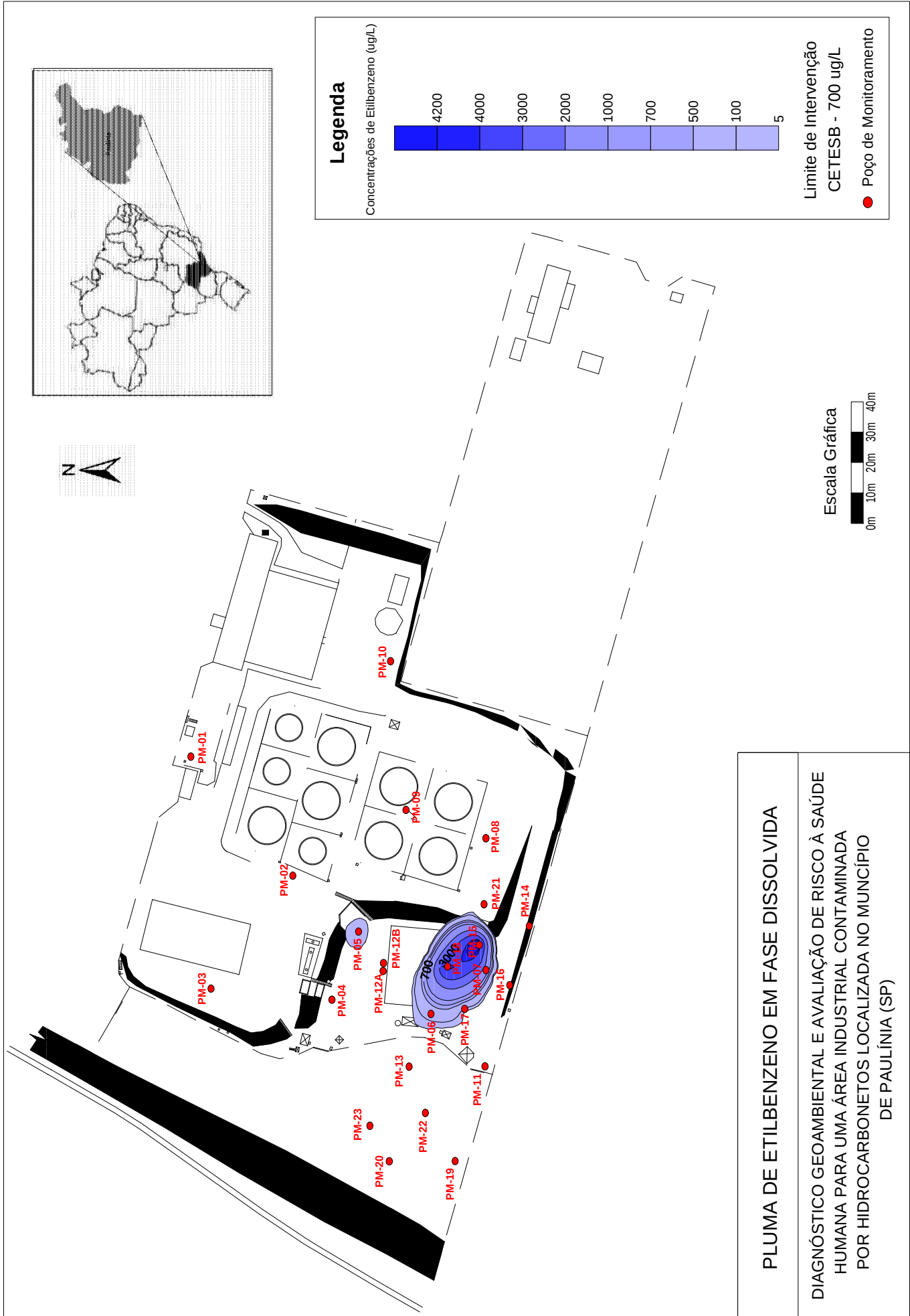


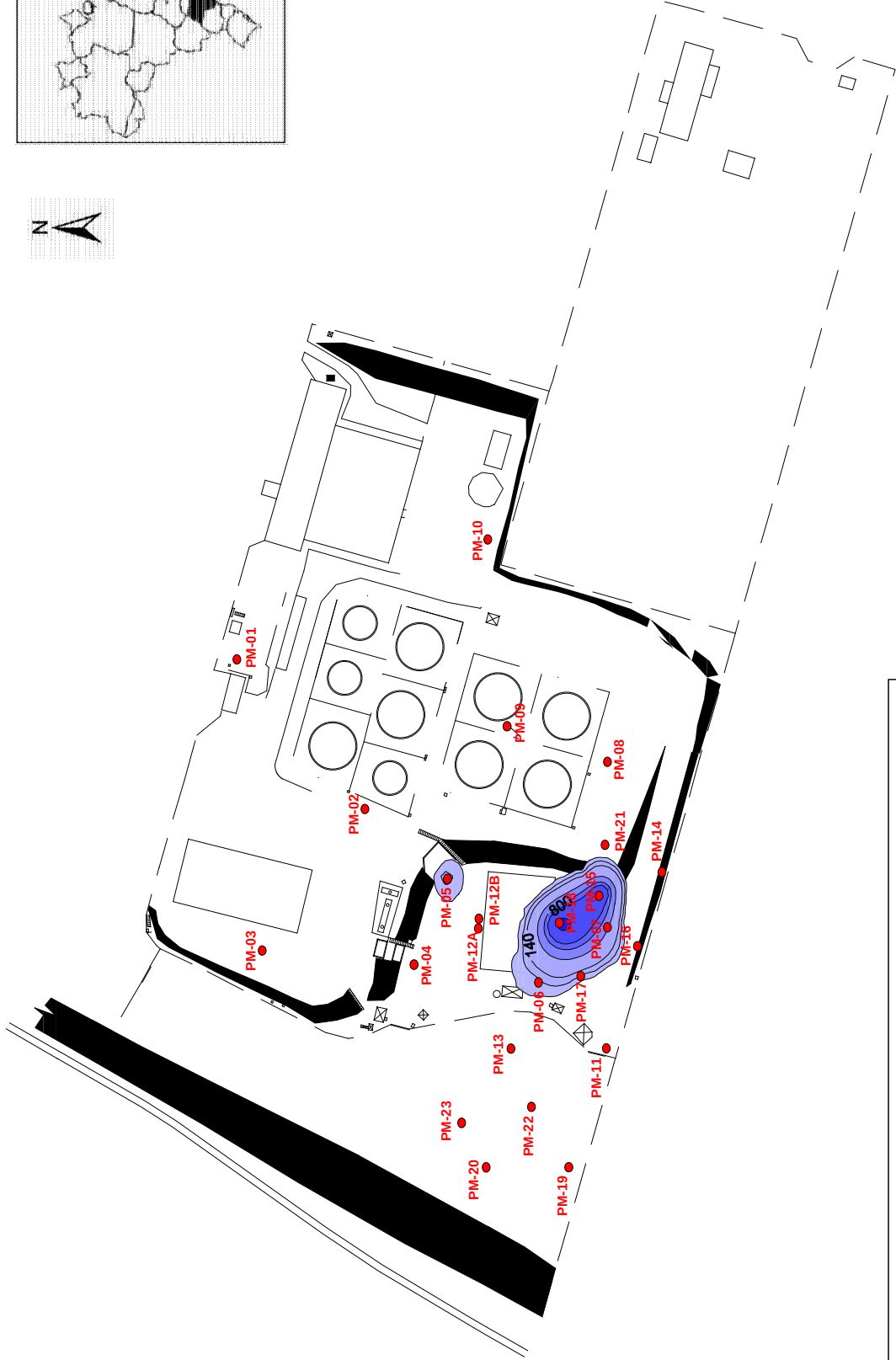
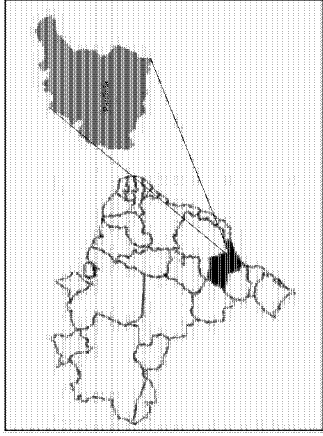
PLUMA DE BENZENO EM FASE DISSOLVIDA

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

PLUMA DE ETILBENZENO EM FASE DISSOLVIDA

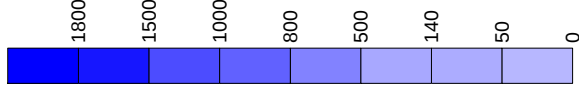
DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)





Legenda

Concentrações de Naftaleno (ug/L)



Limite de Intervenção

CETESB - 140 ug/L

● Poços de Monitoramento

Escala Gráfica

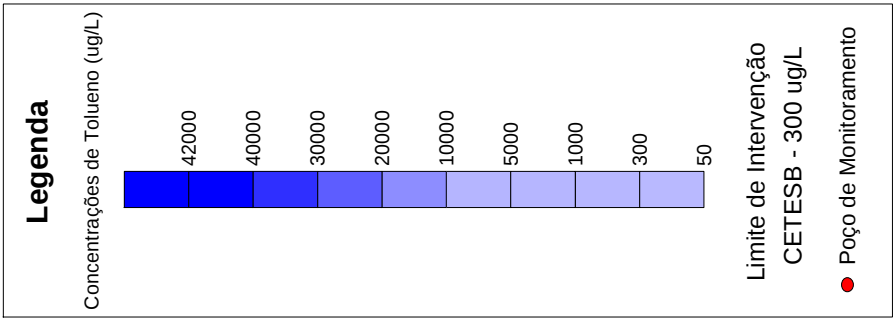
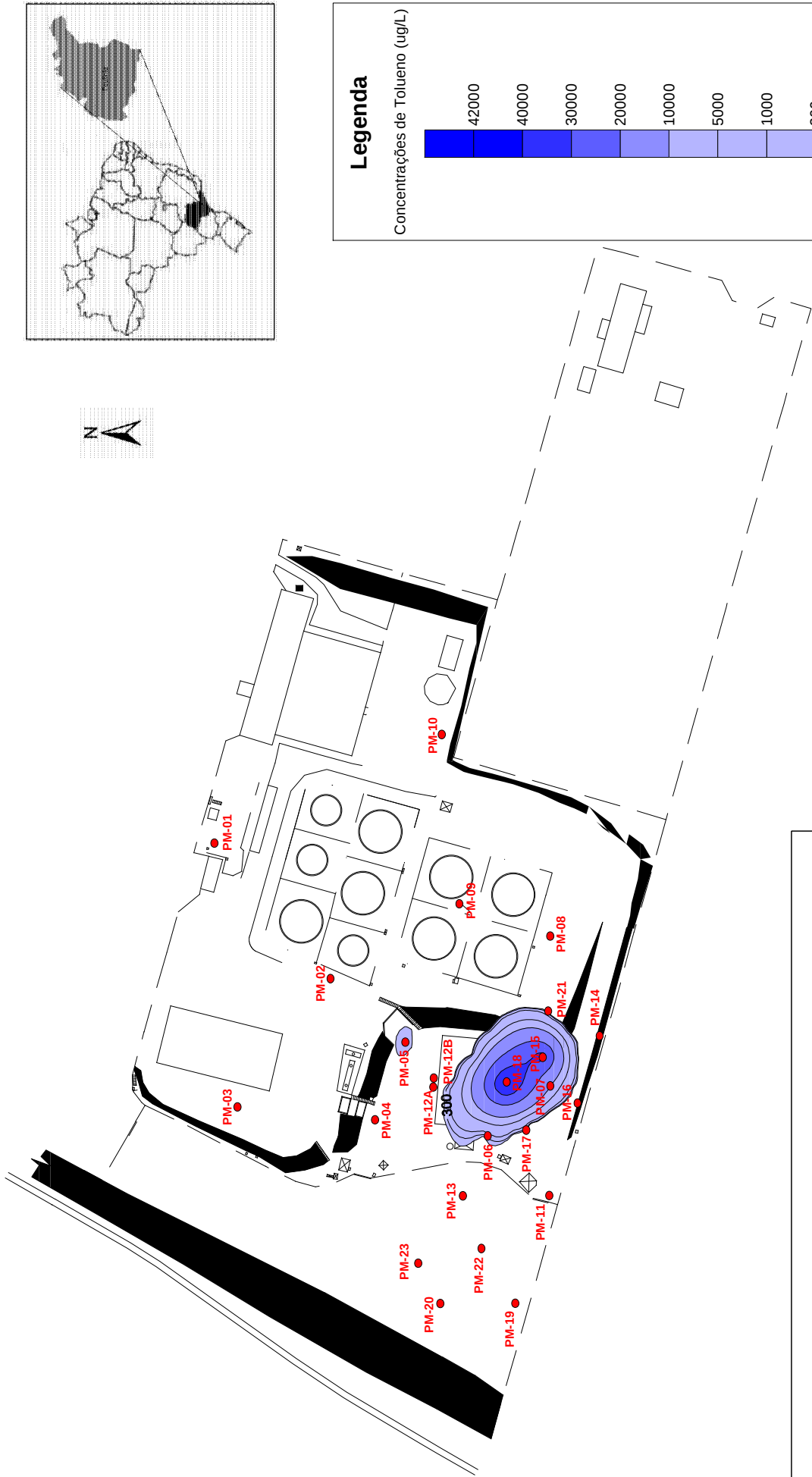


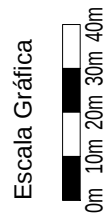
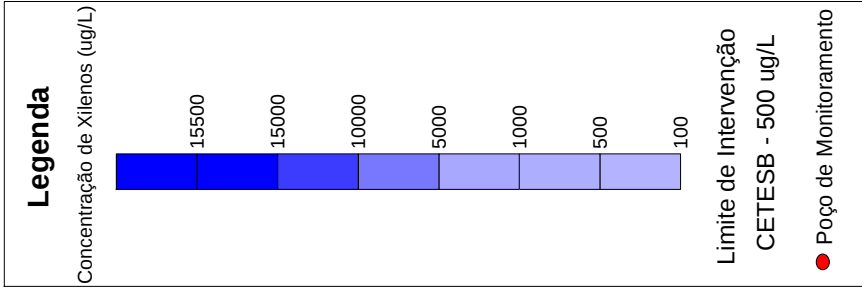
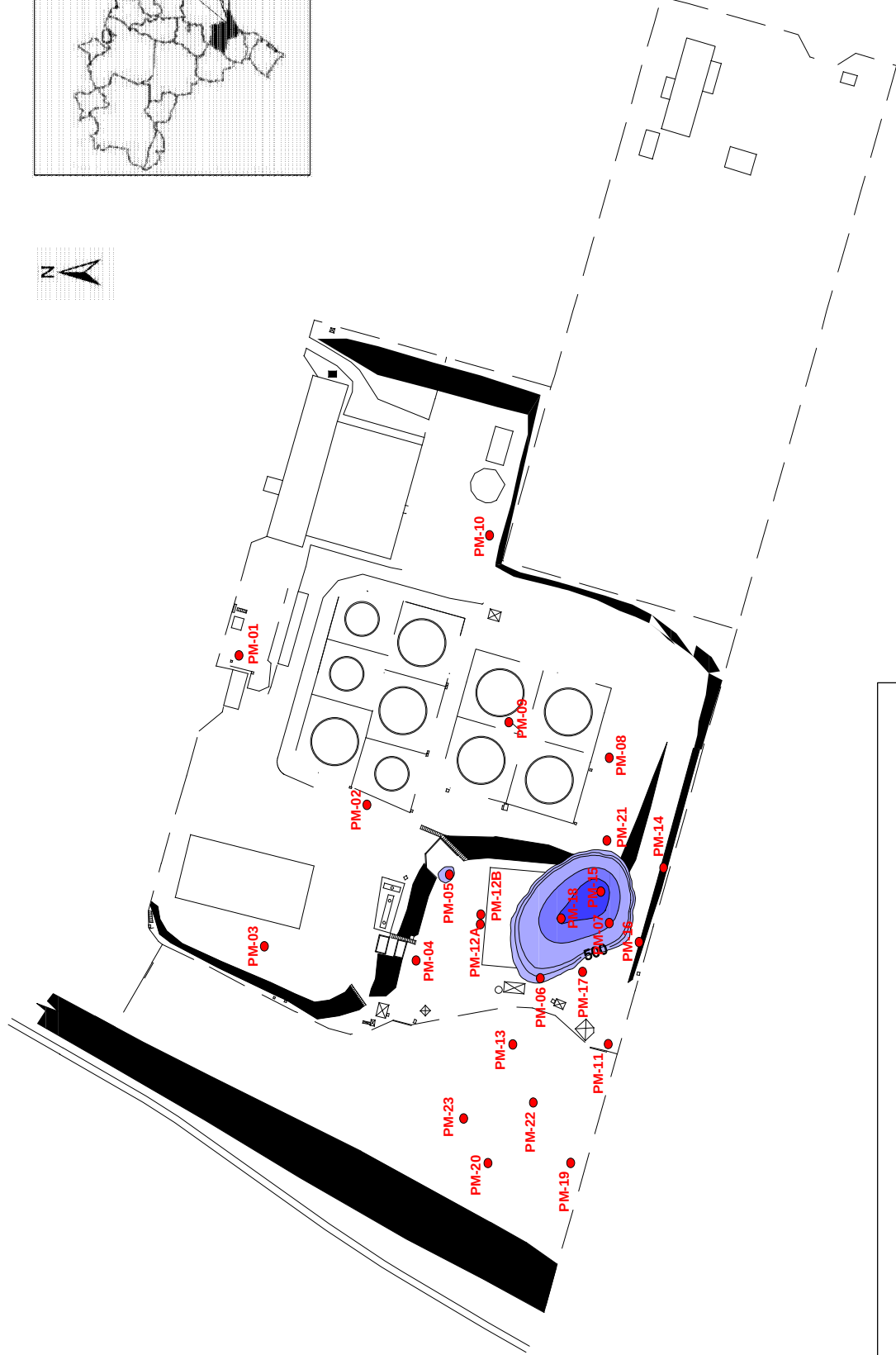
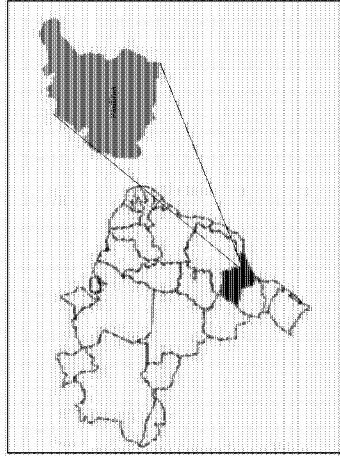
PLUMA DE NAFTALENO EM FASE DISSOLVIDA

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

PLUMA DE TOLUENO EM FASE DISSOLVIDA

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

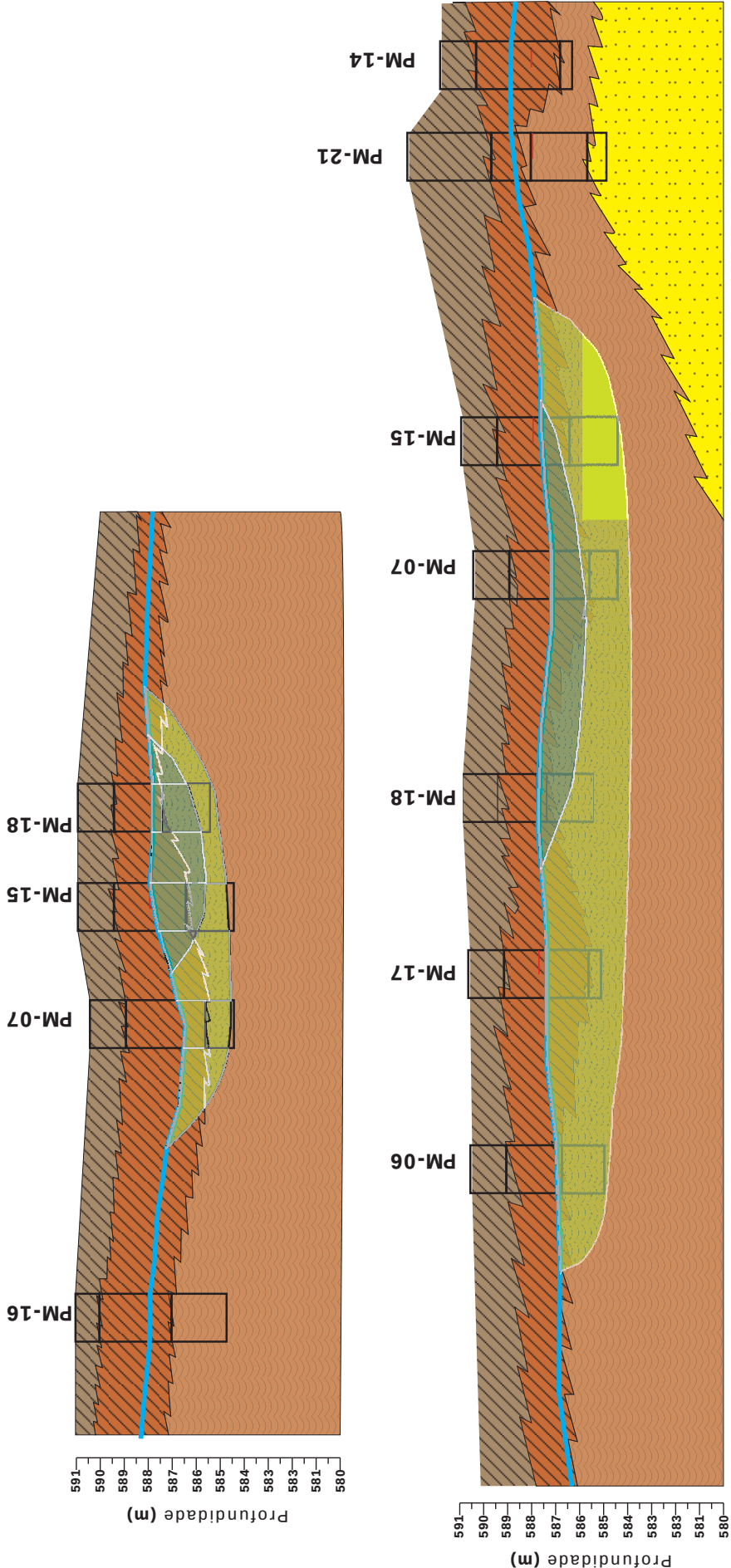




PLUMA DE XILENOS EM FASE DISSOLVIDA

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)

ANEXO G



Legenda

- Solo argiloso marrom
- Sedimento argiloso com frações silto-arenosas marrom
- Sedimento Arenoso com argila marrom
- Areia grossa com silte ocre
- Nível D' Água



SEÇÕES HIDROGEOOLÓGICAS

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA PARA UMA ÁREA INDUSTRIAL CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (SP)