

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE FORMATURA (TF - 07/37)

MONOGRAFIA

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO E DO RISCO À SAÚDE HUMANA EM
ÁREA DE POSTO DE GASOLINA SITUADO NA ZONA LESTE DA CIDADE DE
SÃO PAULO – SP.

Rodrigo Augusto Montagnoli.

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte.

Co-orientadora: Geól^a. Aline Michelle Bernice.

2007

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE FORMATURA (TF - 07/37)

MONOGRAFIA



**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO E DO RISCO À SAÚDE HUMANA EM
ÁREA DE POSTO DE GASOLINA SITUADO NA ZONA LESTE DA CIDADE DE
SÃO PAULO – SP.**

Rodrigo Augusto Montagnoli.

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte.

Co-orientadora: Geól^a. Aline Michelle Bernice.

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024374

2007

Tf
M758
RA.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PESQUISAS

TRABALHO DE FOMATURA (F - 2113)

MONOGRAFIA



AVIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA EM
ÁREA DE POSTO DE GÁS NA ZONA LESTE DA CIDADE DE
SÃO PAULO - SP.

Profa. Dr. Maria Helena

Orientador: Prof. Dr. José Carlos
Co-orientador: Prof. Dr. João Carlos

AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE SIGLAS, DE ANEXOS, DE FIGURAS E DE TABELAS.	

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. <i>Localização e Acessos.....</i>	<i>2</i>
2. RESUMO DO PROJETO.....	3
2.1. <i>Objetivos.....</i>	<i>3</i>
2.2. <i>Relevância do Projeto.....</i>	<i>3</i>
2.3. <i>Cronograma de Atividades.....</i>	<i>4</i>
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. <i>Investigação detalhada.....</i>	<i>4</i>
3.2. <i>Características dos combustíveis derivados do petróleo.....</i>	<i>5</i>
3.3. <i>Processos relacionados ao contaminante no aquífero.....</i>	<i>7</i>
3.3.1. <i>Advecção</i>	
3.3.2. <i>Dispersão</i>	
3.3.3. <i>Adsorção</i>	
3.3.4. <i>Primeira Ordem de Decaimento</i>	
3.4. <i>Conceito de risco.....</i>	<i>9</i>
3.5. <i>Avaliação de Risco à Saúde Humana.....</i>	<i>9</i>
3.5.1. <i>Procedimento ACBR</i>	
3.5.2. <i>Avaliação de risco por níveis</i>	
3.6. <i>Passivo ambiental da área realizado anteriormente.....</i>	<i>14</i>
4 .MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	20
5.1. <i>Geologia regional.....</i>	<i>20</i>
5.2. <i>Geologia local.....</i>	<i>22</i>
5.3. <i>Caracterização do empreendimento.....</i>	<i>23</i>
5.4. <i>Caracterização hidrogeológica local.....</i>	<i>25</i>
5.5. <i>Resultados das análises químicas da água e do solo.....</i>	<i>28</i>
5.5.1. <i>Caracterização da contaminação na água subterrânea</i>	
5.5.2. <i>Caracterização da contaminação do solo</i>	

6.AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA.....	33
6.1. <i>Formulação do Problema.....</i>	34
6.1.1. Formulação do Problema	
6.1.2. Rotas de Exposição	
6.1.3. Cenários de Exposição	
6.2 <i>Avaliação da Exposição e da Toxicidade... ..</i>	40
6.3 <i>.Caracterização do Risco.....</i>	42
6.4. <i>Valores SSTL.....</i>	44
7. SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE EM ZONA SATURADA.....	47
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	49
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

ANEXOS

Agradecimentos

À família (pais e irmãos)

Aos amigos

Agradeço ao professor Uriel Duarte pela confiança e apoio, também a todos os professores e funcionários da USP que participaram da minha formação.

À Hidroplan pela estrutura e suporte, à Aline e ao Marcelo.

No demais, caso tenha esquecido alguém aqui vai meu agradecimento.

Resumo

O trabalho realizou uma avaliação da contaminação (investigação detalhada) e avaliação do risco à saúde humana nível 2 em um posto de gasolina. Os estudos foram baseados na CETESB, que tem como modelo a metodologia da ASTM, na norma contida no *Standard Guide for Risk – Based Corrective Action (RBCA)* e o modelo da USEPA (*United States Environmental Protection Agency*).

Para a contaminação e o risco à saúde humana existirem três vetores têm de estar presentes e são eles: contaminante – rota de exposição – receptor.

Na investigação detalhada verificou-se que os compostos BTEX e PAH apresentavam valores de concentração acima dos permitidos pela CETESB, caracterizando o vetor contaminante.

A rota de exposição e os receptores foram feitos em estudos na avaliação de risco nível 2. Desse estudo constatou-se que nos cenários reais de exposição, a inalação de vapores a partir da água subterrânea contaminada apresentava risco para população local. E nos cenários hipotéticos verificou-se que o cenário mais restritivo do local era a ingestão de água subterrânea contaminada (compostos BTEX e naftaleno) a partir de eventuais poços cacimbas. Também desta avaliação foram obtidas as concentrações meta específicas para a área, ou seja, valores de concentração máximos para cada contaminante.

Para melhor caracterizar a rota de exposição um estudo do comportamento do contaminante (considerando advecção, adsorção, primeira ordem de decaimento e dispersão) foi realizado, constatando uma área de restrição para a construção de poços caçimbas em um raio de 225 m do empreendimento. Conclui-se desses estudos que medidas de gerenciamento (área de restrição para construção de poços e edificações, equipamentos de proteção individual para trabalhadores de eventuais obras no posto) e monitoramento teriam de ser tomadas, mas não haverá a necessidade de obras de remediação.

Abstract

This study has evaluated the contamination (detailed investigation) and the risks to tier 2 human health in a gas station. The study was based on CETESB, which uses the ASTM methodology model, based on the Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA) norms and on the USEPA (United States Environmental Protection Agency) model.

For the contamination and health risk to exist, three arrays must be present. They are: contaminant – exposure route – receptor.

In the detailed investigation, the BTEX and PAH compounds presented concentration values above the ones allowed by CETESB, characterizing the contaminant array.

The exposure route and the receptors were studied on the level 2 tier evaluation. This study stated that in the real exposure scenarios, the vapors inhalation from contaminated groundwater presented risk to the local population. In the hypothetical scenarios it was verified that the local most restrictive scenario was the contaminated water ingestion (BTEX and naphthalene compounds) from eventual dug wells. The meta-specific concentrations in the area (the maximum concentration value for each contaminant) were also obtained in this evaluation.

To get a better characterization of the exposure route, a study on the contaminant behavior (considering advection, adsorption, first order decay and dispersion) was made, verifying a restriction area to the construction of dug wells in a 225 m radius of the undertaking. It was concluded from this study that some management (restriction area to the construction of wells and edifications, individual equipment of protection for the workers in eventual works in the gas station) and monitoring measures should be taken, but remediation works will not be necessary.

Lista de Siglas.

ACBR - Ações corretivas baseadas em risco à saúde humana

ASTM - American Society for Testing of Materials

BTEX - Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CMEA - Concentrações Meta Específicas da Área

NABR - Níveis Aceitáveis Baseado no Risco

PAH - Hidrocarbonetos poliaromáticos totais

POC - pontos de conformidade

POE - pontos de exposição

RBCA - Risk – Based Corrective Action

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SSTL - Site Specific Target Level

USEPA – United States Environmental Protection Agency

Lista de Anexos

Anexo 1 - Foto da realização das sondagens e instalação dos poços.

Anexo 2a - Fluxograma geral das etapas da metodologia ACBR adotada pela CETESB.

Anexo 2b - Propriedades físico-químicas dos contaminantes BTEX e PAH.

Anexo 3 - Perfis litológico-construtivos dos poços.

Anexo 4a - Planta do Posto TF.

Anexo 4b - Uso e ocupação no entorno do empreendimento.

Anexo 5 - Resultados do *Slug Test*.

Anexo 6 - Dados de entrada e resultados na avaliação de risco.

Anexo 7 - Dados de entrada e resultados na Simulação de Transporte do contaminante em água subterrânea.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização.....2

Figura 2 - Avaliação de risco por níveis.....13

Figura 3 - Mapa geológico local.....22

Figura 4 - Mapa potenciométrico do Posto TF.....28

Figura 5 - Mapa das concentrações de benzeno na água subterrânea dos poços.....33

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Cronograma das atividades.....	4
Tabela 2 - Características dos tanques do empreendimento.....	24
Tabela 3 - Características das bombas dos tanques do Posto TF.....	24
Tabela 4 - Carga hidráulica.....	27
Tabela 5 - Resultados de BTEX e PAH pra água subterrânea.....	30
Tabela 6 - Resultados de BTEX E PAH para solo.....	32
Tabela 7 - Maiores concentrações para água subterrânea.....	35
Tabela 8 - Maiores concentrações para solo.....	36
Tabela 9 - Cenários reais de exposição na Avaliação de risco.....	38
Tabela 10 - Cenários hipotéticos de exposição na Avaliação de risco.....	39
Tabela 11 - Dados de exposição para avaliação de risco.....	41
Tabela 12 - SSTL para água subterrânea.....	46
Tabela 13 – SSTL para o solo.....	47
Tabela 14 -. Parâmetros utilizados na simulação de transporte.....	48

TF 07/37: AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO E DO RISCO À SAÚDE HUMANA EM ÁREA DE POSTO DE GASOLINA SITUADO NA ZONA LESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO – SP. *Aluno:* Rodrigo Augusto Montagnoli. *Orientador:* Prof. Dr. Uriel Duarte. *Co-orientadora:* Geól^a. Aline Michelle Bernice.

1.INTRODUÇÃO

Segundo a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), “área contaminada é a área onde há comprovadamente poluição causada por quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados, ou infiltrados, e que determina impactos negativos sobre os bens a proteger”. No caso, os bens a proteger citados estão contidos na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6938/81) e são eles a saúde e o bem estar da população, fauna, flora, qualidade do solo, das águas subterrâneas e do ar, a natureza e a paisagem, a ordenação territorial, planejamento regional e urbano, segurança e ordem pública.

As áreas contaminadas nas últimas três décadas vêm sendo motivo de grande preocupação na Europa e EUA; calcula-se que com problemas ecológicos relacionados à contaminação a Alemanha terá despesas em cerca de US\$ 50 bilhões. Na Comunidade Européia foram identificadas cerca de 300.000 áreas contaminadas.

Na Região Metropolitana de São Paulo os problemas relacionados às áreas contaminadas vêm sendo motivo de grande preocupação. E a CETESB que é o órgão responsável pelas ações de controle ambiental, vêm implementando os métodos de avaliação ambiental.

Dentre as áreas contaminadas, os postos de gasolina são responsáveis por uma quantidade muito grande de passivos ambientais (dos 594 casos de áreas contaminadas registradas na CETESB no mês de novembro de 2006 no município de São Paulo, 485 eram postos de gasolina). Os postos de gasolina quando apresentam contaminação representam riscos à saúde das populações expostas e, dependendo da situação, risco de incêndios e explosões.

No Estado de São Paulo são cada vez maiores a importância da investigação ambiental e a avaliação de risco à saúde humana, visto que estas servem de subsídio à adoção de uma medida remediadora mais precisa e menos custosa, beneficiando as populações expostas direta ou indiretamente à contaminação.

1.1. Localização e acessos

A área de trabalho localiza-se na Zona Leste do Município de São Paulo, no bairro de Itaquera, representado na **Figura 1**.

O acesso da região se dá pela Avenida Jacu-Pêssego a oeste da área, a leste encontra-se a Estrada Iguatemi, e no sul ligando leste – oeste as vias citadas encontra-se a Avenida Ragheb Chohfi.

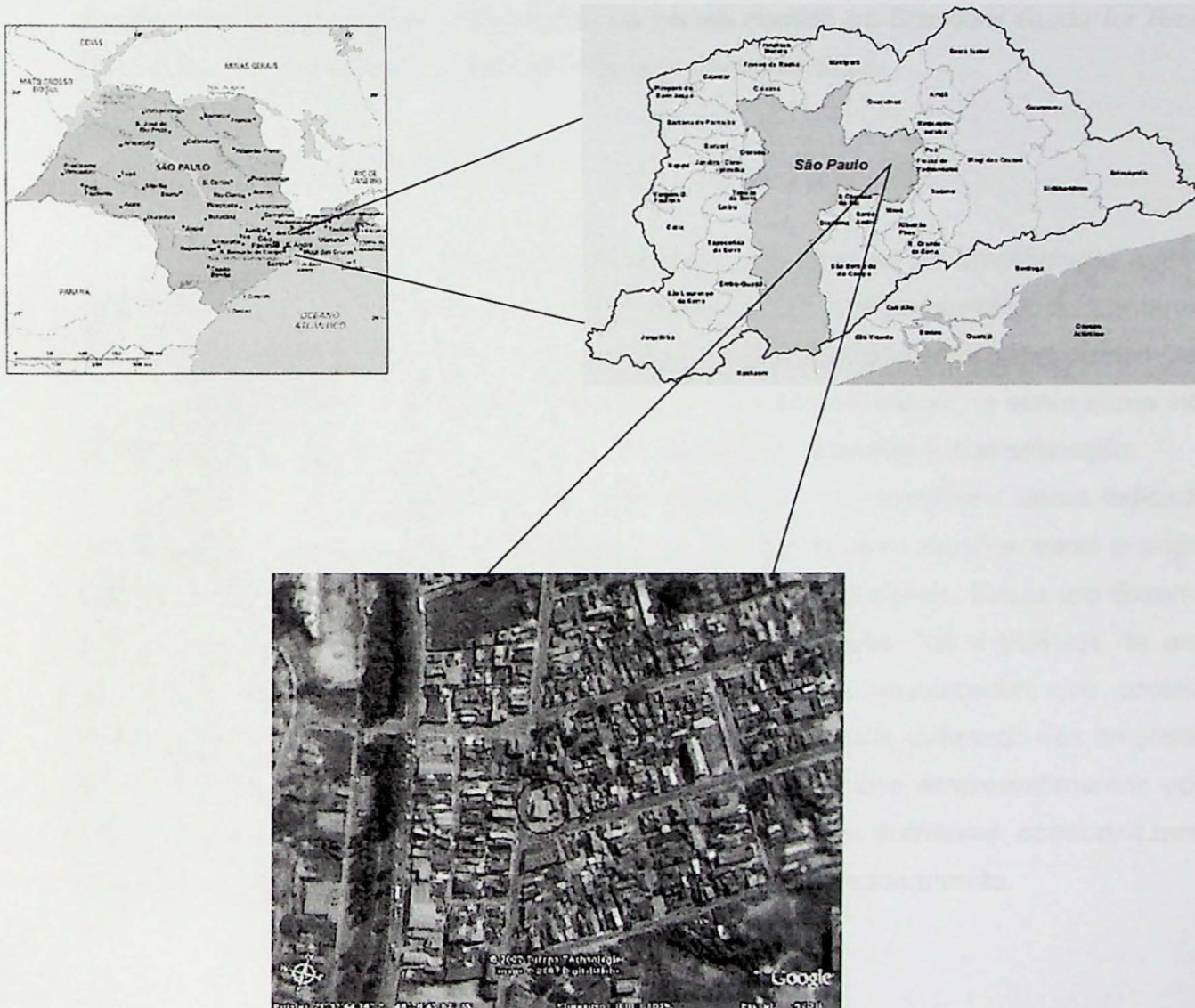


FIGURA 1. Fontes. (www.guianet.com.br ; www.prefeitura.sp.gov.br; Google Earth).

2. RESUMO DO PROJETO

2.1. Objetivos

Caracterização hidrogeológica de uma área contaminada.

Investigação detalhada da contaminação de um posto de gasolina, estudando a evolução e o comportamento do contaminante.

Avaliação de risco nível 2, conforme metodologia descrita e desenvolvida pela *American Society for Testing of Materials* (ASTM) na norma contida no *Standard Guide for Risk – Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites*.

2.2. Relevância do Projeto

A importância do tema é o conhecimento das técnicas de investigação ambiental para determinação da contaminação, e a interpretação do comportamento do contaminante em subsuperfície. Esses conhecimentos são determinantes no estudo de áreas contaminadas.

A avaliação de risco permite subsidiar ações de remediação, e serve como indicador de ações a serem tomadas para proteção das populações expostas à contaminação.

Com isso esse trabalho serve como aplicação, ou no mínimo como indicador, de um desenvolvimento na questão ambiental e nos grupos neles envolvidos como a população, os órgãos ambientais competentes e os empreendimentos poluidores. Indica um desenvolvimento com relação à população à medida que esta fica protegida dos malefícios de uma política ambiental negligente. Indica desenvolvimento dos órgãos competentes que adotam práticas ambientais como os países com maior desenvolvimento social, cobrando dos empreendimentos poluidores ao exigir ações corretivas. E desenvolvimento dos empreendimentos poluidores à medida que estes são obrigados a agir e a tomar medidas corretivas, conscientizando-se dos riscos associados e das precauções necessárias ao seu funcionamento.

2.3 Cronograma de Atividades

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Levantamento bibliográfico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Entrega do PI			x									
Trabalhos de Campo e coleta de material (levantamento dos dados)			x	x	x							
Caracterização geológica					x	x						
Caracterização hidrogeológica (interpretação dos resultados)					x	x						
Caracterização da contaminação (interpretação dos resultados). Avaliação de risco nível 1.							x	x	x	x		
Entrega do RP								x				
Avaliação do risco à saúde humana nível 2									x	x	x	
Entrega da MG											x	

Tabela 1. Cronograma das atividades.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Investigação detalhada.

Segundo a CETESB (1999) a investigação de uma área provavelmente contaminada começa a partir das coletas dos dados do local, após a análise dos resultados segue a investigação confirmatória e o diagnóstico da contaminação em questão que corresponde a ação de reposta 1. Confirmada a contaminação deve-se verificar se a contaminação e suas concentrações de contaminante no meio em questão apresentam risco as populações expostas (avaliação de risco nível 1). Existindo a contaminação e o risco associado a ela, inicia-se a investigação detalhada e a avaliação de risco em outro nível, ou seja ação de resposta 3. (Fluxograma das etapas na avaliação ambiental **Anexo 2a**).

O presente trabalho se inicia a partir da investigação detalhada de um posto de gasolina e, por conseguinte, com o desenvolvimento da avaliação de risco à saúde humana nível 2.

A investigação detalhada ocorre após a confirmação de que uma área é contaminada. A investigação detalhada tem como objetivo uma quantidade maior de informações, e uma pormenorização na geologia e hidrogeologia locais. Com isso compreende-se melhor a natureza, extensão da contaminação e sua evolução no tempo e no espaço (rotas de migração do contaminante), e também são caracterizadas as vias de exposição e os receptores de risco.

Para execução desses estudos, primeiramente é realizado um novo levantamento de dados através da definição da abrangência da área de estudo, dos meios a serem amostrados, dos parâmetros e variáveis físico-químicas necessários. Além disso, é definida uma nova execução de sondagens para delimitação da pluma de contaminante ou mapa isoconcentração dos compostos químicos de interesse e amostragens conforme os procedimentos definidos pela CETESB (2006b) e CETESB (1999).

Após o levantamento dos dados são realizadas as interpretações dos resultados e a modelagem matemática dos poluentes na água subterrânea. A comparação dos resultados obtidos nas análises químicas com os valores de intervenção (CETESB, 2006b) e com a Tabela de Referência apresentada em CETESB (2001) refere-se à avaliação de risco à saúde humana nível 1. Nesta etapa é julgada a necessidade de uma avaliação de risco mais detalhada, ou seja, a nível 2.

A finalidade da investigação detalhada é então subsidiar a avaliação de risco e a concepção de um projeto tecnicamente adequado, legalmente cabível e viável, para cada caso de contaminação, visando prevenir danos presentes e futuros à saúde e segurança pública, ao meio ambiente e outros bens a proteger.

A investigação detalhada serve ainda à autoridade competente e a pessoa responsável, ou agente executor da remediação, como base para a tomada de decisão em relação aos possíveis cenários de remediação necessários.

3.2. Características dos combustíveis derivados do petróleo

Os hidrocarbonetos utilizados como combustíveis são oriundos do óleo cru. Segundo Kreamer & Stetzenback (1990 *apud* Oliveira 1992), a gasolina é obtida em uma torre de destilação desse óleo, onde os compostos mais leves se dividem em quatro ou cinco fluxos principais que são misturados fornecendo a composição final da gasolina.

Esse óleo cru segundo Hunt (1979 *apud* Fetter 1994) é uma mistura de hidrocarbonetos compostos por 84,5% de carbono, 13% hidrogênio, 1,5% enxofre, 0,5% nitrogênio, e 0,5% de oxigênio. Esses hidrocarbonetos são 25% alcanos, 50% cicloalcanos, 17% aromáticos, e 8% asfálticos que são moléculas de alto peso molecular e mais de quarenta átomos de carbono.

Dos hidrocarbonetos presentes em combustíveis os mais representativos são os aromáticos, ou seja, aqueles que possuem o anel benzênico. Dentre os quais estão presentes os BTEX e os PAH.

Quando ocorrem vazamentos os hidrocarbonetos e seus derivados são geralmente leves formando fase imiscível em água, sendo denominados (light non-aqueous phase liquids – LNAPL), Mather (1998). E segundo Guiguer (1996), os vazamentos de combustíveis em postos de gasolina podem ser encontrados em três fases: dissolvida, separada e vapor.

Fase dissolvida é quando o contaminante se encontra dissolvido em água. Fase separada pode ocorrer de duas formas: residual e livre. Residual ou retida é quando as partículas ficam imobilizadas no solo. Livre é quando ficam imiscíveis em água. Fase vapor ou gasosa ocorre devido à volatilização.

O comportamento dos hidrocarbonetos derivados do petróleo também pode ser determinado pelo meio onde se encontra. Segundo Huling & Weaver (*apud* Maximiano 2001) na zona não-saturada ocorre a fase vapor, fase dissolvida (na água intersticial do solo), fase retida (partículas imobilizadas no solo) e fase livre.

Na zona saturada ocorre a fase retida (partículas imobilizadas - adsorvida ou residual - na porção sólida da formação aquífera), fase livre (em pequenas lentes durante a variação sazonal do nível da água no aquífero) e fase dissolvida.

Os combustíveis derivados do petróleo apresentam propriedades físico-químicas específicas que determinam seu comportamento ao entrar em contato com o meio físico, e segundo Fetter (1993), o entendimento dessas propriedades relacionadas com o meio geológico em questão são determinantes no entendimento da contaminação. São essas propriedades dos hidrocarbonetos que determinam sua mobilidade: massa molecular (diretamente proporcional à densidade), a solubilidade em água, volatilização e os coeficientes de partição no meio (Schwarzenbach, 1993).

A densidade está relacionada à capacidade que o composto tem de flotar no topo do nível d'água, quando sua densidade é menor que a da água, como é o caso dos BTEX e PAH.

A solubilidade mede a capacidade do composto de sofrer dissolução em água, e segundo Domenico e Schwartz (1990), as moléculas mais solúveis são as menores e aquelas que contêm compostos orgânicos associados a ânions como o oxigênio e o nitrogênio. Segundo Campos *et al* (1980), os compostos aromáticos são pouco polares ou mesmo apolares, o que entraria em contradição com sua solubilidade em meio aquoso (polar), mas o arranjo de seus orbitais possibilita a atração a ligações polares com outras moléculas, facilitando sua dissolução.

A tendência de um composto sólido ou líquido volatilizar-se é diretamente proporcional a constante da Lei de Henry e a pressão de vapor (Schwarzenbach, 1993).

Os coeficientes de partição estão relacionados com a capacidade de adsorção de um determinado composto (item 3.3.3.1). As propriedades físico-químicas dos compostos BTEX e PAH podem ser vistas no **Anexo 2b**.

3.3. Processos relacionados ao contaminante no aquífero.

3.3.1. Advecção

O transporte por advecção ocorre quando o composto através da força gravitacional atinge a zona saturada, e a partir daí segue seu transporte pela água subterrânea no sentido das linhas de fluxo (Fetter, 1993).

Esse transporte pode ser expresso pela equação de Darcy:

$$V_x = K * i / n_e; \quad (\text{Equação 1})$$

V_x – velocidade linear média longitudinal [L/T];

K – condutividade hidráulica [L/T];

i - gradiente hidráulico [-];

n_e – porosidade efetiva [-];

3.3.2. Dispersão

É o espalhamento do soluto no meio aquífero, esse espalhamento ocorre em todas direções orientadas a partir de um eixo longitudinal (ao longo das linhas de fluxo), e dois eixos transversais (lateral e vertical).

Segundo Fetter (1993) esse espalhamento ocorre por uma soma de fatores, que pode ser um movimento mais rápido do soluto pelo centro do fluido do que pelas bordas, pelo espaçamento entre os poros (quanto maior o espaço entre os grãos por onde percorre o fluido maior será a velocidade) e pelos caminhos percorridos pelo soluto entre os poros terem diferentes distâncias. Existe também a difusão molecular mas que não é tão representativa.

A simplificação da dispersão pode ser expressa pela seguinte fórmula (Freeze & Cherry 1979) :

$$D_x = (\alpha * V_x) + D_f; \quad (\text{Equação 2})$$

D_x – coeficiente de dispersão longitudinal [L^2 / T];

α - dispersividade [L];

V_x - velocidade linear média longitudinal [L/T];

D_f – coeficiente de difusão molecular do soluto no meio [L^2 / T];

3.3.3. Adsorção

A adsorção é a afinidade de um composto químico ser fixado na superfície das partículas do solo (Domenico & Schwartz 1990).

Essa fixação no solo gera uma diferença entre a velocidade do soluto em relação à velocidade da água subterrânea.

O fator de retardamento pode ser representado pela seguinte equação (Domenico & Schwartz 1990) :

$$R = 1 + [K_d * D_g (1- n)] / n ; \quad (\text{Equação 3})$$

R - fator de retardamento [-];

K_d – coeficiente de partição [L^3 / M];

D_g – densidade seca dos grãos [M / L^3];

n - porosidade [-];

Em compostos orgânicos o K_d de um composto pode ser expresso em função da fração de carbono orgânico no solo (f_{oc}) e o coeficiente de partição entre do carbono orgânico e a água (K_{oc}). O K_{oc} por sua vez é obtido através do coeficiente de partição octanol/água, que tem diferentes maneiras de ser expresso, como em Fetter (1994), Schwarzenbach (1993), Cleary (1991 apud Oliveira 1992).

3.3.4. Degradação - Primeira Ordem de Decaimento.

No caso de compostos orgânicos o decaimento de primeira ordem ocorre quando há perda de massa do contaminante em função de sua meia-vida. E pode ser expressa pela seguinte equação: Fetter (1994), Domenico & Schwartz (1990), Cleary (1991 apud Oliveira 1992).

$$C = C_o * e^{-\lambda t} ; \quad (\text{Equação 4})$$

C – concentração no tempo t [M/L^3];
Co – concentração no tempo zero [M/L^3];
 λ - taxa constante de degradação [T^{-1}];
t – tempo [T];

3.4. Conceito de risco

Segundo a CETESB (1999), risco é a medida de danos às vidas humanas, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência (probabilidade) e a magnitude das perdas ou danos (consequências). Associado ao risco encontra-se o conceito de risco individual que é o risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza da injúria que pode ocorrer e o período de tempo em que o dano pode acontecer. E o risco social é risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos de um ou mais acidentes.

Ou seja, o risco é a probabilidade de ocorrência de um evento de interesse, seja o efeito desse evento positivo ou negativo. E na saúde humana a análise de risco corresponde à probabilidade de ocorrência de efeitos deletérios para a saúde em uma certa população. Uma vez calculado o risco, esse conhecimento procura viabilizar ações que o minimizem, i.e. o gerenciamento do risco.

3.5. Avaliação de Risco à Saúde Humana.

Segundo a CETESB (2001), as ações corretivas baseadas em risco à saúde humana (ACBR), têm como base uma metodologia descrita e desenvolvida pela *American Society for Testing of Materials* (ASTM) na norma contida no *Standard Guide (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites*, para áreas com problemas de contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo.

A metodologia RBCA foi criada e desenvolvida nos EUA no início dos anos 90 e teve sua afirmação com o *Standard Provisional Guide for Risk – Based Corrective Action*, ASTM (1998).

O ACBR 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 decisões relacionadas à alocação de recursos, à urgência de ações corretivas, à

necessidade de remediação, aos níveis de remediação aceitáveis, e as alternativas tecnológicas aplicáveis.

Alguns autores comentam que imprecisões podem estar associadas à avaliação de risco como Cunha (1997) que comenta os erros associados à avaliação da exposição quando para uma população avaliada utilizam-se valores relativos a outros países. Kolesnikovas (2006) mostra que os compostos químicos analisados usualmente em hidrocarbonetos como BTEX e PAH apresentam valores de risco diferentes de quando é analisada toda gama de hidrocarbonetos presentes no petróleo. Maximiano (2001) também mostra como os valores do NABR (Níveis Aceitáveis Baseado no Risco) variam significativamente em meios geológicos diferentes.

Maximiano (2001) também diz que os parâmetros conservativos do NABR são próprios para as condições norte – americanas, assim como Finotti (1997) mostra que para as condições naturais do Brasil as simulações de transporte de biodegradação por aceptores de elétrons seria mais adequada que a opção da primeira ordem de decaimento.

Mas Bernardes Jr. (1995), ressalta a avaliação de risco com viabilidade técnica e econômica para medidas de remediação, e Toso Jr. (2001) concluiu que na avaliação de risco são adotadas premissas conservadoras, e com maior número de dados na avaliação pode ser adotado um modelo menos conservador.

3.5.1 Procedimento ACBR.

Para o desenvolvimento da avaliação de risco ACBR, a CETESB (2001) adotou elementos tradicionais da USEPA (1989) que utiliza os conceitos de formulação do problema, a avaliação da exposição, avaliação da toxicidade, e caracterização do risco.

Formulação do problema

Consiste no levantamento de dados do local, coleta e análises do composto químico de interesse. As informações do local são quanto à fonte do contaminante, o meio em que ele é transportado, o contaminante em si e suas propriedades, e o indivíduo receptor. Definindo a relação entre o composto químico as rotas de exposição e os receptores.

Avaliação da Exposição e Toxicidade

Considera a possível assimilação do composto químico pelo receptor, que pode ocorrer através de três vetores: ingestão, inalação e contato dérmico. Esses vetores são avaliados em cenários atuais e futuros. Em relação ao receptor são levantadas a duração e a frequência deste ao composto químico. A magnitude, e a concentração do composto químico também são determinantes nessa avaliação, além das rotas de exposição e meios físicos sobre os quais o receptor terá contato com o composto químico.

Como resultado, obtêm-se a assimilação diária total do composto pelo receptor.

Avaliação da Toxicidade

Busca definir a toxicidade específica e os efeitos tóxicos causados a saúde humana por cada composto químico considerado.

Dessa avaliação obtêm-se a dose máxima para o qual o composto químico analisado não cause efeitos adversos ao receptor, essa dose máxima é denominada dose de segurança.

Avaliando o composto químico de interesse e seu potencial tóxico obtêm-se a dose de referência (DRf – reference dose) quando utilizada para efeitos não cancerígenos, e o fator de potência (FP – slope factor) para efeito cancerígenos.

Caracterização do Risco

É a quantificação do risco através da avaliação da toxicidade e da exposição, podendo ser quantificada para efeitos cancerígenos e/ou não cancerígenos. Para efeitos cancerígenos, o valor é dado na variável incremento de risco (IR) que é calculada em função do FP, ingresso diário estimado, frequência e duração da exposição ao longo de toda vida do indivíduo. Para efeitos não cancerígenos é utilizada a variável quociente de risco (QR), que é calculado em função da dose diária média de ingresso, duração e frequência de exposição ao longo do tempo de duração da exposição.

Segundo a CETESB (2001), o valor estipulado para o IR é de 10^{-5} . Quando o valor obtido de IR é superior ao valor estipulado, significa que a cada 100.000 pessoas expostas ao composto químico de interesse pelo menos uma pode obter o efeito cancerígeno. E quando o QR é superior a 1, significa que existe o perigo de ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos à saúde humana, pois a dose administrada de contaminante pelo receptor é superior a dose máxima para que o contaminante não cause efeitos adversos a este. Ambos valores

quando superados também indicam a necessidade de medidas preventivas, ou de controle do risco.

3.5.2. Avaliação de risco por níveis

A avaliação de risco seguindo a metodologia da ASTM-RBCA na qual a CETESB se baseou para o desenvolvimento do ACBR, também pode ser realizados em três níveis, nível 1, nível 2, e nível 3. O nível de avaliação se torna maior a medida que a avaliação da contaminação é insuficiente e ainda necessita de estudos mais pormenorizados. Esses estudos pormenorizados viabilizam cenários de risco mais reais, níveis de remediação aceitáveis mais condizentes com a realidade e tomadas de decisões mais específicas e pontuais. (**Figura 2**).

- Nível 1 na avaliação de risco:

Os valores de concentração do composto químico de interesse (CQI) observados no ponto de exposição (POE), são comparados com valores aceitáveis de concentração chamados Valores de Intervenção (CETESB, 2006) e NABR (níveis de avaliação baseados no risco), valores esses contidos em uma tabela de referência em CETESB (2001) que relaciona o cenário de exposição e o composto químico de interesse.

Nesta etapa considera-se que todos receptores identificados estão localizados sobre a fonte de contaminação, e os valores e resultados são tidos como conservadores e genéricos

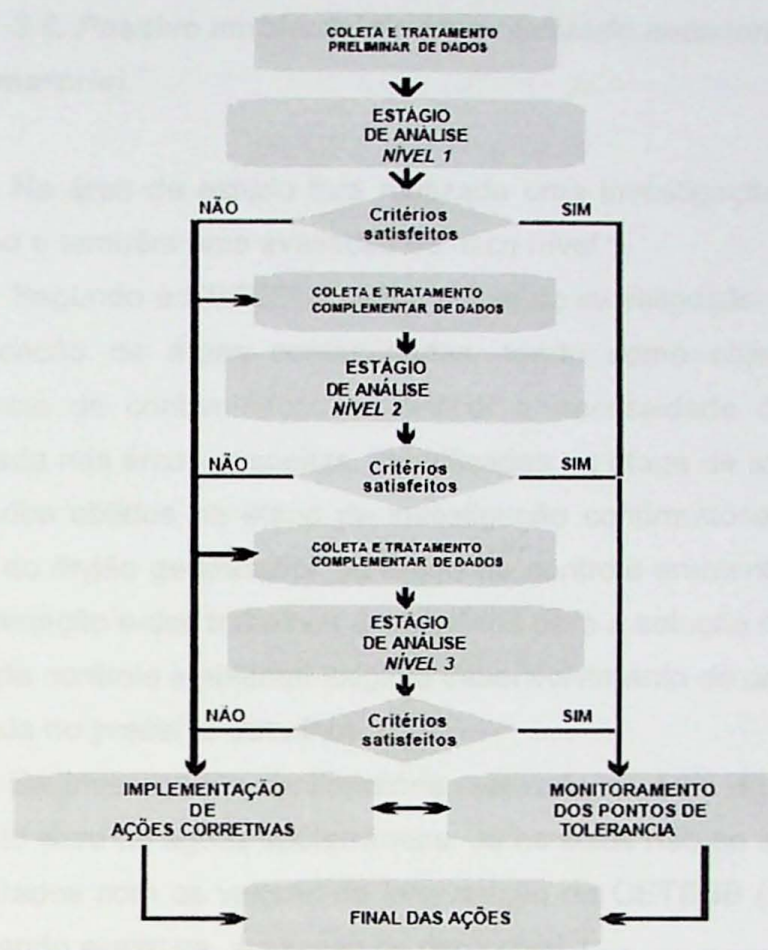


Figura 2 – Avaliação de risco por níveis.

- *Nível 2 e Nível 3 na avaliação de risco :*

Nesses níveis de avaliação são maiores o detalhamento e a quantidade de informações em relação ao Nível 1.

No Nível 2 e Nível 3, são utilizados como valores de referência as Concentrações Meta Específicas da Área (CMEA que é igual a SSTL *Site Specific Target Level*), estas são comparadas considerando-se a área fonte, os pontos de exposição (POE) e os pontos de conformidade (POC). Nestes níveis são utilizados modelos matemáticos de transporte, de atenuação natural e de outros processos associados aos contaminantes, estimando as concentrações dos compostos nos POE e nos POC.

O Nível 3 é semelhante ao Nível 2, e acontece após monitoramento de dados do Nível 2. A diferença se dá pelo maior detalhamento, modelos matemáticos mais complexos, e pelo maior número de dados disponíveis no Nível 3.

3.6. Passivo ambiental da área realizado anteriormente (investigação confirmatória).

Na área de estudo fora realizada uma investigação confirmatória anterior ao presente trabalho e também uma avaliação de risco nível 1.

Segundo a CETESB (1999), etapa de investigação confirmatória encerra o processo de identificação de áreas contaminadas, tendo como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação e verificar a necessidade da realização de uma investigação detalhada nas áreas suspeitas, identificadas na etapa de avaliação preliminar. Dessa forma, os resultados obtidos na etapa de investigação confirmatória são importantes para subsidiar as ações do órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental na definição do responsável pela contaminação e dos trabalhos necessários para a solução do problema. No caso do posto TF, o órgão de controle ambiental exigiu o desenvolvimento de uma investigação detalhada (que será realizada no presente trabalho).

Da investigação confirmatória realizada na área de estudo concluiu-se a contaminação do posto para as águas subterrâneas. Já os solos não se apresentavam contaminados. Ambos comparados com os valores de intervenção da CETESB (2005) e os NABR (CETESB, 2001), culminando assim na avaliação de risco nível 1.

Na investigação confirmatória os compostos químicos analisados foram os BTEX, e os PAH, estes foram analisados das amostras coletadas dos poços PM-1, 2, 3, e 4.

A partir dessa avaliação de risco concluiu-se que em relação ao solo, nenhum dos compostos analisados apresentavam risco à saúde humana.

Já em relação à água subterrânea o composto benzeno apresentou risco para as vias de exposição: inalação de vapores em ambientes fechados nos receptores residenciais; contato dérmico com água subterrânea nos receptores residenciais e comerciais; e ingestão de água subterrânea em receptores residenciais e comerciais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Levantamento bibliográfico.

Será realizada pesquisa nas bibliotecas e nos *sites* da internet, para caracterização prévia do local de estudo, e aprimoramento dos conceitos, interpretações, e conclusões

envolvidos na construção deste. Além disso haverá embasamento técnico-legislativo principalmente CETESB, para execução das atividades.

Geologia Regional

A geologia na região do empreendimento em questão tem vasta bibliografia considerando-se diversos trabalhos para a caracterização do embasamento cristalino, dos sedimentos terciários, e das coberturas quaternárias.

Caracterização do empreendimento.

Serão levantados e caracterizados o histórico do empreendimento, as operações dos produtos manipulados, o funcionamento, volume do produto manipulado, os equipamentos e suas condições, planta do estabelecimento com distribuição dos sistemas de abastecimento, os sistemas de drenagem, das linhas de combustíveis e tanques.

Sondagens a Trado, amostragem do solo e instalação dos poços.

Esses procedimentos estão contidos basicamente em CETESB (1999 e 2006) e na Norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) "NBR 13.895/1997-Construção de poços de monitoramento e amostragem".

A sondagem a trado é realizada utilizando-se equipamento mecanizado com trado do tipo helicoidal de 6" (polegadas) de diâmetro. Concomitantemente à realização das sondagens, são coletadas amostras de solo a cada 1,0 metro perfurado até ser atingida a franja capilar, por meio da cravação de sondas tubulares com *liners* (Fotos **Anexo 1**). As amostras coletadas são divididas em duas alíquotas, sendo as da primeira acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis (auto-selantes) de polietileno e utilizadas para medições dos teores de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis), e as da segunda mantidas nos *liners*, identificadas e armazenadas em *cooler* com gelo, a uma temperatura inferior a 4° C.

As medições de VOC têm como objetivo quantificar a presença de compostos orgânicos voláteis em amostras de solo, auxiliando assim na seleção das amostras que são encaminhadas ao laboratório para realização das análises químicas. Para execução destas medições é utilizado um monitor portátil, com sensor calibrado para hexano, que realiza medições em tempo real e apresenta as concentrações em partes por milhão (ppm).

São coletadas amostras indeformada e deformadas de solo para análise da matéria orgânica, pH do solo e para parâmetros físicos (porosidade total, porosidade efetiva, densidade aparente e umidade natural). Essa amostra indeformada é coletada e armazenada em um cilindro de aço inoxidável que a deixa confinada (amostrador de *Uhland*).

Os poços de monitoramento serão instalados após o nível d'água ser atingido e deverão atender as especificações contidas na ABNT NBR 13895, com exceção do tipo de tubo de revestimento que deve ser sempre geomecânico. Os filtros devem possuir 3 metros de extensão, sendo 2,0 metros inserido na zona saturada e 1,0 metro na zona não saturada.

Nivelamento dos poços.

Para se obter a carga hidráulica é necessária a cota topográfica dos poços e a profundidade do nível d'água subterrânea em cada poço. Através da carga hidráulica é traçado o mapa de potenciométrica do local. Para isso utilizam-se teodolito, régua e medidor elétrico de nível d'água.

Condutividade hidráulica

É obtida através de uma técnica desenvolvida por Hvorslev (1951), chamada slug test. Realiza-se em um meio poroso, colocando um volume conhecido (tarugo) dentro do poço, elevando-se o nível d'água subterrânea. Com o rebaixamento gradual do nível freático em função do tempo, medidas de profundidade do nível d'água subterrânea são realizadas. Obtendo-se valores a partir dos quais é calculada a condutividade hidráulica do meio.

Caracterização do entorno social.

Verifica-se em um raio de 200 m ao redor do empreendimento de risco os meios de exposição dos civis ao contaminante, conforme preconizações da CETESB (2001) caracterizando o uso e ocupação do solo. Para isso são realizadas entrevistas com os ocupantes das residências, comércios, indústrias, sítios e demais empreendimentos. Esses meios de exposição podem ser poços de captação de água rasos ou profundos, onde a ingestão, inalação de vapores e gotículas e o contato dérmico são vias de ingresso dessa água contaminada. Bueiros, rede de esgoto, pluviais, telefonia e rede elétrica, são caminhos preferenciais para vapores de contaminantes oriundos do solo e da água subterrânea, que

podem, através da inalação, atingir os civis em ambientes fechados. O solo também pode apresentar-se contaminado e dependendo das atividades realizadas com este, as vias de ingresso podem ser orais, dérmicas ou por inalação. Em ambientes abertos, dependendo da gravidade da contaminação, a volatilização do contaminante pode tornar o ar contaminado, sendo a via de ingresso a inalação.

Amostragem da água subterrânea

A amostragem é baseada no anexo contido em CETESB (1999) e CETESB (2006), que determina dois métodos de amostragem, o convencional e o de micropurga. O realizado no trabalho será o convencional. Outra norma para coleta de água é a norma da ABNT-NBR 13.895 na qual se baseia a CETESB (1999).

No método convencional deve-se purgar 3 vezes o volume da água existente no interior do poço, com a finalidade de assegurar que toda a água que por ventura esteja estagnada no poço seja removida, possibilitando a coleta de uma amostra representativa de água.

Esta purga deve ser realizada de forma uniforme e em vazões compatíveis com a capacidade do poço em repor água. O objetivo é que este trabalho seja realizado sem causar grande rebaixamento do nível de água no interior do poço, evitando o efeito cascata que pode ocorrer na seção filtrante nesta situação e, conseqüentemente, a aeração das amostras e perda de compostos orgânicos voláteis. Esta purga também deve ser feita de forma a evitar a criação de fluxo turbulento na área de recarga do poço (pré-filtro), evitando o arraste de sedimento para o seu interior.

Conforme CETESB (2006), desde que utilizado com o cuidado necessário, o amostrador do tipo bailer pode ser empregado na coleta de amostras, devendo ser empregado um bailer distinto daquele eventualmente utilizado na purga, e um bailer distinto para coleta da amostra de cada poço. Os equipamentos que são utilizados na amostragem devem ser limpos com detergente do tipo *Alconox MA*, isento de fosfato e água deionizada. As válvulas de pé não devem ser empregadas na amostragem.

Para melhor se otimizar a amostragem também é necessário que se colete dos poços situados a montante para os poços situados a jusante, e que as amostras destinadas às análises de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), que são mais voláteis, sejam coletadas antes do que as destinadas às análises de PAH (hidrocarbonetos poliaromáticos totais) que são semi-voláteis.

Para a amostragem da água para análise dos compostos BTEX, a amostra deve ser preservada em vidro com capacidade para 40 mL, com ausência de bolhas em seu interior. Para os PAH, a amostra é mantida em frasco de vidro marrom com capacidade para 1000 mL. Ambas amostras são preservadas a 4° C, não devem ser filtradas, podem ser acidificadas por ácido clorídrico e tem 14 dias desde sua extração até análise.

Análise química do contaminante e parâmetros do solo.

Análise química será realizada tanto no solo quanto na água subterrânea, para os compostos orgânicos benzeno, tolueno, etilbenzeno, e xilenos (BTEX) e hidrocarbonetos poliaromáticos totais (PAH).

Para a análise dos BTEX, os limites de detecção dos equipamentos de análises são de 1µ/L para água e 1µ/Kg para solo, para os compostos PAH o limite é variável. O método da análise é a Cromatografia de *Headspace*, e esses métodos utilizados são baseados nos métodos da EPA (*United States Environmental Protection Agency*) 5021A e 8015D para os elementos BTEX e Std Met 6410B/98 e EPA 8270 C para os compostos PAH.

Segundo a CETESB (1999), alguns cuidados devem ser tomados no envio das amostras com objetivo de minimizar os erros e aumentar a qualidade dos resultados. Esses cuidados são os brancos de viagem, de equipamento, de campo e de temperatura, além da duplicata.

O branco de viagem é uma amostra do laboratório de água deionizada (água ausente de qualquer dos elementos analisados) que fica junto às demais amostras e, com sua análise para os compostos de interesse, verifica se houve contaminação cruzada entre as amostras. O branco de equipamento analisa quimicamente a água utilizada na lavagem dos equipamentos, concluindo, através do resultado de sua análise, se o equipamento utilizado foi corretamente limpo entre as amostragens. O branco de campo utiliza água deionizada em uma das amostras para verificar a qualidade das análises. O branco de temperatura verifica a temperatura das amostras ao chegar ao laboratório. A duplicata é o envio de duas amostras da mesma água coletada, verificando a precisão (reprodutibilidade) das análises.

A análise do solo também traz parâmetros físicos importantes como as porosidades total e efetiva, fração carbono orgânico, granulometria, densidade aparente e umidade natural.

Caracterização hidrogeológica

Obter os valores de velocidade da água subterrânea, utilizando-se os valores de gradiente hidráulico (obtido por meio do mapa de potenciometria local), condutividade hidráulica e porosidade efetiva (obtida através da análise da amostra indeformada de solo coletada no local).

Caracterização da contaminação

Os resultados das análises das amostras de água subterrânea e de solo serão comparados com os valores de intervenção da CETESB (2005) e com a tabela de referência da ACBR - Ações Corretivas Baseadas no Risco, CETESB (2001). Caso as concentrações detectadas ultrapassem esses padrões de referência ambiental, será concluída a existência de contaminação na área.

A partir da avaliação exposta acima, será realizada uma simulação de transporte dos contaminantes, na qual serão considerados os processos de advecção, adsorção, primeira ordem de decaimento e dispersão, em função do tempo e da distância percorrida pelo contaminante no meio saturado. Esta simulação será utilizada para compreensão do comportamento dos compostos químicos de interesse no local.

Avaliação do risco.

Toda contaminação traz consigo um risco toxicológico às populações expostas. A avaliação do risco associado à contaminação se dá através da formulação do problema (estudo das populações expostas à contaminação, da avaliação dos meios de exposição dessa população ao contaminante, e o composto químico de interesse). Depois é realizado o modelo conceitual que leva em conta os contaminantes e os conseqüentes riscos, a avaliação da toxicidade, os meios e a assimilação do contaminante pela população exposta. Posteriormente, através desses parâmetros, quantifica-se o risco associado. As ações corretivas baseadas em risco à saúde humana (ACBR) neste trabalho têm como base uma metodologia descrita e desenvolvida pela *American Society for Testing of Materials* (ASTM) na norma contida no *Standard Guide for Risk – Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites*.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Geologia regional.

A Região Metropolitana de São Paulo encontra-se inserida em uma bacia sedimentar assentada sobre terrenos cristalinos pré-cambrianos. Os depósitos sedimentares são de idade cenozóicas, composto pela Bacia de São Paulo (Terciário), e pelos depósitos associados aos rios principais da região (Quaternário). Estes depósitos preenchem o centro da bacia enquanto que o embasamento constitui a borda. Mapa geológico local (**Figura 3**).

O embasamento cristalino é constituído por litologias diversas como gnaisses, migmatitos, granitos, xistos, metapelitos e milonitos.

As rochas ortoderivadas junto às seqüências vulcanossedimentares e metassedimentares são divididas em Grupo São Roque (Coutinho, 1972), e Grupo Açungui (Hasui, 1975). Hasui (1975) também definiu que as falhas de Taxaquara e Jaguari separam esses dois grupos, onde o Grupo Açungui se localiza a sul dessas falhas e o Grupo São Roque situa-se ao norte dessas.

Segundo Hasui & Sadowski (1976) o Grupo Açungui é subdividido em Complexo Embu e Complexo Pilar. O Complexo Embu corresponde às rochas gnáissico-migmatíticas, também é o complexo Embu o embasamento predominante na área de trabalho e o Complexo pilar corresponde às rochas graníticas e metamórficas de baixo grau.

Juliani (1986) dividiu o Grupo São Roque em dois Grupos: Grupo Serra do Itaberaba com rochas metavulcanoclásticas, xistos, metabásicas, e cálcio-silicáticas; e Grupo São Roque com metassedimentos rítmicos e arcoseanos, com quartzitos.

Campos Neto & Basei (1983a, 1983b) em estudos realizados pelo Estado de São Paulo definem uma série de divisões para as rochas ortoderivadas da porção inferior do embasamento e interpretam essas rochas com idade Pré-Brasiliano, e também definem as rochas metavulcanossedimentares e metapelíticas com idade Brasiliana. Ou seja, na porção inferior do embasamento encontram-se as rochas ortoderivadas gnáissicas, migmatíticas, e graníticas, seguidas por seqüências vulcanossedimentares, metapelíticas, e metabásicas na porção superior. Além do plutonismo associado.

Hasui *et al.* 1978 atribui idade Proterozóica Superior para o Grupo Açungui. E Tassinari & Campos Neto (1988) datam o Grupo São Roque como Proterozóico Médio.

Outras definições para o embasamento da Zona Leste paulistana são utilizadas, a exemplo de Theodorovicz *et al* (1991) que em trabalhos realizados no leste paulistano define os migmatitos, gnaisses, e granitos ortoderivados como Complexo Granito-Gnáissco "Migmatítico" do embasamento. E as seqüências metavulcanossedimentares como Complexo Embu subdividido em dois ambientes: metavulcanossedimentar e ambiente plataformar.

Os depósitos sedimentares terciários correspondem à bacia de São Paulo que é subdividida nas formações Resende, Tremembé, São Paulo, e Itaquaquecetuba, pertencentes ao Grupo Taubaté. Esta bacia está associada ao contexto do rifteamento continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989).

A Formação Resende segundo Riccomini & Coimbra (1992), é formado por leques aluviais com diametitos e conglomerados. A Formação Tremembé corresponde a um depósito lacustre com argilas, lamitos e argilas verdes. A Formação São Paulo corresponde a um sistema fluvial meandrante sendo constituída por duas litofácies. A primeira com arenitos grossos e conglomerados dos canais meandrantos, e a segunda constituída por arenitos médios a grosso gradando para siltito e argilito dos diques marginais e das planícies de inundação.

A Formação Itaquaquecetuba representa um sistema fluvial entrelaçado em contato erosivo ou tectônico com rochas do embasamento, e é constituída por arenitos, conglomerados, lamitos e folhelhos.

As coberturas neocenozóicas compreendem a conglomerados basais superpostos por sedimentos argilo arenoso.

Na área de trabalho as formações sedimentares predominantes correspondem a Formação Tremembé e Formação São Paulo.

LEGENDA

-  Aluviões recentes
-  Formação São Paulo e Formação Tremembé
-  Complexo Embu
-  Localização do Posto de Serviços

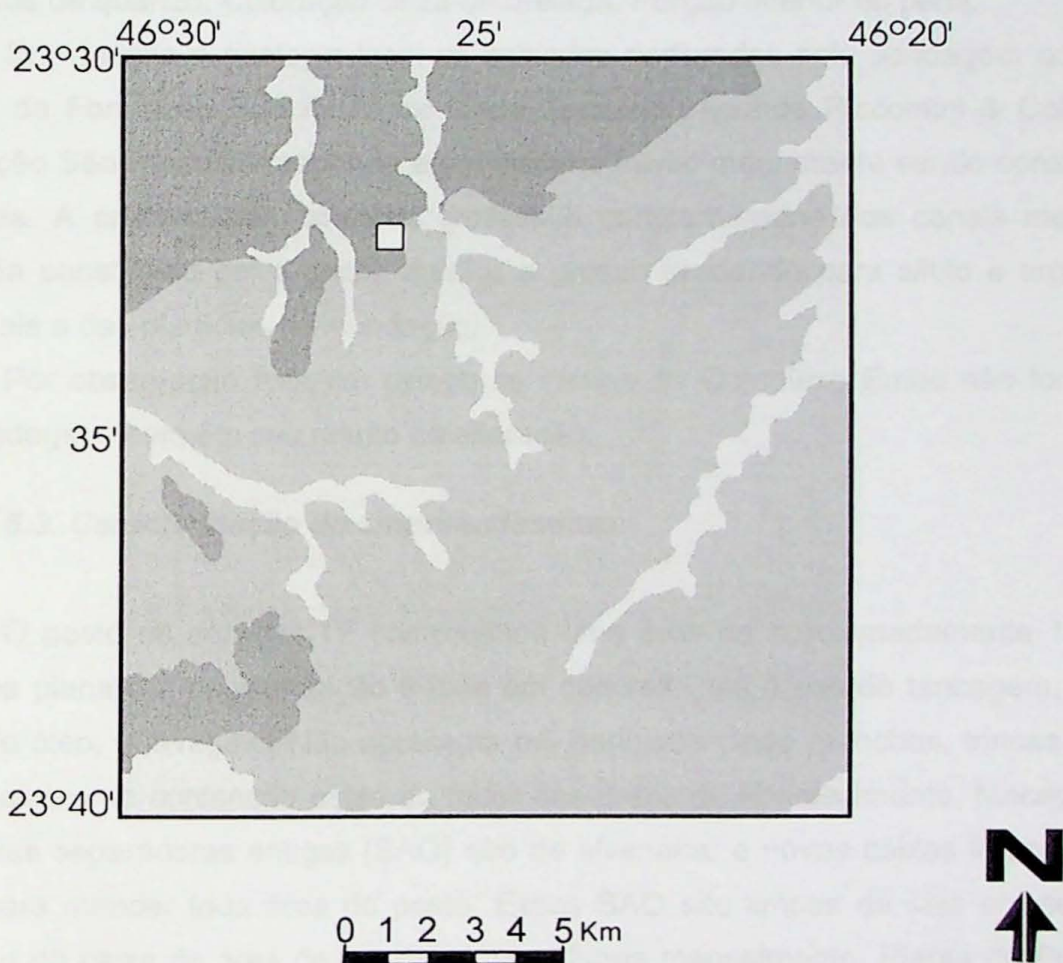


Figura 3 . Mapa geológico local modificado de Theodorovicz *et al* (1991).

5.2 Geologia local.

Através das sondagens realizadas e da construção dos poços de monitoramento foram observadas e descritas as seguintes litologias no local: (que podem se vistas no **Anexo 3**).

Aterro na porção superior:

- Areia com granulometria fina, coesa, de coloração vermelha a marrom, ocasionalmente com brita. Oriunda de construções

Em relação ao solo foram observadas:

- Argila, compacta, de coloração cinza escura a clara; na porção superior (até 3m aproximadamente).

- Areia de granulometria fina a média com coloração cinza, compacta. Solo situado na porção médio-inferior do perfil.

- Areia de granulometria fina a grossa, com algumas porções argilo-arenosas e presença de seixos de quartzo. Coloração cinza-amarelada. Porção inferior do perfil.

Em relação à geologia local as camadas perfuradas pela sondagem correspondem as rochas da Formação São Paulo de idade Terciária. Segundo Riccomini & Coimbra (1992), a Formação São Paulo corresponde a um sistema fluvial meandrante sendo constituída por duas litofácies. A primeira com arenitos grossos e conglomerados dos canais meandrantés, e a segunda constituída por arenitos médios a grosso gradando para siltito e argilito dos diques marginais e das planícies de inundação.

Por observação feita em campo as rochas do Complexo Embu não foram observadas em sondagens nem em seu manto de alteração.

5.3. Caracterização do empreendimento

O posto de serviços TF compreende uma área de aproximadamente 1500 m². Ocorre em área plana e a pavimentação é toda em concreto nas áreas de tancagem, abastecimento, troca de óleo, e lavagem. Não apresenta em nenhuma parte manchas, trincas ou rachaduras. As canaletas de contenção estão ao redor das áreas de abastecimento, tancagem e lavagem. As caixas separadoras antigas (SAO) são de alvenaria, e novas caixas foram construídas em 2006 para atender toda área do posto. Essas SAO são limpas de seis em seis meses, com exceção da caixa da área de lavagem que é limpa mensalmente. Planta do Posto TF (**Anexo 4a**)

O posto TF apresenta cinco tanques de metal (TQ-1, 2, 3, 4 e 5) e um de concreto (TQ-6) apresentando as seguintes características:

Tanques	Produto atual	Volume (L)	Idade de Instalação
TQ-1	Gasolina Aditivada	15000	1993
TQ-2	Álcool	15000	1993
TQ-3	Gasolina Comum	15000	1993
TQ-4	Desativado (areia)	15000	1993
TQ-5	Diesel	15000	1993
TQ-6	Óleo Queimado	2000	1993

Tabela 2. Características dos tanques do empreendimento.

Nota-se que o tanque quatro (TQ-4), em 2003 foi desativado, inertizado e preenchido com areia. Anteriormente este tanque armazenava álcool.

O tanque seis (TQ-6) é utilizado na troca de óleo armazenando óleo queimado, que posteriormente será recolhido por empresa de reciclagem, sendo utilizado para fabricação de lubrificantes.

As bombas de abastecimento são cinco, e também funcionam desde 1993. As características das bombas são as seguintes:

Bomba	Nº de Bicos	Tanques de armazenamento	Produtos
1	2	TQ-1	Álcool/Gasolina Aditivada
2	1	TQ-2	Álcool
3	1	TQ-3	Gasolina Comum
4	2	TQ-4	Gasolina Comum
5	1	TQ-5	Diesel

Tabela 3. Características das bombas do Posto TF.

As linhas de sucção são de aço galvanizado, e o filtro de óleo diesel tem seis anos de funcionamento. A descarga é selada nos bocais de enchimento dos tanques.

O controle do estoque é computadorizado. O posto apresenta ainda em sua área lavagem de automóveis realizada por ducha com uso de água proveniente de um poço caçimba interno. Para demais fins, a água utilizada é fornecida pela SABESP. O posto apresenta ainda uma loja de conveniência em sua área.

5.3.1. Caracterização do entorno.

A caracterização do entorno foi realizado com base nos aspectos de uso e ocupação do solo em um raio de 200m ao redor do posto TF, em conformidade com as preconizações da CETESB, 2001. (**Anexo 4b**)

O uso geral da área é misto havendo residências e comércios, o fornecimento de água na região é realizado pela SABESP. Segundo a ABNT/NBR 13.786, essa área classifica-se como Classe 2, sendo diagnosticado como tal devido à presença de poços de captação de água para consumo doméstico, além de templos religiosos, e edifícios de escritórios comerciais com quatro ou mais pavimentos no entorno.

Em atividades realizadas na região também foram notadas as presenças de redes de passagens subterrâneas, como esgoto, águas pluviais e telefone, bem como as bocas de lobo. Os poços de captação de água subterrânea encontrados foram cinco e os fins de uso dessa água eram diversos. O primeiro poço caçimba e o segundo (PC-1 e PC-2) se encontravam dentro do próprio posto TF, e o uso dos mesmos é para a lavagem dos veículos. A profundidade do nível freático é de 1,57m e 2,06m, respectivamente. Os poços cacimba PC-3 e PC-5 também são utilizados para a lavagem de veículos em áreas próximas ao posto. Já o PC-4 é utilizado em uma residência para uso geral (**Anexo 4b**).

Um córrego (drenagem superficial) também é encontrado na região, a uma distância de aproximadamente 150m do empreendimento.

5.3.2. Histórico do Empreendimento

O posto TF funciona desde 1990, nunca havendo troca de bandeira e nem reformas. O uso anterior do terreno era residencial.

No ano de 2003 houve a ocorrência de água misturada ao álcool no tanque 4, que atualmente encontra-se desativado. Teste de estanqueidade foi realizado em julho de 2005, tendo como resultado todos os demais tanques encontram-se estanques. Uma caixa separadora de água e óleo SAO foi construída recentemente em 2006.

5.4. Caracterização hidrogeológica local

A caracterização hidrogeológica foi realizada basicamente para conhecimento da velocidade linear do aquífero no local e do sentido de fluxo da água subterrânea. Para isso realizaram-se sondagens, nivelamento, amostragem do solo e *slug test*.

Para conhecimento do nível d'água subterrânea no local e construção do mapa potenciométrico foram realizadas oito sondagens destinadas à instalação de poços de monitoramento, sendo que quatro delas já haviam sido realizadas no local, e as demais (nas quais foram instalados os poços PM-5, 6, 7 e 8) foram realizadas com objetivo de aprofundar o conhecimento do local (Fotos das sondagens **Anexo 1**). O nivelamento foi feito a partir de cotas arbitrárias. A partir da diferença das cotas do nivelamento e do nível d'água obteve-se a carga hidráulica (**tabela 4**), e desta, relativa ao posicionamento dos poços, obtêm-se o mapa potenciométrico (**Figura 4**).

A porosidade efetiva é de 15,7%, e foi obtida a partir da NBR 9313/1987, Manual de métodos de análise do solo da Embrapa segunda edição. A porosidade efetiva é utilizada na determinação da velocidade do fluxo de água equação 1. Por meio do *slug test* obteve-se a condutividade hidráulica do local.

5.4.1. Condutividade hidráulica e Carga Hidráulica

Para o *slug test*, utilizou-se o programa *Aquifer Test*, que têm como base a fórmula de Hvorslev (1951) representada pela equação:

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2LT_0} \quad \text{Equação 5;}$$

K = Condutividade hidráulica [L/T];

r = Raio do revestimento [L];

R = Raio do filtro [L];

L = Comprimento da coluna da água [L];

T₀ = Tempo inicial [T];

O *slug test* foi realizado no PM-5, visto que esse poço apresenta-se litologias típicas da área e tem situa-se próximo à porção central da malha de sondagens. Como resultado deste teste, obteve-se a condutividade hidráulica de $3,63 \times 10^{-4}$ cm/s, e essa foi tida como a

condutividade representativa de toda área estudada, visto que não há grandes variações laterais da litologia predominante da área.

Os resultados do *slug test* estão contidos no **Anexo 5**.

A carga hidráulica de 7,5% foi obtida através dos seguintes dados de campo.

POÇO	Nível d'água (m)	Fase livre (m)	Cota (m)	Carga hidráulica (m)
PM-01	1,370	0,000	99,872	98,502
PM-02	1,670	0,000	99,997	98,327
PM-03	1,400	0,000	99,817	98,417
PM-04	1,420	0,000	100,447	99,027
PM-05	1,116	0,000	99,353	98,237
PM-06	1,870	0,000	99,415	97,545
PM-07	2,088	0,000	99,192	97,104
PM-08	2,058	0,000	99,135	97,077
PC-01	1,570	0,000	-	-
PC-02	2,060	0,000	-	-

Tabela 4. Carga hidráulica

Mapa Potenciométrico do Posto TF

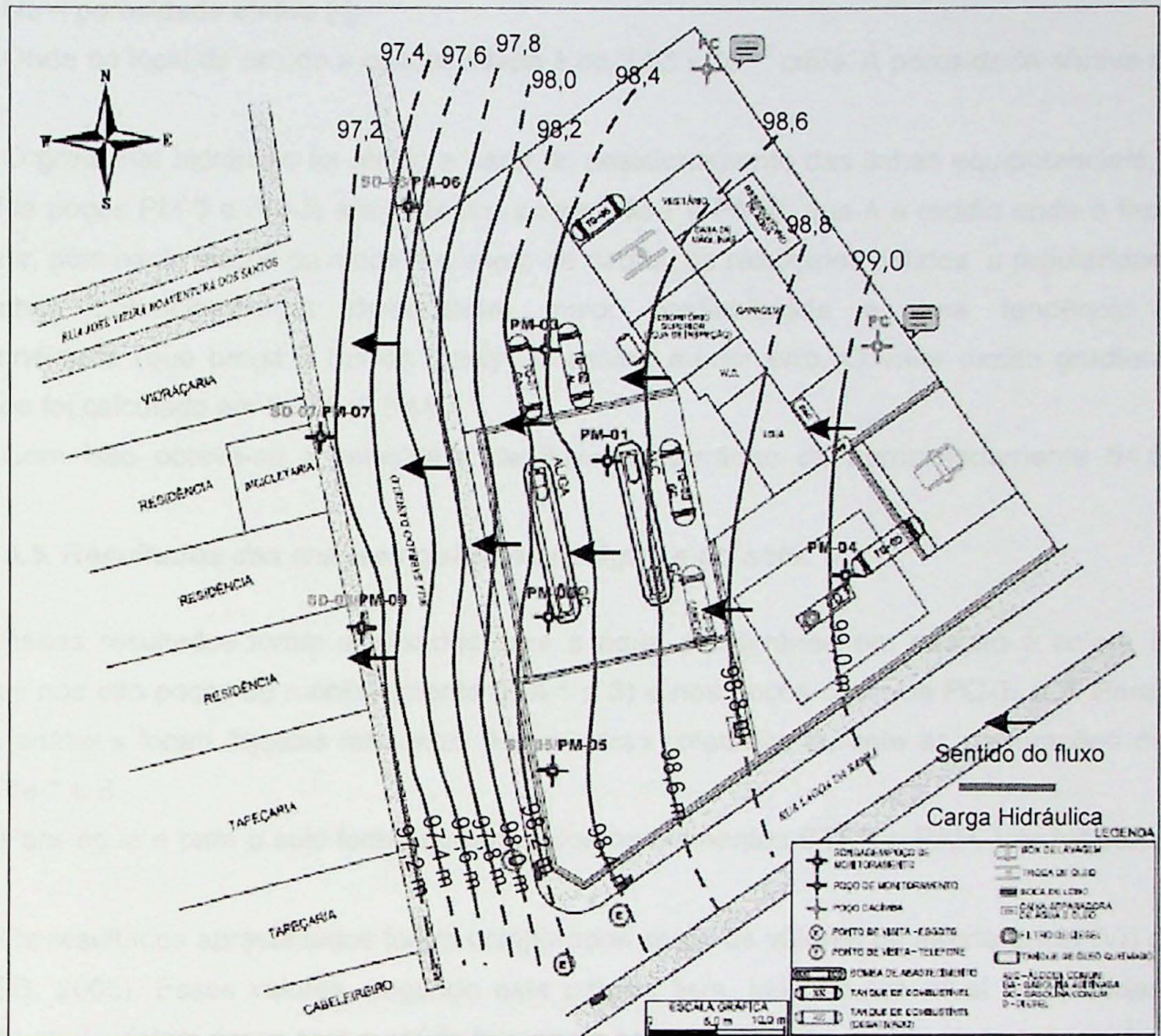


Figura 4. Mapa potenciométrico do Posto TF.

O mapa potenciométrico mostra que o fluxo preferencial da água subterrânea é de leste para oeste, esse sentido acompanha a topografia.

5.4.2. Velocidade de fluxo da água subterrânea

A velocidade de fluxo da água subterrânea foi obtida através da Lei de Darcy:

$$V_x = K \cdot i / n_e; \quad (\text{Equação 1});$$

V_x – velocidade linear média longitudinal [L/T];

K – condutividade hidráulica [L/T];

i - gradiente hidráulico [-];

Ne – porosidade efetiva [-];

Onde no local de estudo a condutividade é de $3,63 \times 10^{-4}$ cm/s. A porosidade efetiva de 15,7%.

O gradiente hidráulico foi obtido a partir do posicionamento das linhas equipotenciais, a oeste dos poços PM-3 e PM-5, e a leste dos poços PM-7 e PM-8, que é a região onde o fluxo tende a ir, pois neste trecho do mapa o número de dados, os resultados obtidos, a regularidade nas linhas potenciométricas demonstram maior confiabilidade e uma tendência a homogeneidade (que prega a Lei de Darcy) e, assim, menor erro. O valor desse gradiente hidráulico foi calculado em 0,075 (7,5%).

Com isso obteve-se a velocidade de fluxo subterrâneo de aproximadamente 54,56 m/ano.

5.5. Resultados das análises químicas da água e do solo.

Esses resultados foram analisados para a água subterrânea em relação à coleta de amostras nos oito poços de monitoramento (PM-1 a 8) e nos poços cacimba PC-1, e 2. Para o solo as análises foram àquelas referentes às amostras coletadas durante as perfurações dos poços PM-1 a 8.

Para água e para o solo foram considerados os elementos BTEX e PAH. Ver **tabelas 5 e 6**.

Os resultados apresentados foram comparados como os valores de interferência (VI) da (CETESB, 2005). Esses valores, segundo esta própria lista, indicam um nível de qualidade acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente, indicando a necessidade de um gerenciamento ambiental para o local (i.e. postos de gasolina já indicam a necessidade de uma avaliação de risco nível 2). Para os compostos em que não foram estabelecidos os VI, as concentrações obtidas foram comparadas com os valores dos Níveis Aceitáveis Baseados no Risco (NABR), CETESB (2001).

5.5.1. Caracterização da contaminação na água subterrânea.

A **Tabela 5** apresenta os resultados analíticos das amostras de água subterrânea bem como os valores de intervenção estabelecidos para os compostos de interesse pela CETESB (2005).

Tabela das análises para água subterrânea											
Compostos	Amostras										V.I. (CETESB 2005)
	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PC-1	PC-2	
Benzeno	4.603,89	13,05	374,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5
Tolueno	7.865,70	ND	125,71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	700
Etilbenzeno	1.502,34	51,82	291,89	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	300
Xileno	7.396,24	ND	312	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	500
Naftaleno	59,79	0,77	69,16	0,024	0,015	0,025	0,48	ND	ND	ND	140
Acenaftaleno	0,00	0,002	0,0023	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Acenafteno	0,01	0,0038	0,026	0,0025	ND	ND	0,002	ND	ND	ND	NE
Fluoreno	ND	0,017	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Fenantreno	0,011	ND	0,025	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	140
Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-A-Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,75
Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-K-Fluoranteno	ND	0,001	0,0011	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-B-Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-A-Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,7
Indeno-1,2,3-CD - Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,18
Dibenzo-A/H-Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,18
Benzo-G.H.I - Perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE

UNIDADE UTILIZADA = µg/L; ND = não detectado

Tabela 5. Resultados de BTEX e PAH pra água subterrânea.

Comparando-se os valores de intervenção (VI) da CETESB (2005) com os resultados da água subterrânea, nota-se que nenhum dos PAH apresentaram concentração acima do limite. Porém dentre os compostos BTEX, etilbenzeno, xileno e tolueno apresentaram concentrações acima dos valores de intervenção apenas no poço de monitoramento PM-1, e o benzeno apresenta valores acima do V.I. nos poços PM-1, 2 e 3.

Comparando-se os valores dos resultados da água subterrânea com os valores da tabela de referência do NABR (CETESB 2001), e considerando todos os cenários de risco para água subterrânea conclui-se que:

O benzeno apresenta risco para ingestão de água subterrânea, para receptores comerciais e residenciais (amostras PM-1 e 3); contato dérmico com a água subterrânea para

receptor comercial e residencial (amostras PM-1, e 3); inalação de vapores em ambientes abertos a partir da água subterrânea receptores residenciais e comerciais (amostra PM-1); inalação de vapores em ambientes fechados a partir da água subterrânea por receptores comerciais e residenciais (amostra PM-1), e apenas receptor residencial para a amostra do PM-3.

O tolueno apresenta risco para ingestão de água subterrânea para receptores residenciais (amostra PM-1). O etilbenzeno e o xileno não apresentam risco segundo a tabela do NABR (CETESB 2001).

Através apenas da interpolação dos valores de concentração do benzeno, foi construído um mapa de isoconcentração deste elemento na água subterrânea (**Figura 5**). Para a caracterização do conceito de pluma de contaminação necessita além da planta do contaminante (mapa de isoconcentração) os limites de profundidade em que o contaminante se encontra dissolvido em água subterrânea, para esta trabalho utilizou-se o valor de 2 m conforme CETESB (2001 a)

Nota-se que as maiores concentrações dos compostos químicos estão próximos ao PM-1, indicando um provável vazamento de gasolina no tanque três (TQ-3)

5.5.2.Caracterização da contaminação do solo.

Comparando-se com CETESB (2005), e CETESB (2001) nota-se que tanto para os compostos BTEX como para os PAH o solo não apresenta valores acima dos limites estipulados (**Tabela 6**).

Tabela de análise do solo

Amostras					
	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	V.I. (CETESB 2005)
Compostos					
Benzeno	ND	ND	ND	ND	0,08
Tolueno	ND	0,0482	ND	ND	30
Etilbenzeno	ND	0,00755	ND	ND	40
Xileno	ND	0,04474	ND	ND	30
Naftaleno	0,03427	0,10491	0,03213	0,0392	60
Acenaftaleno	ND	ND	ND	ND	NE
Acenafteno	ND	ND	ND	ND	NE
Fluoreno	ND	ND	ND	ND	NE
Fenantreno	0,00489	ND	0,00864	ND	40
Antraceno	ND	ND	ND	ND	NE
Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	NE
Pireno	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-A-Antraceno	ND	ND	ND	ND	20
Criseno	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-K-Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-B-Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	NE
Benzo-A-Pireno	0,0002	ND	ND	ND	1,5
Indeno-1,2,3-CD -Pireno	ND	ND	ND	ND	25
Dibenzo-A/H-Antraceno	ND	0,00044	ND	ND	0,6
Benzo-G.H.I - Perileno	ND	ND	ND	ND	NE

UNIDADE UTILIZADA = mg/L; ND = não detectado; NE = Não estabelecido

Tabela 6. Resultados de BTEX E PAH para solo.

Mapa de isoconcentrações de benzeno

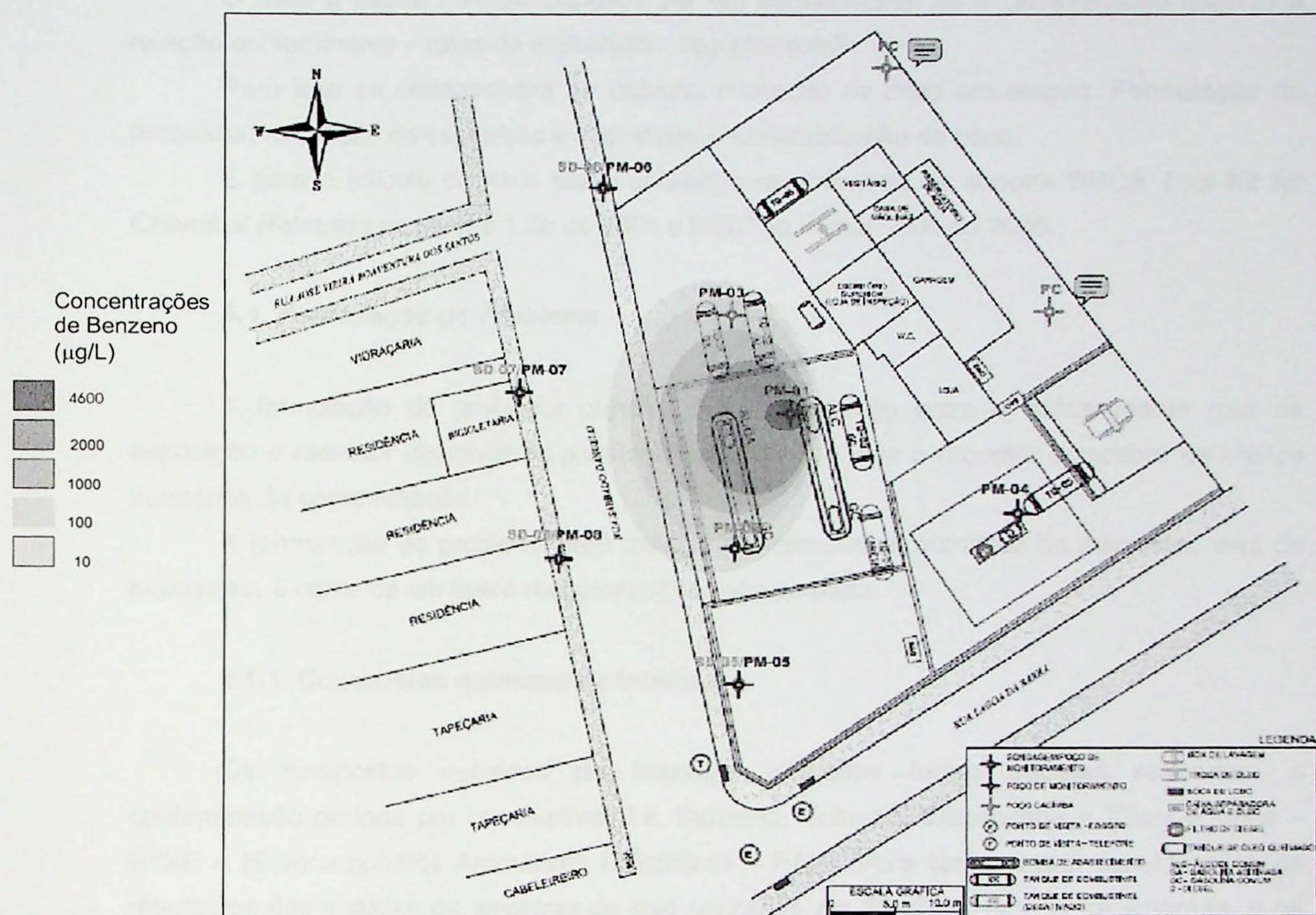


Figura 5. Mapa das concentrações de benzeno na água subterrânea dos poços.

6. AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA.

Conforme dito anteriormente a avaliação de risco deste trabalho é baseada na metodologia da *American Society for Testing of Materials* (ASTM) na norma contida no *Standard Guide for Risk – Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites* na qual a CETESB (2001) se baseou para a elaboração das Ações Corretivas Baseada no Risco (ACBR). E na avaliação de risco contida em CETESB (2003) que foi feita com base na

metodologia desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental Americana, a United States Environmental Protection Agency - USEPA, em 1989.

O risco à saúde humana causada por um contaminante só é caracterizado quando a relação contaminante – rotas de exposição – receptor existir.

Para isso se desenvolverá no trabalho avaliação de risco em etapas. Formulação do problema; avaliação da exposição e toxicidade; e caracterização do risco.

E para o cálculo do risco serão utilizados os *softwares* de suporte RBCA *Tool Kit for Chemical Releases* na versão 1.3b de 2001 e RISC na versão 4.04 de 2005.

6.1. Formulação do Problema

A formulação do problema objetiva definir a relação entre o contaminante rota de exposição e receptor definindo os possíveis cenários que leva o receptor a receber os efeitos deletérios da contaminação.

A formulação do problema será dividida em compostos químicos de interesse, vias de exposição, e cenários em que o receptor está sujeito ao risco.

6.1.1. Compostos químicos de interesse.

Os compostos químicos de interesse utilizados foram àqueles referentes a contaminação oriunda por combustível (i.e. Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos totais – BTXE e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos – PAH). Para tanto, foram considerados os resultados das análises de amostras de solo coletadas em 2004 por uma outra empresa, e os resultados das análises das amostras de solo e água subterrânea coletadas no presente trabalho.

Os compostos químicos analisados foram 20. Para a água os valores das maiores concentrações estão contidos na tabela 7, e para solo na tabela 8.

Maiores concentrações para água subterrânea

	Compostos	Concentração (mg/L)	Poço
BTEX	Benzeno	4,60389	PM-01
	Tolueno	7,86570	PM-01
	Etilbenzeno	1,50234	PM-01
	Xilenos Totais	7,39624	PM-01
PAH	Naftaleno	0,05970	PM-01
	Acenaftaleno	0,000003	PM-01
	Acenafteno	0,000026	PM-03
	Fluoreno	0,000017	PM-02
	Fenantreno	0,000025	PM-03
	Antraceno	0,00001	L.D.
	Fluoranteno	0,00001	L.D.
	Pireno	0,00001	L.D.
	Benzo(a)antraceno	0,00001	L.D.
	Criseno	0,00001	L.D.
	Benzo(b)fluoranteno	0,0000005	L.D.
	Benzo(k)fluoranteno	0,000001	PM-02
	Benzo(a)pireno	0,0000005	L.D.
	Indeno (123-cd)pireno	0,0000005	L.D.
	Dibenzo(a,h)antraceno	0,000001	L.D.
	Benzo(ghi)perileno	0,000001	L.D.

L.D. = Limite de Detecção

Tabela 7. Maiores concentrações para água subterrânea.

Maiores concentrações para solo

	Compostos	Concentração (mg/Kg)	Amostra coletada junto à construção do poço:
BTEX	Benzeno	0,00100	L.D.
	Tolueno	0,9215	PM-01
	Etilbenzeno	0,00755	PM-06
	Xilenos Totais	0,04474	PM-06
PAH	Naftaleno	0,57888	PM-02
	Acenaftaleno	0,00080	L.D.
	Acenafteno	0,00040	L.D.
	Fluoreno	0,00400	L.D.
	Fenantreno	0,03657	PM-04
	Antraceno	0,00400	L.D.
	Fluoranteno	0,00452	PM-02
	Pireno	0,0087	PM-02
	Benzo(a)antraceno	0,00400	L.D.
	Criseno	0,00400	L.D.
	Benzo(b)fluoranteno	0,00020	L.D.
	Benzo(k)fluoranteno	0,00040	L.D.
	Benzo(a)pireno	0,00020	PM-05
	Indeno (123-cd)pireno	0,00020	L.D.
	Dibenzo(a,h)antraceno	0,00044	PM-06
	Benzo(ghi)perileno	0,00040	L.D.

L.D. = Limite de Detecção

Tabela 8. Maiores concentrações para solo.

6.1.2. Rotas de exposição

As rotas de exposição correspondem ao transporte que leva os compostos químicos da contaminação até o receptor. No caso estudado os compostos são os BTEX e PAH, que podem ocorrer de três maneiras: volatilização, solo impactado, e transporte em água subterrânea.

E os receptores podem receber os efeitos dessa contaminação pelas vias de ingresso que correspondem à inalação, à ingestão e ao contato dermal.

6.1.3. Cenários de exposição

Os cenários de exposição relacionam o ambiente em que ocorreu a contaminação e os meios de exposição das populações a essa contaminação. Definindo os cenários reais e

hipotéticos de risco a saúde humana, e estabelecendo a relação entre área de interesse (onde ocorre e/ou pode se desenvolver um cenário de contaminação), as rotas de exposição, e os receptores.

Para melhor compreensão foi feita a **tabela 9** para cenários reais de exposição. E a **tabela 10** para os cenários hipotéticos de exposição. As áreas de interesse correspondem às áreas em que a contaminação e o risco encontram-se presentes, ou as áreas em que a contaminação pode ocorrer pelo transporte do contaminante.

Os receptores podem estar *on-site* e *off-site*. *On-site* significa que o receptor encontra-se sobre a pluma de contaminação (também denominada de. pluma de isoconcentração), que corresponde as maiores concentrações dos compostos químicos de interesse dissolvidos em água subterrânea. E *off-site* quando receptor encontra-se fora dos limites da pluma de contaminação dos compostos químicos de interesse.(i.e. a um determinada distância da pluma de isoconcentração). Neste trabalho foi considerada a maior pluma de contaminação identificada no *site* para distinção dos receptores *on-site* e *off-site*, ou seja, foi considerada a pluma de fase dissolvida de benzeno.

Para inalação de vapores em ambientes fechados, os receptores residenciais e comerciais foram considerados *on-site* mesmo quando não estavam sobre a pluma de contaminação (figura 5), isso devido ao transporte do contaminante em fase vapor, que pode ocorrer tanto na direção horizontal e como na vertical. Quando ocorre na direção horizontal, a fase vapor é transportada por vias preferenciais, como dutos e tubulações, entrando em contato direto com o receptor.

Nos cenários desenvolvidos *off-site* os receptores foram considerados a uma distância de 10m e 80m dos limites da pluma de contaminação, em função do mapa de uso e ocupação do solo no entorno do posto.

Foram considerados os processos de advecção, adsorção em argilas e matéria orgânica, e dispersão dos contaminantes.

Para os cenários hipotéticos foram considerados trabalhadores que podem realizar, por exemplo, obras de remoção de tanque, entrando em contato direto com a contaminação (cenário hipotético 1).

Cenário	Área de Interesse	Rotas de Exposição	Receptores
Real 1	Área do Posto (Ambiente Aberto)	Inalação de vapores a partir do estacionamento dos contaminantes do solo e da água subterrânea para o ar.	Frentistas do Posto (<i>on-site</i>).
Real 2	Área do Posto (Ambiente Fechado)	Inalação de vapores a partir do estacionamento dos contaminantes do solo e da água subterrânea para o ar.	Trabalhadores da Loja de Conveniência do Posto (<i>on-site</i>).
Real 3	Residências do Entorno (Ambiente Aberto)	Inalação de vapores a partir do estacionamento dos contaminantes do solo e da água subterrânea para o ar	Moradores das residências vizinhas ao posto (<i>on-site</i> e <i>off-site</i>)
Real 4	Residências do Entorno (Ambiente Fechado)	Inalação de vapores a partir do estacionamento dos contaminantes do solo e da água subterrânea para o ar	Moradores das residências vizinhas ao posto (<i>on-site</i>)
Real 5	Comércios do Entorno (Ambiente Aberto).	Inalação de vapores a partir do estacionamento dos contaminantes do solo e da água subterrânea para o ar	Funcionários dos comércios vizinhos ao posto (<i>on-site</i> e <i>off-site</i>)
Real 6	Comércios do Entorno (Ambiente Fechado)	Inalação de vapores a partir do estacionamento dos contaminantes do solo e da água subterrânea para o ar.	Funcionários dos comércios vizinhos ao posto (<i>on-site</i>)

Tabela 9. Cenários reais de exposição na Avaliação de risco

Existem dois poços cacimbas no Posto TF, porém esses poços se encontram 15 m a montante do centro de massa do mapa de isoconcentração e não apresentaram concentrações detectáveis dos compostos de interesse. No entanto foi considerado como cenário hipotético a ingestão, absorção dérmica e inalação de vapores e gotículas de água subterrânea proveniente destes poços cacimba por trabalhadores do posto, pois eventualmente o cone de rebaixamento formado pelo bombeamento da água nestes poços pode inverter localmente o fluxo da água subterrânea e, como isso, fazer com que a pluma de contaminação atinja estes poços (cenário hipotético 2).

Considerou-se também como cenários hipotéticos, a construção de poços cacimbas em residências e comércios no entorno foram considerados tanto *on-site* como *off-site* (cenários hipotéticos 5 e 6).

Também o hipotético uso da área contaminada para construção de casas ou comércios levaria o receptor (residente ou funcionário do comércio) a entrar em contato com o solo contaminado (cenários hipotéticos 3 e 4).

Outro cenário seria o uso de um córrego situado a 150m de distância do empreendimento (*off-site*) para atividades recreativas. Esse córrego estaria contaminado com a evolução no transporte da pluma de contaminação dos compostos de interesse.

Nota-se que os cenários hipotéticos tem sua utilidade principalmente para o gerenciamento de futuras atividades sociais na área.

Cenário	Área de Interesse	Rotas de Exposição	Receptores
Hipotético 1	Área do Posto (Ambiente Aberto)	Absorção dérmica, ingestão e inalação de solo e de água subterrânea em ambientes abertos durante eventuais obras de escavação na área do posto	Trabalhadores de obras que eventualmente podem realizar escavação na área do posto, expondo-se a água contaminada (<i>on-site</i>).
Hipotético 2	Área do Posto	Ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea proveniente de um eventual poço cacimba para consumo humano e lavagem de veículos	Trabalhadores do Posto (<i>on-site</i>).
Hipotético 3	Área do Posto (futuras/hipotéticas residências)	Absorção dérmica, inalação de vapores e partículas, e ingestão de solo superficial.	Residentes (<i>on-site</i>)
Hipotético 4	Área do Posto (futuros/hipotéticos comércios)	Absorção dérmica, inalação de vapores e partículas, e ingestão de solo superficial.	Funcionários dos comércios (<i>on-site</i>)
Hipotético 5	Residências do Entorno	Ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea proveniente de um eventual poço cacimba.	Moradores das residências vizinhas ao posto, representados por uma criança típica (<i>on-site</i> e <i>off-site</i>)
Hipotético 6	Comércios do Entorno	Ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea proveniente de um eventual poço cacimba	Funcionários dos comércios vizinhos ao posto (<i>on-site</i> e <i>off-site</i>)
Hipotético 7	Córrego a 150 m de distância do posto.	Absorção dérmica e ingestão de água subterrânea durante atividades recreativas.	Residentes representados por uma criança típica (<i>off-site</i>).

Tabela 10. Cenários hipotéticos de exposição na Avaliação de risco.

6.2 Avaliação da Exposição e da Toxicidade

Todos os parâmetros de exposição assumidos para os cenários considerados foram obtidos pelos resultados dos dados coletados na área do Posto TF. Também foram levantados dados de exposição por meio de bibliografia, como as Ações Corretivas Baseadas em Risco - ACBR (CETESB, 2001a), Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para o Estado de São Paulo (CETESB, 2001b), de CETESB (2004), dos dados estabelecidos pela *Environmental Protection Agency of United States* - US EPA (1989 e 2004) e dos dados fornecidos pela SINCOPEPETRO (Sindicato do Comércio Varejista de Derivado de Petróleo do Estado de São Paulo). Na tabela 11 estão contidos esses dados de exposição em questão.

Para os resultados dos dados levantados diretamente do local obteve-se a porosidade total de 43,5%, a porosidade efetiva de 15,7%, condutividade hidráulica (K) de $3,63 \times 10^{-3}$, umidade natural de 14,9%, pH de 5,5 para solo saturado e de 6,9 para insaturado. O nível d'água considerado foi de 1,116m (o menor valor encontrado), a densidade aparente de $1,56\text{g/cm}^3$, a fração carbono orgânico de 0,00174 para solo saturado, e de 0,0050 para insaturado.

A maior pluma de contaminação identificada na área é a de benzeno e mediu-se essa fase dissolvida do contaminante em água subterrânea em 25m no sentido do fluxo e 23m transversal ao fluxo, e considerou-se 2m na vertical conforme estabelecido pela CETESB (2001b). Os poços cacimba existentes no posto e os eventuais a serem instalados foram considerados como tendo uma profundidade de 10m, e os receptores *off-site* foram considerados a uma distância de 10m e 80m dos limites da pluma de isoconcentração.

Nessa tabela considerou-se a área exposta da pele para irrigação e limpezas em geral como 19% da área total do corpo, visto que não é toda área superficial do corpo que entra em contato com a água subterrânea durante estas atividades, e sim, as mãos, pés e parte das pernas (p. ex. valor das somatórias dessas áreas corpóreas estabelecidas em 3.180 cm^2 para adultos pela CETESB, 2001b).

Parâmetros de Exposição	Crianças	Trabalhador	Trabalhador de Obras	Fonte
Tempo de vida (anos)	68	68	68	CETESB (2001a)
Massa corpórea (Kg)	15	60	60	CETESB (2001b)
Frequência de exposição para o solo (eventos/ano)	350	270	90	Sincopetro
Duração da exposição para solo (anos)	6	35	1	Sincopetro
Taxa de ingestão do solo (mg/dia)	200	50	50	CETESB (2001a)
Área da pele exposta (cm ²)	2020	3180	3180	CETESB (2001a)
Fração da área total da pele exposta (-)	1	1	1	CETESB (2001a)
Fator de aderência do solo na pele (mg/cm ³)	1,45	1,45	1,45	CETESB (2004)
Frequência de exposição para a água subterrânea (eventos/ano)	350	270	90	CETESB (2001a)
Duração da exposição para água subterrânea (anos)	6	35	1	CETESB (2001a)
Taxa de ingestão da água subterrânea (L/dia)	2	1	1	CETESB (2001a)
Tempo de exposição durante o banho (h/dia)	0,2	0,2	0,2	CETESB (2001b)
Área total da pele exposta (cm ²)	9500	16600	16600	CETESB (2001b)
Fator de retenção do pulmão (-)	0,75	0,75	0,75	CETESB (2001b)
Taxa de inalação durante o banho (m ³ /h)	0,625	0,833	0,833	CETESB (2001a)
Volume do banheiro (m ³)	6	6	6	CETESB (2001b)
Fluxo de água do chuveiro	12,5	12,5	12,5	CETESB (2001b)
Temperatura da água do chuveiro (°C)	40	40	40	CETESB (2001b)
Diâmetro da gota do chuveiro (cm)	0,1	0,1	0,1	CETESB (2001b)
Gotas do chuveiro em 1 segundo	5	5	5	EPA
Frequência de exposição para a água de irrigação (eventos/ano)	350	270	-	CETESB (2001a)
Duração da exposição para água de irrigação (anos)	6	35	-	CETESB (2001a)
Taxa de ingestão da água de irrigação (mL/dia)	50	50	-	CETESB (2004)
Tempo de exposição durante a irrigação (h/dia)	1	8	-	Não Regulamentado
Taxa de inalação de vapores em ambientes abertos (m ³ /h)	0,833	0,833	-	CETESB (2001a)
Altura do spray d'água (m)	3	3	-	EPA
Fluxo d'água na "mangueira" (L/min)	30	30	-	Entrada do software
Temperatura da água de irrigação (°C)	20	20	-	Media de aquíferos livres
Diâmetro da gota da mangueira (cm)	0,2	0,2	-	Entrada do software
Gotas da mangueira em 1 segundo	10	10	-	EPA
Velocidade média dos ventos (m/s)	2,25	2,25	-	CETESB (2001a)
Altura da zona de curvatura do lançamento do jato d'água (m)	2	2	-	Entrada do software
Área da pele exposta (cm ²)	2020	3180	-	CETESB (2001a)
Fração da pele exposta a irrigação (-)	1	1	-	Não Regulamentado
Frequência de exposição para inalação em ambientes fechados (eventos/ano)	350	270	-	CETESB (2001a)
Duração da exposição para inalação (anos)	6	35	-	CETESB (2001a)
Taxa de inalação em ambientes fechados (m ³ /h)	0,625	0,833	-	CETESB (2001a)
Fator de retenção do pulmão (-)	0,75	0,75	-	CETESB (2001b)
Tempo em ambientes fechados (h/dia)	-	-	-	CETESB (2001b)
Frequência de exposição para inalação em ambientes abertos (eventos/ano)	350	270	90	CETESB (2001a)
Duração da exposição para inalação (anos)	6	35	1	CETESB (2001a)
Taxa de inalação em ambientes abertos (m ³ /h)	0,833	0,833	0,833	CETESB (2001a)
Fator de retenção do pulmão (-)	0,75	0,75	0,75	CETESB (2001b)
Tempo em ambientes abertos (h/dia)	-	-	8	CETESB (2001b)
Frequência de exposição para natação (eventos/ano)	350	270	90	CETESB (2001a)
Duração da exposição para natação (anos)	6	35	1	CETESB (2001a)
Taxa de ingestão da água subterrânea (mL/dia)	50	50	0	CETESB (2004)
Tempo de exposição para natação (h/dia)	1	0,5	0,5	EPA
Área total da pele exposta (cm ²)	9500	16600	3180	CETESB (2001b)

Tabela 11. Dados de exposição para avaliação de risco.

Os compostos podem apresentar efeitos cancerígenos e não-cancerígenos aos humanos. Quanto aos efeitos cancerígenos os compostos podem ser classificados da seguinte forma USEPA (1981):

- Grupo A: Reconhecidamente Carcinogênicos;
- Grupos B1: Carcinogenicidade apontada com base em estudos limitados para humanos;
- Grupos B2: Carcinogenicidade apontada com base em evidências suficientes para animais, e insuficientes para humanos;
- Grupo C: Possibilidade de causar câncer em humanos;
- Grupo D: Não classificável como causador de câncer em humanos;
- Grupo E: Evidência de não ser carcinogênico para humanos.

Dos compostos BTEX, o benzeno classifica-se como do grupo A. Já o tolueno, etilbenzeno, e xilenos são representados pelo grupo D. Dentre os compostos PAH, o benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno (123-cd)pireno, e o diibenzo(a,h)antraceno classificam-se como do grupo B2. O acenaftaleno não tem classificação, e os demais PAH pertencem ao grupo D.

Para os efeitos não cancerígenos todos compostos apresentam doses em que efeitos deletérios à saúde humana podem ser causados.

6.3. Caracterização do Risco.

Os limites para os cálculos dos riscos foram estabelecidos em CETESB (2001a). E são de 10^{-5} e 1, para efeitos cancerígenos e não-cancerígenos, respectivamente. O valor de 10^{-5} é comparado com o incremento de risco (IR), e valor 1 é referência ao quociente de risco (QR).

Para realização dos cálculos do risco à saúde humana utilizou-se de dois *softwares* de computador, o RBCA *Tool Kit for Chemical Releases* na versão 1.3b de 2001 e RISC na versão 4.04 de 2005.

No cálculo do risco foram considerados tanto na água como no solo os elementos BTEX e PAH. Esses elementos foram representados em cenários reais e hipotéticos.

Para os cenários reais que consideram o solo como fonte de contaminação, não riscos carcinogênicos e não carcinogênicos para a saúde humana.

Também para os cenários reais que envolviam o particionamento dos contaminantes presentes na água subterrânea para o ar, a partir da inalação de vapores em ambientes abertos (cenários reais 1, 3 e 5) também não apresentaram risco à saúde humana.

Porém os cenários reais 2, 4 e 6 que correspondem inalação de vapores a partir do particionamento dos contaminantes da água subterrânea para o ar em ambientes fechados apresentaram riscos cancerígenos e não cancerígenos à saúde humana. Os receptores sujeitos ao risco são os funcionários da loja de conveniência e escritório do posto, bem como os residentes e comerciantes do entorno situados *on-site*.

É importante frisar que na área não há nenhum receptor em ambiente fechado sobre a pluma de isoconcentração (*on-site*). Os funcionários da loja estão a montante da pluma, os residentes e os comerciantes também não estão sobre a fase dissolvida de contaminantes e só foram considerados *on-site* devido à presença de tubulações e dutos que podem migrar o contaminante em fase vapor diretamente ao receptor em seu ambiente fechado.

Conclui-se que para os cenários reais são necessárias medições de vapores orgânicos voláteis periódicas (para gerenciar o risco de inalação em ambiente fechado), a construção de um poço de monitoramento em frente ao escritório do posto e a restrição de construções civis sobre a pluma de isoconcentração.

Para os cenários hipotéticos, os que têm o solo como fonte de contaminação não apresentam risco à saúde humana (cenários 3 e 4).

Nos cenários hipotéticos que têm a água subterrânea como fonte de contaminação é encontrado o risco à saúde humana, tanto pra efeitos cancerígenos como não cancerígenos, os quais serão pormenorizados a seguir.

O cenário hipotético 1, apresenta o risco apenas para efeitos não-cancerígenos, sendo o receptor um trabalhador de obras. Atualmente não há previsão de obras que envolvam a remoção e escavação do solo que fariam os trabalhadores de obra entrarem em contato com a água subterrânea contaminada, mas na ocorrência deste cenário faz-se necessário medidas de prevenção para os trabalhadores, como os equipamentos de proteção adequados.

No cenário hipotético 2 que trata de um eventual poço cacimba situado *on-site* para uso dos trabalhadores do posto, ocorre o risco para à saúde humana. O receptor é um trabalhador típico. A peculiaridade desse cenário é que já existem poços cacimba no empreendimento, porém esses poços situam-se a montante da fase dissolvida de contaminante, e as análises químicas da água subterrânea não apresentaram concentração acima do limite para nenhum dos compostos. Mas constata-se com isso a necessidade de monitoramento desses poços cacimba, e a restrição quanto à construção de poços cacimba sobre a fase dissolvida de contaminante (*on-site*).

No cenário hipotético 5 e 6 verifica-se o risco à saúde para eventuais poços cacimba construídos *on-site* e *off-site*. Para os residentes e comerciantes situados *on-site* existiriam os riscos cancerígeno e não cancerígeno para adultos típicos e crianças residentes típicas.

Os residentes e comerciantes do entorno situados *off-site* (a 10 e 80 metros dos limites da pluma) apresentariam riscos carcinogênicos e não carcinogênicos.

No cenário hipotético 7, que considera a ingestão e a absorção dérmica de água superficial de um córrego situado a 150 m por crianças residentes, não se verificou a incidência de risco.

6.4. Valores SSTL

Também na avaliação de risco nível 2, objetiva-se a obtenção da concentração meta específica da área (SSTL) para cada composto analisado, a qual servirá como meta a ser atingida por eventuais projetos de remediação a serem instalados no local, os quais visam à redução das massas de contaminantes no solo e / ou na água subterrânea.

Como para o cálculo das SSTL o número de informações específicas do local é maior, por conseguinte o conservadorismo dos resultados é menor em relação aos valores das tabelas de referência apresentadas pelos órgãos ambientais para um Estado (CETESB, 2005) ou país (*Preliminary Remedial Goals – PRG – Region 9, US EPA, 2004*).

Quando a concentração do composto químico analisado é inferior ao valor da SSTL significa que não existe o risco as populações expostas, confirmando o cálculo do risco realizado para este cenário em função dos limites impostos pela CETESB para compostos carcinogênicos e não carcinogênicos. Quando a SSTL calculada para determinado composto é inferior as máximas concentrações detectadas no *site*, ela indica também que, se implantado um projeto de reabilitação da área, tal composto não precisará ter suas concentrações reduzidas.

Assim, os resultados das SSTL podem ser utilizados na avaliação da evolução da contaminação existente e como alvo a serem atingidos por eventuais projetos futuros de remediação a partir das rotas de exposição identificadas e consideradas. Estes valores também servem de referência para os modelos de transporte, no qual as simulações de transporte do contaminante devem apresentar valores menores do que os da SSTL em função do tempo e distância.

Na Tabela 12 estão apresentadas as SSTL mais restritivas em relação à água subterrânea, calculadas para os cenários real (inalação de vapores a partir do estacionamento

dos contaminantes da água subterrânea para o ar por residentes on-site em ambiente fechado) e hipotético (ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea proveniente de um eventual poço cacimba por crianças residentes consideradas on-site) mais restritivos. Foram calculadas as SSTLs e estão apresentadas no Anexo 6 os cenários mais restritivos.

Em relação ao cenário real nota-se que o valor de SSTL calculado é superado pelo benzeno no PM-01 e PM-03. Quanto a isso recomenda-se a construção de um poço de monitoramento em frente ao escritório do posto e também a medição de vapores.

No cenário hipotético nota-se que os compostos benzeno (PM-01, 02 e 03), tolueno (PM-01), etilbenzeno (PM-01), xileno (PM-01 e 03) e naftaleno (PM-01 e 03) superam os valores de SSTL calculados, apresentando o risco. Porém, sobre a pluma de isoconcentração dos compostos químicos de interesse não ocorre à presença de poços cacimbas. Os poços cacimbas estão situados a montante dessas isoconcentrações. Quanto a isso se recomenda a não construção de poços cacimba sobre a água subterrânea que apresenta fase dissolvida de contaminante, atualmente representada pela figura 5, também um acompanhamento da evolução desses contaminantes na água subterrânea.

A evolução dos contaminantes na água subterrânea pode ser estudada a partir de sua migração espacial no tempo, ou seja, calcula-se a migração da pluma no espaço em função dos anos e a variação de sua concentração. Esse estudo é chamado de simulação de transporte em zona saturada.

Nome do composto	Concentração atual (mg/L)	Concentração de fundo (mg/L)	Concentração de fundo (mg/L)	Concentração de fundo (mg/L)
Benzeno	0,001	0,001	0,001	0,001
Tolueno	0,001	0,001	0,001	0,001
Etilbenzeno	0,001	0,001	0,001	0,001
Xileno	0,001	0,001	0,001	0,001
Naftaleno	0,001	0,001	0,001	0,001

Tabela 12: SSTLs para os compostos químicos de interesse.

SSTL para água subterrânea.

Compostos		Concentração Máx. (mg/L)	SSTL – Cenário Real (mg/L)	SSTL – Cenário Hipotético (mg/L)	Solubilidade (mg/L)
BTEX	Benzeno	4,60389	$1,3 \times 10^{-1}$	$5,9 \times 10^{-3}$	$1,80 \times 10^{+3}$
	Tolueno	7,86570	$2,1 \times 10^{+1}$	$5,7 \times 10^{-1}$	$5,30 \times 10^{+2}$
	Etilbenzeno	1,50234	$5,0 \times 10^{+1}$	$5,3 \times 10^{-1}$	$1,70 \times 10^{+2}$
	Xilenos Totais	7,39624	S	$2,2 \times 10^{-1}$	$2,00 \times 10^{+2}$
PAH	Naftaleno	0,06916	S	$9,5 \times 10^{-3}$	$3,10 \times 10^{-1}$
	Acenaftaleno	0,000003	S	S	3,90
	Acenafteno	0,000026	S	$2,7 \times 10^{-1}$	4,20
	Fluoreno	0,000017	S	$1,6 \times 10^{-1}$	2,00
	Fenantreno	0,000025	S	S	1,30
	Antraceno	0,00001	S	S	$4,30 \times 10^{-2}$
	Fluoranteno	0,00001	S	$1,8 \times 10^{-1}$	$2,10 \times 10^{-1}$
	Pireno	0,00001	S	S	$1,40 \times 10^{-1}$
	Benzo(a)antraceno	0,00001	S	$1,5 \times 10^{-4}$	$9,40 \times 10^{-3}$
	Criseno	0,00001	S	S	$1,60 \times 10^{-3}$
	Benzo(b)fluoranteno	0,0000005	S	$1,1 \times 10^{-4}$	$8,00 \times 10^{-4}$
	Benzo(k)fluoranteno	0,000001	S	S	$1,5 \times 10^{-3}$
	Benzo(a)pireno	0,0000005	S	$1,2 \times 10^{-5}$	$1,60 \times 10^{-3}$
	Indeno (123-cd)pireno	0,0000005	S	S	$2,20 \times 10^{-5}$
	Dibenzo(a,h)antraceno	0,000001	S	6×10^{-6}	$2,50 \times 10^{-3}$
	Benzo(ghi)perileno	0,000001	S	S	$7,00 \times 10^{-4}$

Tabela 12. S = SSTL excede a solubilidade química do composto.

SSTL para o solo

	Compostos	Concentração (mg/Kg)	SSTL (mg/Kg)
BTEX	Benzeno	0,00100	$5,3 \times 10^{-1}$
	Tolueno	0,9215	$9,0 \times 10^{+1}$
	Etilbenzeno	0,00755	$2,3 \times 10^{+2}$
	Xilenos Totais	0,04474	R
PAH	Naftaleno	0,57888	R
	Acenaftaleno	0,00080	R
	Acenafteno	0,00040	R
	Fluoreno	0,00400	R
	Fenantreno	0,03657	R
	Antraceno	0,00400	R
	Fluoranteno	0,00452	R
	Pireno	0,0087	R
	Benzo(a)antraceno	0,00400	R
	Criseno	0,00400	R
	Benzo(b)fluoranteno	0,00020	R
	Benzo(k)fluoranteno	0,00040	R
	Benzo(a)pireno	0,00020	R
	Indeno (123-cd)pireno	0,00020	R
	Dibenzo(a,h)antraceno	0,00044	R
	Benzo(ghi)perileno	0,00040	R

Tabela 13. R - SSTL superior à concentração residual.

Na **tabela 13** verifica-se que o solo não apresenta risco para a saúde, visto que os valores de concentração dos compostos de interesse (BTEX e PAH) não superam os valores da SSTL, confirmando a inexistência de risco para os cenários que consideram o solo como meio de transporte.

7. SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE EM ZONA SATURADA.

A simulação de transporte resulta fundamentalmente em três variáveis, o tempo, o espaço e a concentração do contaminante. O que se busca com essa simulação é ter conhecimento de como os compostos químicos de interesse que tiveram valores superiores aos da SSTL vão se comportar no tempo e no espaço. Buscando no tempo e no espaço valores que os compostos químicos de interesse sejam inferiores aos valores da SSTL, não apresentando risco para a saúde humana.

Os processos que modificam a concentração dos compostos químicos no tempo e no espaço considerados nessa simulação foram advecção, dispersão e primeira ordem de

decaimento, além de uma fonte constante de contaminação e a capacidade de adsorção em argilas e matéria orgânica dos compostos de interesse.

As taxas de primeira ordem de decaimento para estes compostos foram definidas por Howard *et al.* (1991), a porosidade efetiva foi medida em 15,7 %, o valor de condutividade hidráulica foi calculado em $3,63 \times 10^{-4}$ cm/s através de ensaio realizado em campo e o maior valor de gradiente hidráulico foi calculado em 7,5% a partir do mapa potenciométrico. As dimensões da pluma de contaminação foram medidas em planta, sendo o seu comprimento de 25,0 metros na direção paralela ao fluxo d'água e 23,0 metros na direção perpendicular ao mesmo, e na direção vertical foi estabelecido em 2,0 metros, conforme recomendações da CETESB (2001a).

A ferramenta de suporte utilizada foi o modelo proposto por Domenico (1990), com auxílio do software *RBCA Tool Kit for Chemical Releases* v. 1.3b (2001).

A simulação de transporte foi feita para a concentração do composto após migrar 50m e 100m e também para o tempo de estabilização do composto. Ver **tabela 14**.

O valor de SSTL considerado foi a do cenário hipotético 5, ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea proveniente de um eventual poço cacimba.

Composto de interesse	Concentração (mg/L)	Modelagem para 50m		Modelagem para 100m		Distância máxima com concentração superior a da SSTL (m)	SSTL (mg/L)
		Tempo para Estabilização (anos)	Concentração de estabilização (mg/L)	Tempo para Estabilização (anos)	Concentração de estabilização (mg/L)		
Benzeno	4,60389	5	$5,2 \times 10^{-1}$	8	$8,5 \times 10^{-2}$	225	$5,9 \times 10^{-3}$
Tolueno	7,86570	1,6	$7,2 \times 10^{-6}$	2	$2,6 \times 10^{-9}$	7	$5,7 \times 10^{-1}$
Etilbenzeno	1,50234	6	$2,2 \times 10^{-3}$	10	$2,6 \times 10^{-5}$	8	$5,3 \times 10^{-1}$
Xileno	7,39624	6	$1,1 \times 10^{-1}$	9	$4,6 \times 10^{-3}$	45	$2,2 \times 10^{-1}$
Naftaleno	0,06916	18	$1,7 \times 10^{-8}$	27	$3,6 \times 10^{-12}$	4	$9,5 \times 10^{-3}$

Tabela 14. Parâmetros utilizados na simulação de transporte

Baseado na simulação de transporte que tem seus dados de entrada e seus resultados contidos no **Anexo 7**, nota-se que o composto que atinge maior distância com concentrações superiores as concentrações meta específica para a área é o benzeno. Ele migraria até 225 m com concentrações que apresentam risco para a saúde humana.

Para isso faz-se necessário uma restrição do uso da água a jusante da fonte de contaminação em um raio de 225 m.

Vale ressaltar que os poços cacimbas na região estão todos a montante da fonte de contaminação. E que a 150 m encontra-se o córrego, o qual é caracterizado como zona de descarga do aquífero livre local e, portanto limita-se localmente a área de restrição em 150m.

O tolueno em menos de 2 anos já não apresentaria risco para saúde humana e não migraria mais do que 7m . O etilbenzeno em 6 anos já não apresentaria risco à saúde humana e não migraria mais do que 8 m apresentando risco. O xileno migraria 45m apresentado risco e restrições para a ocupação do solo e não duraria mais que 9 anos o risco iminente a este composto. E o naftaleno migraria apenas 4 m apresentando risco e sua estabilização demoraria, mas antes de sua estabilização, menos de 3 anos para este composto não apresentar risco para a saúde humana

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

A geologia local está mais associada ao contexto da bacia terciária e dos aluviões quaternários. A geologia local basicamente se resume a uma camada argilosa no primeiro metro de profundidade e níveis arenosos nas porções inferiores.

Quanto à hidrogeologia local constatou-se uma velocidade linear da água subterrânea de 54,56 metros por ano. No mapa potenciométrico, o fluxo do aquífero livre tende a ir de leste para oeste.

Os poços cacimba situados no Posto TF e no entorno, não alteram o fluxo do aquífero local, e tampouco se encontram contaminados pois estão situados a montante da fonte de contaminação.

As amostras de solo não apresentaram concentrações superiores aos limites ambientais estabelecidos pela CETESB.

As concentrações obtidas nas amostras de água ultrapassam os limites ambientais estabelecidos para benzeno (PM-01, 02 e 03). Para tolueno, xileno e etilbenzeno, os valores de intervenção são superados no poço de monitoramento PM-01. Estes valores situam-se próximos ao tanque três (TQ-3), indicando um provável vazamento de gasolina deste tanque

Em relação aos indícios visuais de contaminação, não foi constatada fase livre. Assim, o contaminante encontra-se dissolvido no aquífero. Foi traçado um mapa de isoconcentração do contaminante (figura 5), e para a definição da pluma utilizou-se como limites inferiores aos

Valores de Intervenção determinados pela CETESB (2005). Este mapa indicou um desenvolvimento da pluma na direção do fluxo do aquífero livre (advecção) com centro de massa desta inserido próximo ao tanque três (TQ-03).

A avaliação de risco para a saúde humana para os compostos BTEX e PAH constatou o risco para a saúde humana nas seguintes rotas – exposição humana:

Em cenários reais identificados, tanto o risco cancerígeno (incremento de risco) quanto o quociente de risco (efeitos deletérios à saúde humana) foram identificados nos cenários reais pela inalação de vapores provenientes da partição dos contaminantes presentes em fase dissolvida no aquífero livre para ambientes fechados (loja de conveniência e escritório do posto, e residências e comércios do entorno considerados *on-site*) por residentes e por trabalhadores do posto e dos comércios.

Nos cenários hipotéticos apenas as rotas que levam a água subterrânea em consideração apresentariam risco (cenários hipotéticos 1, 2, 5 e 6). Os cenários que levam em consideração o solo ou a água superficial (cenários hipotéticos 3, 4 e 7) não apresentariam risco para a saúde humana.

Para os cenários reais que correspondem inalação de vapores a partir do particionamento dos contaminantes da água subterrânea para o ar em ambientes fechados a recomenda-se como gerenciamento do risco a restrição na construção de edificações sobre a pluma de contaminação. E o monitoramento analítico da água subterrânea por meio de amostragens trimestrais e o monitoramento de vapores orgânicos voláteis com periodicidade quinzenal. Caso sejam constatadas concentrações superiores aos SSTL nos poços de monitoramento construídos próximos aos ambientes fechados, ou teores vapores orgânicos voláteis superiores ao limite imposto pela CETESB nos interferentes subterrâneos próximos ou nos interiores dos mesmos, deverá necessariamente ser instalado um sistema de remediação no local.

Para o cenário hipotético 1 que leva em consideração ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea por trabalhadores de obra no posto, recomenda-se como gerenciamento de risco a utilização dos equipamentos de proteção individual EPI, caso este cenário venha a ocorrer.

Em relação aos demais cenários hipotéticos que levam em consideração a ingestão, absorção dérmica e inalação de gotículas de água subterrânea pelos residentes e comerciantes recomenda-se a restrição do uso da água subterrânea. Essa restrição corresponde a um raio de 225 m no meio círculo da porção jusante à área do posto, calculado a partir da simulação de transporte dos contaminantes em zona saturada. Porém os poços cacimba da região estão a

montante da pluma de contaminação e após o córrego (Norte do córrego) os eventuais poços cacimba fariam parte de um outro aquífero. Associada a esta restrição de instalação de poços de captação de água subterrânea, recomenda-se o monitoramento analítico trimestral da água subterrânea visando à avaliação da evolução da pluma de contaminação, até que a mesma apresente concentrações inferiores aos SSTL calculados. Caso sejam constatadas concentrações dos compostos de interesse nos poços cacimba do posto, recomenda-se o aterramento dos mesmos.

CAMPOS NETO, M. C.; SASSI, M. A. S. (1983). Evolução estrutural recente do nordeste do São Paulo sedimentar: implicações à tectônica e hidrogeologia. *Simpósio Regional de Geologia*, 4. São Paulo, p. 61-75.

CAMPOS NETO, M. C.; SASSI, M. A. S. (1984). A segmentação das falhas e o controle da distribuição da água subterrânea no nordeste do São Paulo sedimentar. *Simpósio Regional de Geologia*, 4. São Paulo, p. 76-90.

CAMPOS, M. M.; ALMEIDA, L.; SASSI, M. A. S. (1985). Fundamentos de geologia regional. São Paulo: Sagrazi Editora, 1985.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2003). Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. São Paulo. Cap I ao VII.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2003a). Agilizar Cálculos Realizados em Planos (MAPS). São Paulo, 60p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2003b). Estabelecimento de Valores Químicos para SSTL e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Relatório Final. São Paulo, 192p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2003). Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Planos. Cap. VIII. São Paulo. Cap VIII ao IX.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BERNARDES JÚNIOR, C. 1995. *Avaliação de risco de longo prazo, em casos de contaminação de águas subterrâneas como instrumento de gerenciamento da remediação*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 192p.

CAMPOS NETO, M. C.; BASEI M.A.S.. 1983a. *Evolução estrutural brasileira do nordeste de São Paulo: dobramentos superpostos e esboço estratigráfico e tectônico*. Simpósio Regional de Geologia 4. Atas SBG. p.61-78.

CAMPOS NETO, M. C.; BASEI M.A.S. 1983b. *A importância dos falhamentos transcorrentes na configuração do pré-cambriano entre São José dos Campos e Amparo (SP)*. Simpósio Regional de Geologia 4. Atas SBG. p.79-90.

CAMPOS M. M.; AMARAL, L.; SEOULD, O. 1980. *Fundamentos de química orgânica*. São Paulo : Edgard Blucher. 606p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1999. *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. São Paulo. Cap I ao VII.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2001a. *Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR)*. São Paulo. 80p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2001b. *Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Água Subterrânea no Estado de São Paulo. Relatório Final*. São Paulo, 246 p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2003. *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (Novos Capítulos)*. São Paulo. Cap VIII ao XII.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Relatório de Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade e de Intervenção Para Solos e Águas Subterrâneas. 4p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2006a. *Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo (Municípios)*. Novembro/2006. 1822p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2006b. *Procedimento para identificação de passivos ambientais em estabelecimentos com sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC)*. São Paulo. 11p.

COUTINHO, J.M.V.1972. Petrologia do Pré-Cambriano de São Paulo e arredores. Boletim IGc-USP: Publicação Especial, n.3, p.5-99.

CUNHA, R. C. A. 1997. *Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas: estudo de caso*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 152p.

DOMENICO P.A. ; SCHWARTZ F.W. 1990. *Physical and chemical hydrogeology*. Wiley: New York. 824p.

FETTER, C. W. 1993. *Contaminant hydrogeology*. New York; Toronto: Macmillan Pub. Co.: Maxwell Macmillan Canada. 458p.

FINOTTI, A. R. 1997. Estudo da aplicabilidade do modelo da ação corretiva baseada no risco (RBCA) em contaminação subterrânea com gasolina e etanol. Tese de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. 113p.

FREEZE, R. A.; CHERRY J. A. 1979. *Groundwater*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, 604p.

GUIGUER, N. 1996. *Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento*. Waterloo: Waterloo hydrogeologic. 356p.

HASUI, Y. 1975. *Evolução polifásica do Pré-Cambriano a oeste da capital paulista*. Boletim IGc-USP: Publicação Especial, n.6, p.95-107.

HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. *Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Geociências, n.6, p180-200.

HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.; NEVES, B.B.B.. 1978. *As Estruturas Brasileiras*. Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife. Anais SBG, p.2423-2437.

HOWARD, P. H.; BOETHLING R. S.; JARVIS, W. F.; MEYLAN, W. M.; MICHELAENCO, M. E. 1991. *Handbook of Environmental Degradation*. Rates Chelsea : Lewis Publishers Inc.

HVORSLEV, H. J. 1951. *Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations*. US Army Corps of Engineers, Waterwaste Experiment Station, Bulletin. N.36.

KOLESNIKOVAS, C. 2006. *Avaliação de risco toxicológico para hidrocarbonetos totais de petróleo em forma fracionada aplicada à gestão e monitoramento de água subterrânea em um complexo industrial*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 250p.

MATHER, J. R. 1998. *Groundwater contaminants and their migration*. London: Geological Society. Geological Society special publication: no. 128. 368p.

MAXIMIANO, A. M. S. 2001. *Determinação de níveis aceitáveis no ambiente para hidrocarbonetos utilizando o procedimento de ações corretivas baseadas no risco (RBCA)*. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 121p.

OLIVEIRA, E. 1992. *Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo*. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 112p.

RBCA v. 1.3b. 2000. *Risk Based Corrective Action (RBCA) Tool Kit for Chemical Releases*. Groundwater Software Inc.

RICCOMINI, C; COIMBRA, A. M; 1992. *Solos da cidade de São Paulo*. Abmes/Abef. p.37-94.

RICCOMINI, C. 1989. *Rift continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 304p.

RISC 4.0 .2001. "*Risk Integrated Software for Clean-up*" – Groundwater Software Inc.

SCHWARZENBACH, R.P. 1993. *Environmental organic chemistry*. New York: John Wiley. 681p.

SINCOPEPETRO; FECOMBUSTÍVEIS. 1999. Quarta Pesquisa Nacional Posto de Observação para Postos de Serviço, Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Revista Ponto de Observação.

TASSINARI, C.C.G. & CAMPOS NETO M.C. 1988. *Precambrian continental crust evolution of southeastern São Paulo State – Brazil: based on isotopic evidences*. *Geochimica Brasilienses*, 2, p.175-183.

THEODOROVICZ, A; YAMATO, A. A; TAKAHASHI, A.T; VASCONCELOS, C.S; SANTARÉM, P.C; SILVAV.A. 1990. *Projeto Santa Isabel/ Mogi das Cruzes/ Mauá – SP*. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). São Paulo. 194p.

TOSO JÚNIOR, E. 2001. *Avaliação da contaminação e do risco associado em área de indústria e suas adjacências, em Cotia-SP*. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 130p.

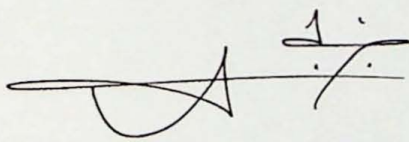
TPHCWG - TOTAL PETROLEUM HYDROCARBON CRITERIA WORKING GROUP. 1997. *Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations. Volume 3*. Amherst Scientific Publishers 102p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. EPA/540/1-89/002. Washington, EPA, 34 p.

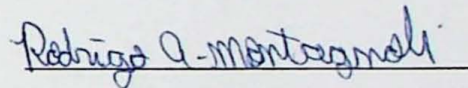
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2004. *An Examination of EPA Risk Assessment Principles and Practices*. Office of the Science Advisor. Washington, EPA, 182p.

Monografia Final (TF-07/37): **AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO E DO RISCO À SAÚDE HUMANA EM ÁREA DE POSTO DE GASOLINA SITUADO NA ZONA LESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO – SP.** *Aluno:* Rodrigo Augusto Montagnoli. *Orientador:* Prof. Dr. Uriel Duarte. *Co-orientadora:* Geól^a. Aline Michelle Bernice

“De Acordo”: (TF-07/37):



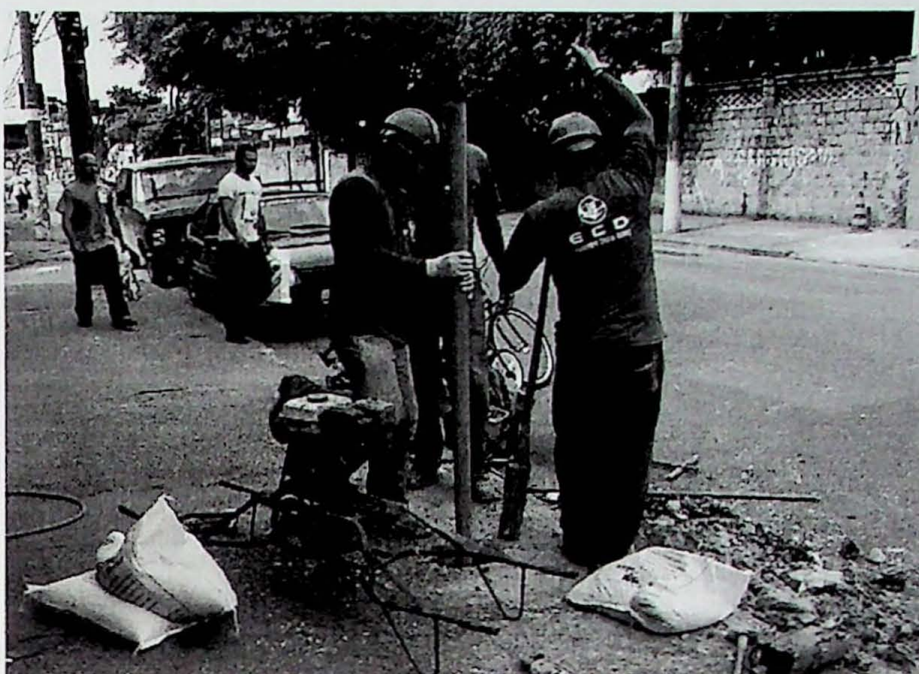
Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte.



Aluno: Rodrigo A. Montagnoli.

Anexo 1

(Foto da realização das sondagens e instalação dos poços)



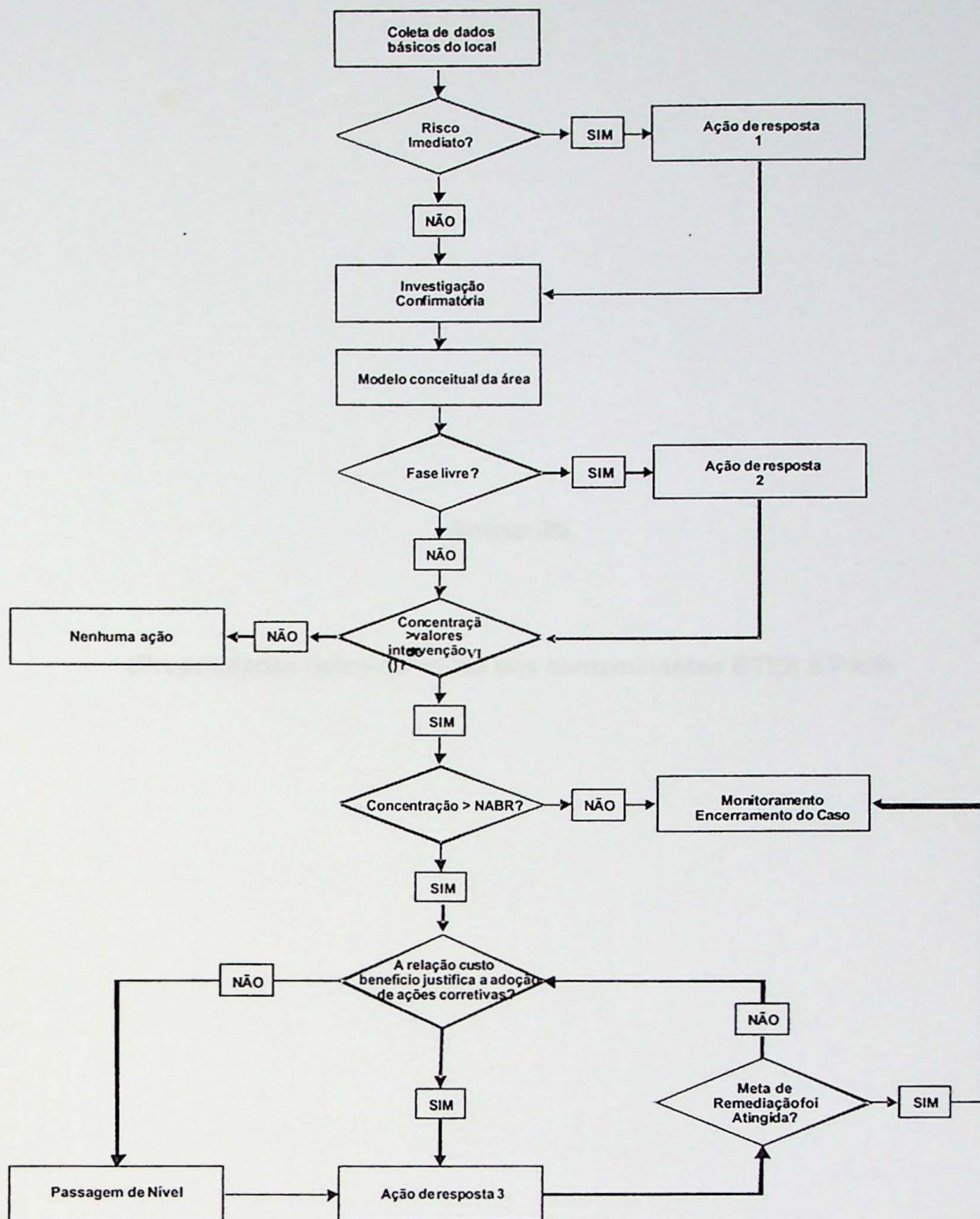
Instalação dos poços



Perfurações realizadas PM-8.

Anexo 2a

(Fluxograma geral das etapas da metodologia ACBR adotada pela CETESB).



Anexo 2b

(Propriedades físico-químicas dos contaminantes BTEX e PAH)

Principais propriedades físico-químicas dos compostos BTEX e HPA.

Hidrocarbonetos	Fórmula	PE (°C)	Massa Molecular (g.mol ⁻¹)	Densidade relativa	Solubilidade em água (25°C) (mg.L ⁻¹)	Pressão de Vapor (atm)	Constante da Lei de Henry (adimensional)	Log Kow (25°C)	Koc
Benzeno	C ₆ H ₆	80,1	78,1	0,877	1780,0	1,25×10 ⁻¹	2,25×10 ⁻¹	2,13	8,12×10 ⁺¹
Tolueno	C ₇ H ₈	110,6	92,1	0,867	515,0	3,75×10 ⁻²	2,74×10 ⁻¹	2,69	2,34×10 ⁺²
Etilbenzeno	C ₈ H ₁₀	136,2	106,2	0,867	152,0	1,25×10 ⁻²	3,58×10 ⁻¹	3,13	5,37×10 ⁺²
p-Xileno	C ₈ H ₁₀	138,0	106,2	0,861	215,0	1,15×10 ⁻²	2,33×10 ⁻¹	3,18	5,90×10 ⁺²
m-Xileno	C ₈ H ₁₀	139,0	106,2	0,884	160,0	1,09×10 ⁻²	2,95×10 ⁻¹	3,20	6,12×10 ⁺²
o-Xileno	C ₈ H ₁₀	144,0	106,2	0,880	220,0	1,15×10 ⁻²	2,28×10 ⁻¹	3,15	5,57×10 ⁺²
Naftaleno	C ₁₀ H ₈	218,0	128,2	1,030	31,0	3,63×10 ⁻⁴	1,74×10 ⁻²	3,37	8,44×10 ⁺²
Acenafileno	C ₁₂ H ₈	270,0	152,2	0,890	16,1	4,09×10 ⁻⁵	3,39×10 ⁻³	4,00	2,77×10 ⁺³
Acenafteno	C ₁₂ H ₁₀	277,5	154,2	1,190	3,8	1,50×10 ⁻⁵	4,91×10 ⁻³	3,92	2,38×10 ⁺³
Fluoreno	C ₁₃ H ₁₀	295,0	166,2	1,202	1,9	7,06×10 ⁻⁶	3,19×10 ⁻³	4,18	3,90×10 ⁺³
Fenantreno	C ₁₄ H ₁₀	339,0	178,2	1,030	1,1	1,12×10 ⁻⁶	1,31×10 ⁻³	4,57	8,14×10 ⁺³
Antraceno	C ₁₄ H ₁₀	340,0	178,2	1,283	4,5×10 ⁻²	7,68×10 ⁻⁷	1,60×10 ⁻³	4,54	7,69×10 ⁺³
Fluoranteno	C ₁₆ H ₁₀	375,0	202,3	1,252	2,6×10 ⁻¹	8,61×10 ⁻⁸	4,17×10 ⁻⁴	5,22	2,78×10 ⁺⁴
Pireno	C ₁₆ H ₁₀	360,0	202,3	1,271	1,3×10 ⁻¹	1,17×10 ⁻⁷	3,71×10 ⁻⁴	5,18	2,57×10 ⁺⁴
Benzo(a)antraceno	C ₁₈ H ₁₂	435,0	228,3	1,254	1,1×10 ⁻²	5,98×10 ⁻⁹	2,34×10 ⁻⁴	5,91	1,02×10 ⁺⁵
Criseno	C ₁₈ H ₁₂	448,0	228,3	1,274	1,5×10 ⁻³	1,06×10 ⁻⁹	1,80×10 ⁻⁴	5,79	8,14×10 ⁺⁴
Benzo(b)fluoranteno	C ₂₀ H ₁₂	481,0	252,3	-	1,5×10 ⁻³	6,67×10 ⁻⁸	-	5,80	8,30×10 ⁺⁴
Benzo(k)fluoranteno	C ₂₀ H ₁₂	481,0	252,3	-	8,0×10 ⁻⁴	4,07×10 ⁻¹¹	6,46×10 ⁻⁶	6,00	1,21×10 ⁺⁵
Benzo(a)pireno	C ₂₀ H ₁₂	495,0	252,3	-	3,8×10 ⁻³	2,10×10 ⁻¹⁰	1,86×10 ⁻⁵	6,04	1,31×10 ⁺⁵
Indeno(1,2,3-cd)pireno	C ₂₂ H ₁₂	536,0	276,3	-	6,2×10 ⁻²	1,00×10 ⁻⁹	2,07×10 ⁻¹¹	7,00	8,00×10 ⁺⁵
Benzo(ghi)perileno	C ₂₂ H ₁₂	525,0	268,4	-	3,0×10 ⁻⁴	2,22×10 ⁻¹⁰	3,03×10 ⁻⁵	6,50	3,11×10 ⁺⁵
Dibenzo(ah)antraceno	C ₂₂ H ₁₄	524,0	278,4	1,280	5,0×10 ⁻⁴	1,33×10 ⁻⁸	3,07×10 ⁻⁶	6,75	4,99×10 ⁺⁵

Nota: PE: Ponto de ebulição.

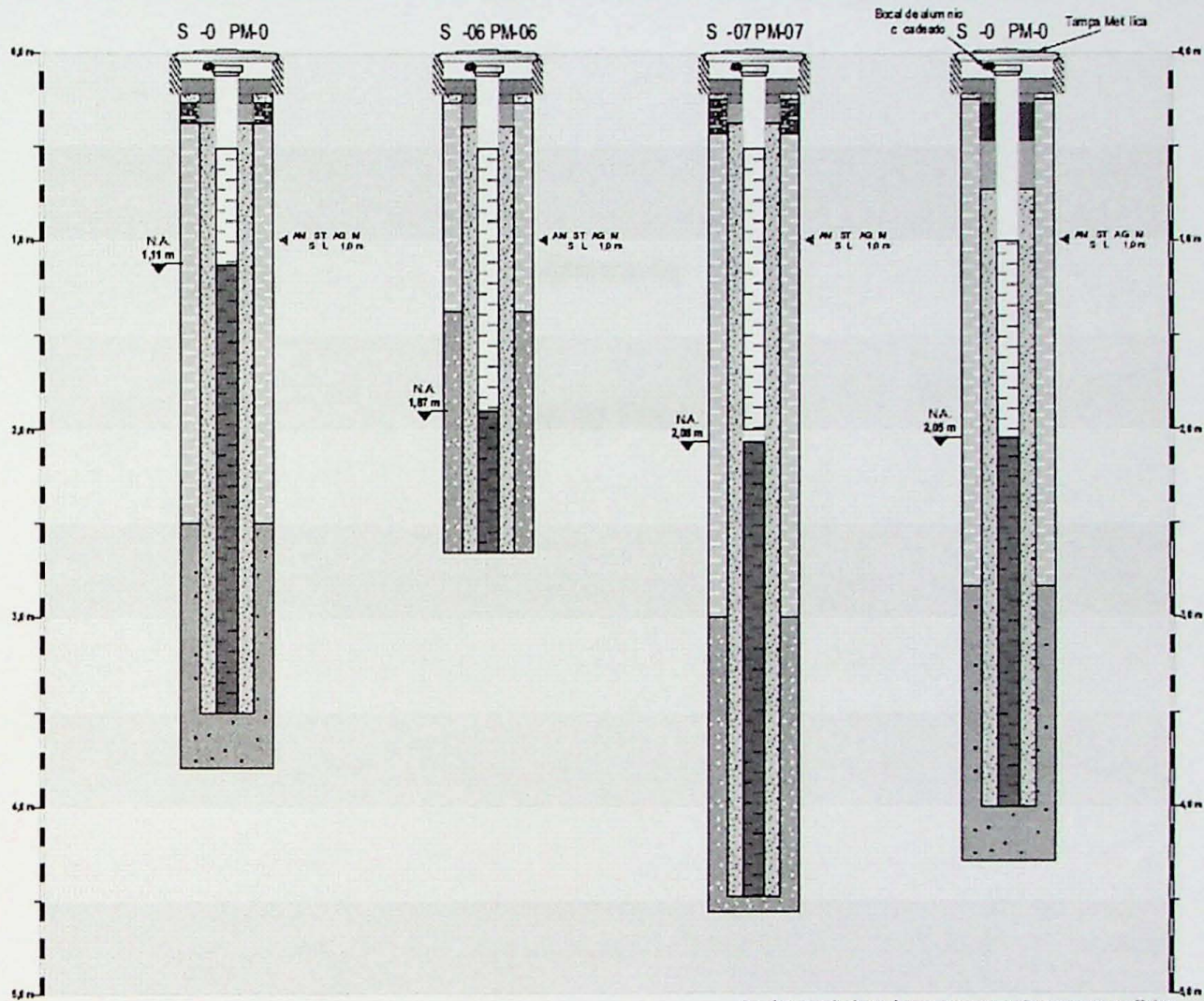
FONTE: TPHCWG, 1997.

ANEXO 3

(Perfis litológicos/construtivos dos poços)

Perfis litológicos e litológico-construtivos.

SD-05PM-05		SD-06/PM-06		SD-07/PM-07		SD-08/PM-08	
Início 1 01 2007	Termino 1 01 2007	Início 1 01 2007	Termino 1 01 2007	Início 1 01 2007	Termino 1 01 2007	Início 16 01 2007	Termino 16 01 2007
Pro unidade , 0m	A.S. 1,00m	Pro unidade 2,60m	A.S. 1,00m	Pro unidade 4, 0m	A.S. 1,00m	Pro unidade 4,00m	A.S. 1,00m
.A. 1,11m		.A. 1, 7m		.A. 2,0 m		.A. 2,0 m	



bs. A seção de sondagens não representa uma seção geológica

Legenda costruttivo

-  Selo sanitário em concreto
-  Solo reposto
-  Selo em bentonita
-  Pré-filtro de areia
-  Filtro não saturado
-  Filtro saturado

Legenda Litologia

-  Areia arenosa, fina, pouco consistente, vermelha
 Areia compacta, cinza clara
 Areia, fina a média, compacta, cinza
 Areia granulométrica, fina a média, compacta, cinza, com seios de quartzo
 concreto

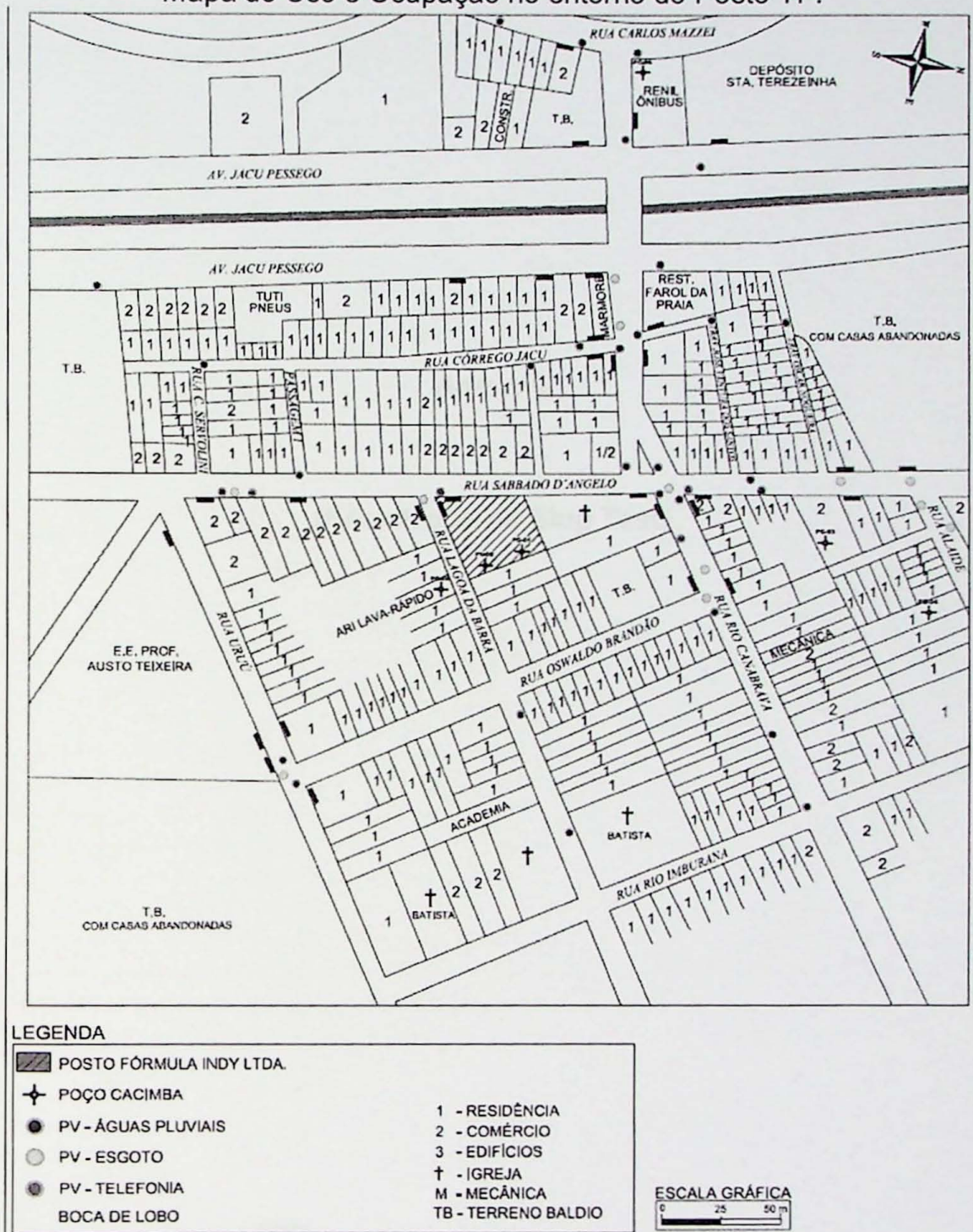
(Planta do Posto TF)

Mapa de localização do ponto de coleta de amostras de água e óleo no bairro de São José, Rio de Janeiro. O mapa mostra a Rua José Vieira Aguiar dos Santos, a Rua Manoel Damasceno e a Rua Manoel de Barros. Várias residências e estabelecimentos comerciais são identificados, incluindo a loja de bicicletas, a loja de tapetes e a loja de roupas. O ponto de coleta de amostras de água e óleo é marcado com um símbolo de cruz e rotulado como PM-01. Outros pontos de coleta são rotulados como PM-02, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-07 e PM-08. O mapa também indica a localização de pontos de venda de água e óleo, pontos de venda de gás, pontos de venda de gás e pontos de venda de gás. A escala do mapa é de 1:10.000.

Observação: Poço Caçimba 1 (PC-1) é o situado mais ao norte. E o Poço Cacimba 2 (PC-2) é o mais a sul

(Uso e ocupação no entorno do empreendimento)

Mapa de Uso e Ocupação no entorno do Posto TF.



Standard Hydrogen Electrode

100.00000000000000

Standard Hydrogen Electrode

Standard Hydrogen Electrode

Standard Hydrogen Electrode

Standard Hydrogen Electrode

Standard Hydrogen Electrode

Standard Hydrogen Electrode

Standard Hydrogen Electrode

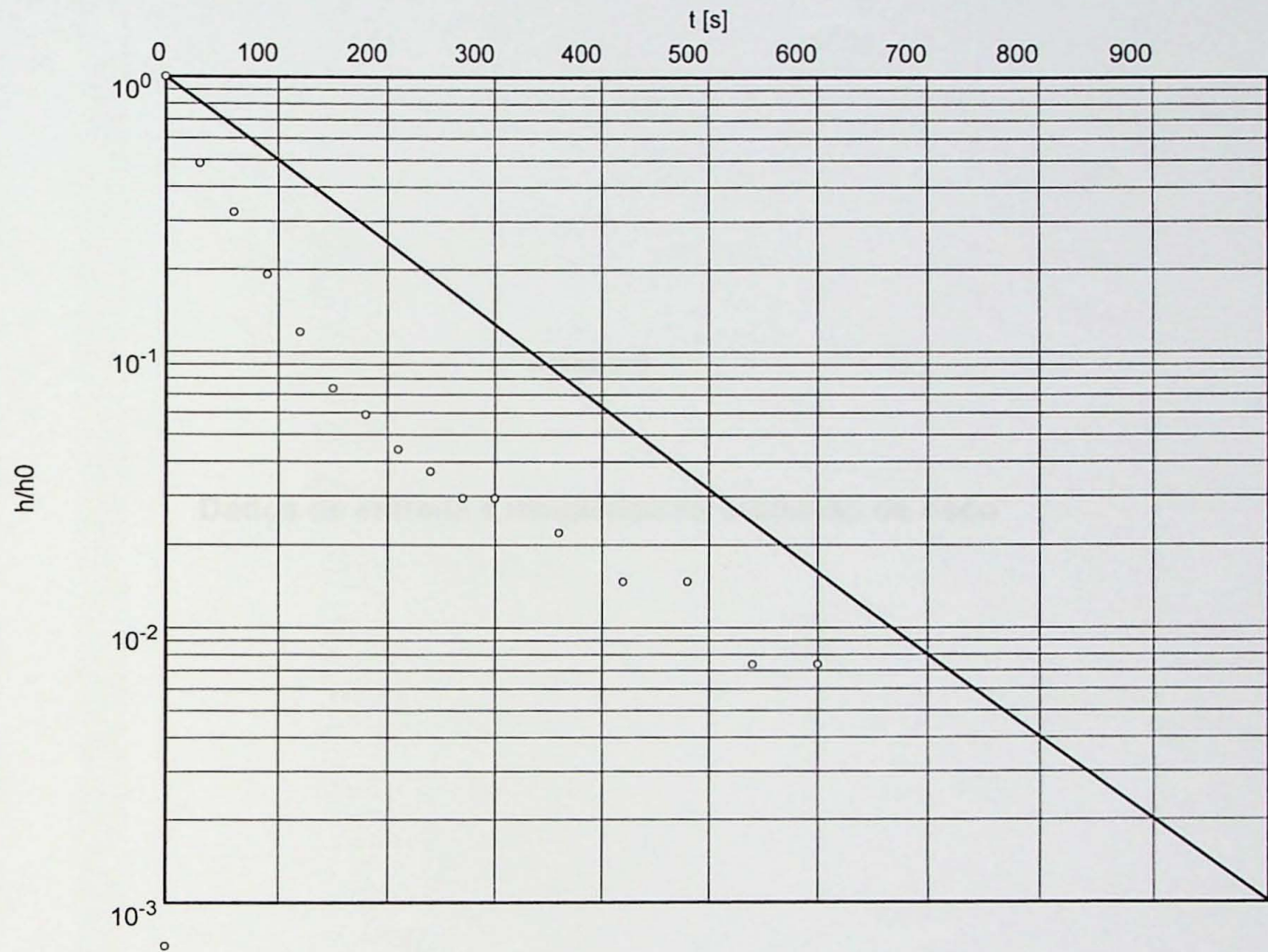
Anexo 5

(Resultados do Slug Test)

[illegible]

Slug Test No.

Test conducted on:


 Hydraulic conductivity [m/s]: $3,63 \times 10^{-6}$

Anexo 6 .

Dados de entrada e resultados na avaliação de risco

CHEMICAL DATA FOR SELECTED COCs

Physical Property Data

Constituent	CAS Number	type	Molecular Weight (g/mole)	Diffusion Coefficients		log (Koc) or log(Kd) (@ 20 - 25 C)	Henry's Law Constant (atm-m3/mol) (@ 20 - 25 C)	Vapor Pressure (mm Hg) (@ 20 - 25 C)	Solubility (mg/L) (@ 20 - 25 C)	acid pKa	base pKb
				in air (cm2/s)	in water (cm2/s)						
Benzene	71-43-2	A	78.1	PS	9,80E-06	PS	5,55E-03	9,52E-01	1,75E+03	PS	-
Toluene	108-88-3	A	92.4	5	8,50E-02	A	6,30E-03	3,00E+01	5,15E+02	29	-
Ethylbenzene	100-41-4	A	106.2	PS	7,50E-02	PS	7,88E-03	1,00E+01	1,69E+02	PS	-
Xylene (mixed isomers)	1330-20-7	A	106.2	5	7,20E-02	A	7,03E-03	7,00E+00	1,98E+02	5	-
Naphthalene	91-20-3	PAH	128.2	PS	5,90E-02	PS	4,83E-04	2,30E-01	3,10E+01	PS	-
Acenaphthylene	208-96-8	PAH	152.21	4	4,39E-02	4	1,14E-04	8,51E-10	3,93E+00	29	-
Acenaphthene	83-32-9	PAH	154.21	4	4,21E-02	4	7,71E-03	5,00E-03	3,93E+00	29	-
Fluorene	86-73-7	PAH	166	4	3,63E-02	4	1,17E-04	1,70E-02	1,69E+00	5	-
Phenanthrene	85-01-8	PAH	178.22	4	3,33E-02	4	6,05E-03	2,10E-04	1,60E+00	5	-
Anthracene	120-12-7	PAH	178.23	4	3,24E-02	4	6,75E-02	1,30E-06	4,50E-02	5	-
Fluoranthene	206-44-0	PAH	202	4	3,02E-02	4	6,70E-02	1,77E-02	2,06E-01	5	-
Pyrene	129-00-0	PAH	202.3	4	2,72E-02	4	7,00E-09	4,20E-08	1,60E-01	5	-
Benzo(a)Anthracene	56-55-3	PAH	228.3	4	5,10E-02	4	1,38E-08	1,50E-07	5,70E-03	5	-
Chrysene	218-01-9	PAH	228.2	4	2,48E-02	4	1,18E-08	5,76E-09	1,80E-03	5	-
Benzo(b)Fluoranthene	205-99-2	PAH	252	5	2,26E-02	6	2,01E-05	6,67E-07	1,47E-02	25	-
Benzo(k)Fluoranthene	207-08-9	PAH	252.32	4	2,26E-02	4	1,07E-08	9,59E-10	4,30E-03	4	-
Benzo(a)Pyrene	50-32-8	PAH	252.3	PS	4,30E-02	PS	1,13E-06	5,68E-04	1,62E-03	PS	-
Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	193-39-5	PAH	276.34	4	2,33E-02	4	5,07E-12	1,00E-09	6,20E-02	29	-
Dibenzo(a,h)Anthracene	53-70-3	PAH	278.35	4	2,00E-02	4	3,81E-07	5,20E-10	5,00E-04	4	-
Benzo(g,h,i)Perylene	191-24-2	PAH	276	5	4,90E-02	6	1,40E-07	1,00E-09	7,00E-04	5	-

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy

Completed By: Rodrigo A M

Job ID: Residentes

Site Location: Zona Leste do município de São Paulo

Date Completed: 17.07.2007

CHEMICAL DATA FOR SELECTED COCs														Toxicity Data	
Constituent	Reference Dose (mg/kg/day)			Reference Conc. (mg/m ³)			Slope Factors 1/(mg/kg/day)			Unit Risk Factor 1/(µg/m ³)			EPA Weight of Evidence	Is Constituent Carcinogenic ?	
	Oral RID_oral	ref	dermal RID_dermal	Inhalation RIC_inhal	ref	Oral SF_oral	ref	dermal SF_dermal	ref	Inhalation URF_inhal	ref				
Benzene	3,00E-03	R	-	5,95E-03	R	-	2,90E-02	PS	2,99E-02	PS	8,29E-06	PS	A	VERDADEIRO	
Toluene	2,00E-01	A,R	1,60E-01	4,00E-01	A,R	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Ethylbenzene	1,00E-01	PS	9,70E-02	1,00E+00	PS	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Xylene (mixed isomers)	2,00E+00	A,R	1,84E+00	7,00E+00	A	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Naphthalene	4,00E-01	PS	3,56E-01	1,40E+00	PS	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Acenaphthylene	4,00E-03	31	3,56E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Acenaphthene	6,00E-02	R	5,34E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	FALSO	
Fluorene	4,00E-02	A,R	3,56E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Phenanthrene	3,00E-02	31	2,67E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Anthracene	3,00E-01	A	2,67E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Fluoranthene	4,00E-02	A,R	3,56E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Pyrene	3,00E-02	R	2,67E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	
Benzo(a)Anthracene	-	-	-	1,00E+00	31	-	7,30E-01	R	8,20E-01	R	8,80E-05	31	B2	VERDADEIRO	
Chrysene	-	-	-	9,00E-07	31	-	1,15E+00	A	1,29E+00	A	3,29E-04	A	B2	VERDADEIRO	
Benzo(b)Fluoranthene	-	-	-	1,00E+00	31	-	7,30E-01	R	8,20E-01	R	8,80E-05	31	B2	VERDADEIRO	
Benzo(k)Fluoranthene	-	-	-	1,00E-01	31	-	7,30E-02	R	8,20E-02	R	8,80E-06	31	B2	VERDADEIRO	
Benzo(a)Pyrene	-	-	-	1,10E+01	31	-	7,30E+00	PS	8,20E+00	PS	2,09E-03	PS	B2	VERDADEIRO	
Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	-	-	-	1,10E+00	31	-	7,30E-01	R	8,20E-01	R	8,80E-05	31	B2	VERDADEIRO	
Dibenzo(a,h)Anthracene	-	-	-	4,00E-01	31	-	7,30E+00	R	8,20E+00	R	-	-	B2	VERDADEIRO	
Benzo(g,h,i)Perylene	3,00E-02	31	2,67E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	FALSO	

Site Name: Posto de serviços Fc
Site Location: Zona Leslie do

Miscellaneous Chemical Data

Constituent	Maximum Contaminant Level		Time-Weighted Average Workplace Criteria		Aquatic Life		Bioconcentration Factor
	MCL (mg/L)	ref	TWA (mg/m3)	ref	ProL Criteria	ref	
Benzene	5.00E-03	52 FR 25690	3.25E+00	PS	-	-	12.6
Toluene	1.00E+00	56 FR 3526 (30 Jan 91)	1.47E+02	ACGIH	-	-	70
Ethylbenzene	7.00E-01	56 FR 3526 (30 Jan 91)	4.35E+02	PS	-	-	1
Xylene (mixed isomers)	1.00E+01	56 FR 3526 (30 Jan 91)	4.34E+02	ACGIH	-	-	1
Naphthalene	-	-	5.00E+01	PS	-	-	430
Acenaphthylene	-	-	-	-	-	-	1
Acenaphthene	-	-	-	-	-	-	384
Fluorene	-	-	-	-	-	-	1300
Phenanthrene	-	-	-	-	-	-	2630
Anthracene	-	-	-	-	-	-	917
Fluoranthene	-	-	-	-	-	-	1
Pyrene	-	-	-	-	-	-	2700
Benzo(a)Anthracene	-	-	-	ACGIH	-	-	10100
Chrysene	2.00E-04	A	-	-	-	-	1
Benzo(b)Fluoranthene	-	-	-	ACGIH	-	-	1
Benzo(k)Fluoranthene	-	-	-	-	-	-	1
Benzo(a)Pyrene	2.00E-04	57 31776 (17 Jul 92)	2.00E-01	PS	-	-	1
Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	-	-	-	-	-	-	1
Dibenzo(a,h)Anthracene	-	-	-	-	-	-	1
Benzo(g,h,i)Perylene	-	-	-	-	-	-	1

Site Name: Posto de serviços Fc

Site Location: Zona Leste do

Miscellaneous Chemical Data

CHEMICAL DATA FOR SELECTED COCs

Constituent	Water Dermal Permeability Data										Detection Limits				Half Life	
	Dermal Relative Absorp. Factor (unitless)	Dermal Permeability Coeff. (cm/hr)	Lag time for		Critical Exposure Time (hr)	Relative Contr of Derm Perm Coeff (unitless)	Water/Skin Derm Adorp Factor (cm/event)	Groundwater (mg/L)	Soil (mg/kg)	ref	Saturated	Unsaturated	ref	Saturated	Unsaturated	ref
			Dermal Exposure (hr)	Time (hr)												
Benzene	0.5	0.021	0.26	0.63	0.013	0.054	3.2E-2	0.002	0.005	S	720	720	ref	720	720	H
Toluene	0.5	0.045	0.32	0.77	0.054	0.054	7.4E-2	0.002	0.005	S	28	28	S	28	28	H
Ethylbenzene	0.5	0.074	0.39	1.3	0.14	0.14	1.3E-1	0.002	0.005	S	228	228	S	228	228	H
Xylene (mixed isomers)	0.5	0.08	0.39	1.4	0.16	0.16	1.4E-1	0.005	0.005	S	360	360	S	360	360	H
Naphthalene	0.05	0.069	0.53	2.2	0.2	0.2	1.4E-1	0.01	0.01	32	258	258	32	258	258	H
Acenaphthylene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	120	120	32	120	120	H
Acenaphthene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	204	204	32	204	204	H
Fluorene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	120	120	32	120	120	H
Phenanthrene	0.05	0.23	1.1	5.6	2.9	2.9	6.7E-1	0.01	0.01	32	400	400	32	400	400	H
Anthracene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	920	920	32	920	920	H
Fluoranthene	0.05	0.36	1.5	7.3	8.9	8.9	1.2E+0	0.01	0.01	32	880	880	32	880	880	H
Pyrene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	3800	3800	32	3800	3800	H
Benzo(a)Anthracene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	1360	1360	32	1360	1360	H
Chrysene	0.05	0.81	2.2	10	46	46	3.3E+0	0.01	0.01	S	2000	2000	S	2000	2000	H
Benzo(b)Fluoranthene	0.05	0.81	2.2	10	46	46	3.3E+0	0.01	0.01	32	1220	1220	32	1220	1220	H
Benzo(k)Fluoranthene	0.05	1.2	3	14	130	130	5.7E+0	0.01	0.01	32	4280	4280	32	4280	4280	H
Benzo(a)Pyrene	0.05	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	32	1060	1060	32	1060	1060	H
Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	0.05	1.9	4.2	20	360	360	1.1E+1	0.01	0.01	32	1460	1460	32	1460	1460	H
Dibenzo(a,h)Anthracene	0.05	2.7	4.4	21	690	690	1.6E+1	0.01	0.01	32	1880	1880	32	1880	1880	H
Benzo(g,h,i)Perylene	0.05	1.2	2.9	14	130	130	5.6E+0	0.01	0.01	32	1300	1300	32	1300	1300	H

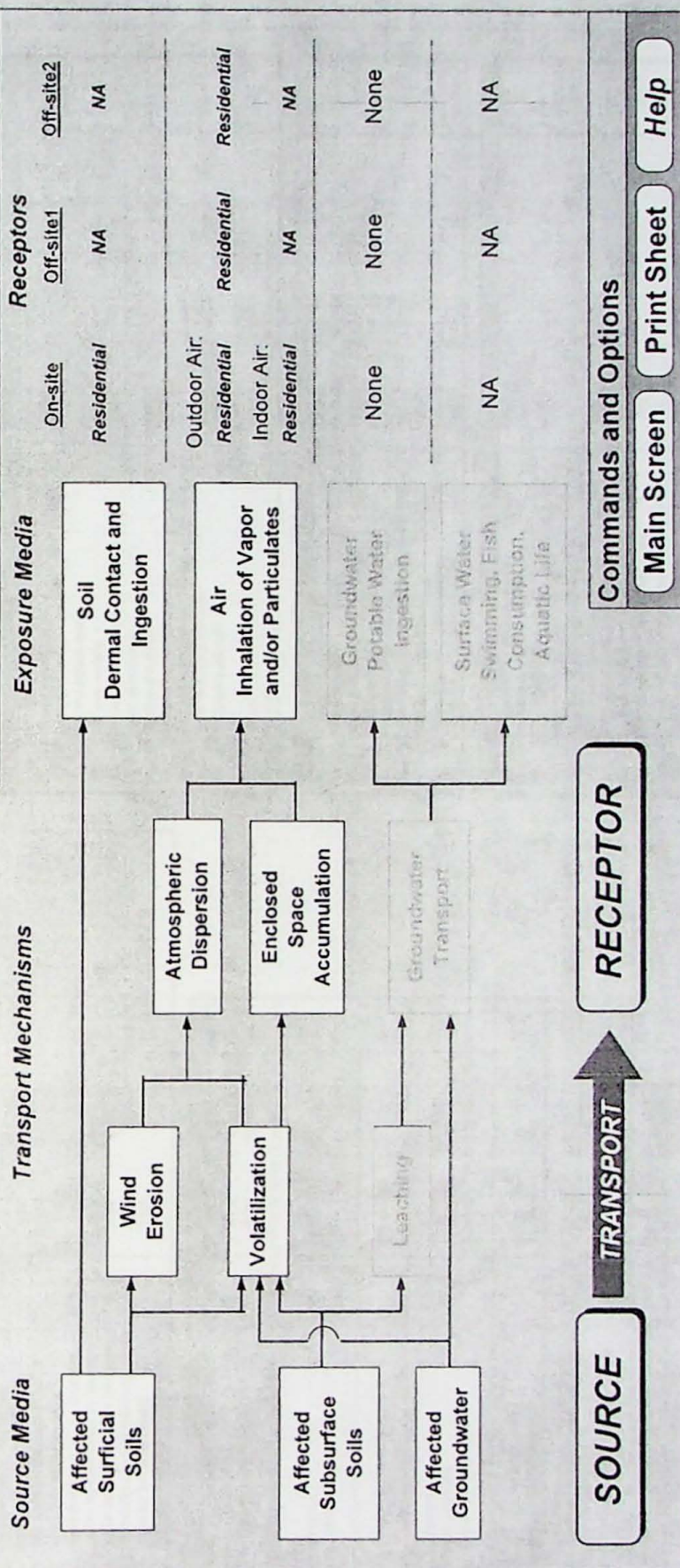
Site Name: Poslo de serviços F

Site Location: Zona Leslie do

Exposure Pathway Flowchart

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy
 Location: Zona Leste do município de São Paulo
 Compl. By: Rodrigo A M

Job ID: Residentes
 Date: 17.07.2007



Job ID: Residentes

1 OF 1

Surface Parameters		General	Construction	[units]
A	Source zone area	1.0E-2	NA	(m ²)
W	Length of source-zone area parallel to wind	1.0E-1	NA	(m)
$W_{\parallel}$	Length of source-zone area parallel to GW flow	NA		(m)
$U_{\parallel}$	Ambient air velocity in mixing zone	2.3E-0		(m/s)
δ_{air}	Air mixing zone height	2.0E+0		(m)
P_{a}	Areal particulate emission rate	6.9E-14		(g cm ⁻² s)
δ_{a}	Thickness of affected surface soils	5.0E-1		(m)

Surface Soil Column Parameters	Value	Units
Capillary zone thickness	5.0E-2	(m)
Vadose zone thickness	1.1E+0	(m)
Soil bulk density	1.6E+0	(g/cm ³)
Fraction organic carbon	5.8E-3	(-)
θ_r	4.4E-1	(-)
Soil total porosity	4.4E-1	(-)
Vertical hydraulic conductivity	3.6E-5	(cm/s)
K_{sat}	1.0E-12	(m ² /s)
Vapor permeability	1.1E+0	(m)
Depth to groundwater	1.5E-1	(m)
Depth to top of affected soils	1.1E+0	(m)
Depth to base of affected soils	1.1E+0	(m)
Thickness of affected soils	9.2E-1	(m)
pH	6.9E+0	(-)
Soil/groundwater pH	6.9E+0	(-)
	<u>capillary</u>	
	<u>vadose</u>	
Volumetric water content	0.149	(-)
Volumetric air content	0.286	(-)
θ_a	0.0435	(-)

Building Parameters		Residential	Commercial	(Units)
L_v	Building volume/area ratio	2.00E+0	NA	(m)
L_a	Foundation area	7.00E+1	NA	(m ²)
X_n	Foundation perimeter	3.40E+1	NA	(m)
ER	Building air exchange rate	1.40E-4	NA	(1/s)
L_{eq}	Foundation thickness	1.50E-1	NA	(m)
Z_n	Depth to bottom of foundation slab	1.50E-1	NA	(m)
η	Foundation crack fraction	1.00E-2	NA	(-)
Δp	Indoor/outdoor differential pressure	0.00E+0	NA	(g/cm ²)
Q_a	Convective air flow through slab	0.00E+0	NA	(m ³ /s)

Groundwater Parameters	Value	Units
Groundwater mixing zone depth	NA	(m)
$\bar{t}_w$	NA	(yr)
Net groundwater infiltration rate	NA	(cm/s)
U_w	NA	(cm/s)
Groundwater Darcy velocity	NA	(cm/s)
V_w	NA	(cm/s)
Groundwater seepage velocity	NA	(cm/s)
K_s	NA	(cm/s)
Saturated hydraulic conductivity	NA	(cm/s)
i	NA	(-)
Groundwater gradient	NA	(-)
S_w	NA	(m)
Width of groundwater source zone	NA	(m)
S_s	NA	(m)
Depth of groundwater source zone	NA	(m)
θ	NA	(-)
Effective porosity in water-bearing unit	NA	(-)
f_{org}	NA	(-)
Fraction organic carbon in water-bearing unit	NA	(-)
pH_{gw}	NA	(-)
Groundwater pH	NA	(-)
Biodegradation considered?	NA	(-)

Transport Parameters		Off-salt 1	Off-salt 2	Off-salt 1	Off-salt 2	(Units)
Lateral Groundwater Transport						
α_L	Longitudinal dispersivity	NA	NA	NA	NA	(m)
α_T	Transverse dispersivity	NA	NA	NA	NA	(m)
α_V	Vertical dispersivity	NA	NA	NA	NA	(m)
Lateral Outdoor Air Transport						
σ_L	Transverse dispersion coefficient	Soil to Outdoor Air inhale	Soil to Outdoor Air inhale	Soil to Outdoor Air inhale	Soil to Outdoor Air inhale	(m)
σ_T	Vertical dispersion coefficient	1.2E+0	8.5E+0	1.3E+0	8.5E+0	(m)
σ_V	Vertical dispersion coefficient	8.3E-1	5.7E+0	8.3E-1	5.7E+0	(m)
ADF	Air dispersion factor	1.0E+0	8.5E+0	1.0E+0	3.4E+0	(-)

Surface Water Parameters		Off-site 2	Units
Q_{sw}	Surface water flowrate	NA	(m ³ /s)
W_p	Width of GW plume at SW discharge	NA	(m)
δ_p	Thickness of GW plume at SW discharge	NA	(m)
DF_{sw}	Groundwater-to-surface water dilution factor	NA	(-)

Receptor Distance from Source Media	On-site	Off-site 1	Off-site 2	(units)
Groundwater receptor	NA	NA	NA	(m)
Soil leaching to groundwater receptor	NA	NA	NA	(m)
Outdoor air inhalation receptor	0	10	80	(m)

Target Health Risk Values		Individual	Cumulative
TR _{AS}	Target Risk (class A&B carcinogens)	1.0E-5	1.0E-5
TR _C	Target Risk (class C carcinogens)	1.0E-5	
TH _Q	Target Hazard Quotient (non-carcinogenic risk)	1.0E-0	1.0E+0

Modeling Options	
RBCA tier	Tier 2
Outdoor air volatilization model	Surface & subsurface models
Indoor air volatilization model	Johnson & Ettlinger model
Soil leaching model	NA
Use soil attenuation model (SAM) for leachate?	NA
Air dilution factor	3-D Gaussian dispersion
Groundwater dilution-attenuation factor	NA

NOTE: NA = Not applicable

RBCA SITE ASSESSMENT**Baseline Risk Summary-All Pathways**

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy

Completed By: Rodrigo A M

Site Location: Zona Leste do município de São Paulo

Date Completed: 17.07.2007

1 of 1

TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE

BASELINE CARCINOGENIC RISK										BASELINE TOXIC EFFECTS				
EXPOSURE PATHWAY	Individual COC Risk		Cumulative COC Risk		Risk Limit(s) Exceeded?	Hazard Quotient		Hazard Index		Toxicity Limit(s) Exceeded?				
	Maximum Value	Target Risk	Total Value	Target Risk		Maximum Value	Applicable Limit	Total Value	Applicable Limit					
OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS														
Complete:	1,1E-6	1,0E-5	1,1E-6	1,0E-5	☐	4,2E-2	1,0E+0	4,3E-2	1,0E+0	☐				
INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS														
Complete:	3,5E-4	1,0E-5	3,5E-4	1,0E-5	☒	1,4E+1	1,0E+0	1,4E+1	1,0E+0	☒				
SOIL EXPOSURE PATHWAYS														
Complete:	1,4E-8	1,0E-5	3,8E-8	1,0E-5	☐	2,2E-4	1,0E+0	2,6E-4	1,0E+0	☐				
GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS														
Complete:	NA	NA	NA	NA	☐	NA	NA	NA	NA	☐				
SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS														
Complete:	NA	NA	NA	NA	☐	NA	NA	NA	NA	☐				
CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways)														
	3,5E-4	1,0E-5	3,5E-4	1,0E-5	☒	1,4E+1	1,0E+0	1,4E+1	1,0E+0	☒				
	Indoor Air		Indoor Air			Indoor Air		Indoor Air						

RBCA SITE ASSESSMENT

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy
Site Location: Zona Leste do município de São Paulo

Completed By: Rodrigo A M
Date Completed: 17.07.2007

Job ID: Residentes

1 OF 1

SOIL (0,2 - 1,1 m) SSTL VALUES

Groundwater DAF Option:

Target Risk (Class A & B) 1,0E-5
Target Risk (Class C) 1,0E-5
Target Hazard Quotient 1,0E+0

SSTL Results For Complete Exposure Pathways ("X" = Complete)																		
CONSTITUENTS OF CONCERN		Representative Concentration (mg/kg)	Soil Leaching to Groundwater Ingestion / Discharge to Surface Water		Soil Vol. to Indoor Air		Soil Volatilization and Surface Soil Particulates to Outdoor Air				Surface Soil Inhalation, Ingestion, Dermal Contact		Applicable SSTL (mg/kg)	SSTL Exceeded ?	Required CRF Only if "yes" left			
			On-site (0 m)	Off-site 1 (0 m)	Off-site 2 (0 m)	On-site (0 m)	Residential	On-site (0 m)	Construction Worker	Residential	Off-site 1 (10 m)	Off-site 2 (80 m)				X	Residential	On-site (0 m)
CAS No.	Name		None	None	None	On-site (0 m)	Residential	Residential	Construction Worker	Residential	Off-site 1 (10 m)	Off-site 2 (80 m)	Residential	On-site (0 m)	Construction Worker		"X" if yes	
71-43-2	Benzene	1.0E-3	NA	NA	NA	5.3E-1	5.3E-1	>838E+0	NA	>838E+0	>838E+0	>838E+0	>838E+0	1.7E+1	NA	5.3E-1	☐	<1
108-88-3	Toluene	9.2E-1	NA	NA	NA	9.0E+1	9.0E+1	>477E+0	NA	>477E+0	>477E+0	>477E+0	>477E+0	4.2E+3	NA	9.0E+1	☐	<1
100-41-4	Ethylbenzene	7.6E-3	NA	NA	NA	2.3E+2	2.3E+2	>382E+0	NA	>382E+0	>382E+0	>382E+0	>382E+0	2.5E+3	NA	2.3E+2	☐	<1
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)	4.5E-2	NA	NA	NA	>305E+0	>305E+0	>305E+0	NA	>305E+0	>305E+0	>305E+0	>305E+0	4.8E+4	NA	4.8E+4	☐	<1
91-20-3	Naphthalene	5.8E-1	NA	NA	NA	>362E+0	>362E+0	>362E+0	NA	>362E+0	>362E+0	>362E+0	>362E+0	6.6E+4	NA	6.6E+4	☐	<1
208-96-8	Acenaphthylene	8.0E-4	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
83-32-9	Acenaphthene	4.0E-4	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
86-73-7	Fluorene	4.0E-4	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
85-01-8	Phenanthrene	3.7E-2	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
120-12-7	Anthracene	4.0E-3	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
206-44-0	Fluoranthene	4.5E-3	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
129-00-0	Pyrene	8.7E-3	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	4.0E-3	NA	NA	NA	>46E+0	>46E+0	>46E+0	NA	>46E+0	>46E+0	>46E+0	>46E+0	4.6E+0	NA	4.6E+0	☐	<1
218-01-9	Chrysene	4.0E-3	NA	NA	NA	>02E+0	>02E+0	>02E+0	NA	>02E+0	>02E+0	>02E+0	>02E+0	2.9E+0	NA	2.9E+0	☐	<1
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	2.0E-4	NA	NA	NA	>47E+0	>47E+0	>47E+0	NA	>47E+0	>47E+0	>47E+0	>47E+0	4.6E+0	NA	4.6E+0	☐	<1
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	4.0E-4	NA	NA	NA	>14E+0	>14E+0	>14E+0	NA	>14E+0	>14E+0	>14E+0	>14E+0	4.6E+1	NA	4.6E+1	☐	<1
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	2.0E-4	NA	NA	NA	>10E+0	>10E+0	>10E+0	NA	>10E+0	>10E+0	>10E+0	>10E+0	4.6E-1	NA	4.6E-1	☐	<1
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	2.0E-4	NA	NA	NA	>01E+4	>01E+4	>01E+4	NA	>01E+4	>01E+4	>01E+4	>01E+4	4.6E+0	NA	4.6E+0	☐	<1
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene	4.4E-4	NA	NA	NA	>02E+0	>02E+0	>02E+0	NA	>02E+0	>02E+0	>02E+0	>02E+0	NC	NA	>02E+0	☐	NA
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene	4.0E-4	NA	NA	NA	NC	NC	NC	NA	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	☐	NA

S indicates risk-based target concentration greater than constituent residual saturation value. NA = Not applicable. NC = Not calculated.

RBCA SITE ASSESSMENT

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy
 Site Location: Zona Leste do município de São Paulo

Completed By: Rodrigo A M
 Date Completed: 17.07.2007

Job ID: Residentes

1 OF 1

GROUNDWATER SSTL VALUES

Groundwater DAF Option:

Target Risk (Class A & B) 1,0E-5
 Target Risk (Class C) 1,0E-5
 Target Hazard Quotient 1,0E+0

SSTL Results For Complete Exposure Pathways ("X" if Complete)

CAS No.	Name	Representative Concentration (mg/L)	Groundwater Ingestion / Discharge to Surface Water						Groundwater Volatilization to Outdoor Air				Applicable SSTL (mg/L)	SSTL Exceeded ?	Required CRF
			On-site (0 m)	Off-site 1 (0 m)	Off-site 2 (0 m)	X	On-site (0 m)	On-site (0 m)	On-site (0 m)	Off-site 1 (10 m)	Off-site 2 (80 m)	X			
71-43-2	Benzene	4,6E+0	NA	NA	NA		1,3E-1	4,4E+1	4,4E+1	4,4E+1	1,5E+2		1,3E-1	☒	3,5E+1
108-88-3	Toluene	7,9E+0	NA	NA	NA		2,1E+1	>515E+0	>515E+0	>515E+0	>515E+0		2,1E+1	☐	<1
100-41-4	Ethylbenzene	1,5E+0	NA	NA	NA		5,0E+1	>169E+0	>169E+0	>169E+0	>169E+0		5,0E+1	☐	<1
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)	7,4E+0	NA	NA	NA		>198E+0	>198E+0	>198E+0	>198E+0	>198E+0		>198E+0	☐	NA
91-20-3	Naphthalene	6,0E-2	NA	NA	NA		>31E+0	>31E+0	>31E+0	>31E+0	>31E+0		>31E+0	☐	NA
208-96-8	Acenaphthylene	3,0E-6	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
83-32-9	Acenaphthene	2,6E-5	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
86-73-7	Fluorene	1,7E-5	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
85-01-8	Phenanthrene	2,5E-5	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
120-12-7	Anthracene	1,0E-5	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
206-44-0	Fluoranthene	1,0E-5	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
129-00-0	Pyrene	1,0E-5	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	1,0E-5	NA	NA	NA		>57E-4	>57E-4	>57E-4	>57E-4	>57E-4		>57E-4	☐	NA
218-01-9	Chrysene	1,0E-5	NA	NA	NA		>18E-4	>18E-4	>18E-4	>18E-4	>18E-4		>18E-4	☐	NA
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	5,0E-7	NA	NA	NA		>147E-4	>147E-4	>147E-4	>147E-4	>147E-4		>147E-4	☐	NA
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	1,0E-6	NA	NA	NA		>43E-4	>43E-4	>43E-4	>43E-4	>43E-4		>43E-4	☐	NA
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	5,0E-7	NA	NA	NA		>16E-4	>16E-4	>16E-4	>16E-4	>16E-4		>16E-4	☐	NA
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	5,0E-7	NA	NA	NA		>620E-4	>620E-4	>620E-4	>620E-4	>620E-4		>620E-4	☐	NA
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene	1,0E-6	NA	NA	NA		>05E-4	>05E-4	>05E-4	>05E-4	>05E-4		>05E-4	☐	NA
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene	1,0E-6	NA	NA	NA		NC	NC	NC	NC	NC		NC	☐	NA

">" indicates risk-based target concentration greater than constituent solubility value. NA = Not applicable. NC = Not calculated.

RBCA SITE ASSESSMENT

Cumulative Risk Worksheet

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy Completed By: Rodrigo A M Job ID: Residentes
 Site Location: Zona Leste do município de São Paulo Date Completed: 17.07.2007 1 OF 3

CUMULATIVE RISK WORKSHEET

CONSTITUENTS OF CONCERN		Representative Concentration		Proposed CRF		Resultant Target Concentration	
CAS No.	Name	Soil (mg/kg)	Groundwater (mg/L)	Soil	GW	Soil (mg/kg)	Groundwater (mg/L)
71-43-2	Benzene	1.0E-3	4.6E+0			1.0E-3	4.6E+0
108-88-3	Toluene	9.2E-1	7.9E+0			9.2E-1	7.9E+0
100-41-4	Ethylbenzene	7.6E-3	1.5E+0			7.6E-3	1.5E+0
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)	4.5E-2	7.4E+0			4.5E-2	7.4E+0
91-20-3	Naphthalene	5.8E-1	6.0E-2			5.8E-1	6.0E-2
208-96-8	Acenaphthylene	8.0E-4	3.0E-6			8.0E-4	3.0E-6
83-32-9	Acenaphthene	4.0E-4	2.6E-5			4.0E-4	2.6E-5
86-73-7	Fluorene	4.0E-4	1.7E-5			4.0E-4	1.7E-5
85-01-8	Phenanthrene	3.7E-2	2.5E-5			3.7E-2	2.5E-5
120-12-7	Anthracene	4.0E-3	1.0E-5			4.0E-3	1.0E-5
206-44-0	Fluoranthene	4.5E-3	1.0E-5			4.5E-3	1.0E-5
129-00-0	Pyrene	8.7E-3	1.0E-5			8.7E-3	1.0E-5
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	4.0E-3	1.0E-5			4.0E-3	1.0E-5
218-01-9	Chrysene	4.0E-3	1.0E-5			4.0E-3	1.0E-5
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	2.0E-4	5.0E-7			2.0E-4	5.0E-7
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	4.0E-4	1.0E-6			4.0E-4	1.0E-6
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	2.0E-4	5.0E-7			2.0E-4	5.0E-7
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	2.0E-4	5.0E-7			2.0E-4	5.0E-7
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene	4.4E-4	1.0E-6			4.4E-4	1.0E-6
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene	4.0E-4	1.0E-6			4.0E-4	1.0E-6

Cumulative Values:

RBCA SITE ASSESSMENT

Cumulative Risk Worksheet

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy Completed By: Rodrigo A M Job ID: Residentes
 Site Location: Zona Leste do município de São Paulo Site Location: Zona Leste do município de São Paulo Date Completed: 17.07.2007 2 OF 3

Cumulative Target Risk: 1,000E-8 Target Hazard Index: 01E+0

CUMULATIVE RISK WORKSHEET

ON-SITE RECEPTORS

CONSTITUENTS OF CONCERN		Outdoor Air Exposure:			Indoor Air Exposure:			Soil Exposure:			Groundwater Exposure:	
		1,000E-8 / 1,000E-8	Carcinogenic Risk	Hazard Quotient	1,000E-8 / 1,000E-8	Carcinogenic Risk	Hazard Quotient	1,000E-8 / 1,000E-8	Carcinogenic Risk	Hazard Quotient	1,000E-8 / 1,000E-8	Hazard Quotient
71-43-2	Benzene	1,1E-6		4,2E-2	3,5E-4		1,4E+1	5,9E-10		1,3E-5		
108-88-3	Toluene			1,1E-3			3,9E-1			2,2E-4		
100-41-4	Ethylbenzene			8,4E-5			3,0E-2			3,0E-6		
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)			5,5E-5			1,9E-2			9,3E-7		
91-20-3	Naphthalene			2,2E-6			1,5E-4			8,3E-6		
208-96-8	Acenaphthylene									1,1E-6		
83-32-9	Acenaphthene									3,8E-8		
86-73-7	Fluorene									5,7E-8		
85-01-8	Phenanthrene									7,0E-6		
120-12-7	Anthracene									7,7E-8		
206-44-0	Fluoranthene									6,5E-7		
129-00-0	Pyrene									1,7E-6		
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	5,6E-13		1,2E-11	8,7E-13		1,9E-11	8,6E-9				
218-01-9	Chrysene	4,5E-12		2,9E-5	2,9E-12		1,9E-5	1,4E-8				
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	2,1E-13		4,5E-12	8,6E-13		1,9E-11	4,3E-10				
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	6,8E-15		1,5E-11	5,7E-15		1,3E-11	8,6E-11				
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	1,3E-12		1,1E-13	3,0E-12		2,6E-13	4,3E-9				
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	4,2E-15		8,4E-14	3,7E-15		7,4E-14	4,3E-10				
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene			4,3E-12			4,4E-12	9,5E-9		7,7E-8		
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene											

Cumulative Values:

1,1E-6 4,3E-2 3,5E-4 1,4E+1 3,8E-8 2,6E-4 0,0E+0 0,0E+0

■ indicates risk level exceeding target risk

RBCA SITE ASSESSMENT

Cumulative Risk Worksheet

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy

Site Name: Posto de serviços Fórmula Indy

Completed By: Rodrigo A M

Job ID: Residentes

3 OF 3

Site Location: Zona Leste do município de São Paulo

Date Completed: 17.07.2007

Cumulative Target Risk: 1,000E-8

Target Hazard Index: 01E+0

CUMULATIVE RISK WORKSHEET

OFF-SITE RECEPTORS

CONSTITUENTS OF CONCERN		Outdoor Air Exposure:				Groundwater Exposure:			
CAS No.	Name	Residential (10 m)		Residential (80 m)		None		None	
		Target Risk: 1,000E-8 / 1,000E-8	Hazard Quotient Target HQ: 01E+0	Target Risk: 1,000E-8 / 1,000E-8	Hazard Quotient Target HQ: 01E+0	Target Risk: 1,000E-8 / 1,000E-8	Carcinogenic Risk	Target Risk: 1,000E-8 / 1,000E-8	Hazard Quotient Target HQ: 01E+0
71-43-2	Benzene	1,1E-6	4,2E-2	3,1E-7	1,2E-2				
108-88-3	Toluene		1,1E-3		3,2E-4				
100-41-4	Ethylbenzene		8,4E-5		2,5E-5				
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)		5,5E-5		1,6E-5				
91-20-3	Naphthalene		2,2E-6		3,7E-7				
208-96-8	Acenaphthylene								
83-32-9	Acenaphthene								
86-73-7	Fluorene								
85-01-8	Phenanthrene								
120-12-7	Anthracene								
206-44-0	Fluoranthene								
129-00-0	Pyrene								
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	5,6E-13	1,2E-11	6,9E-14	1,5E-12				
218-01-9	Chrysene	4,5E-12	2,9E-5	5,3E-13	3,5E-6				
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	2,1E-13	4,5E-12	2,7E-14	6,0E-13				
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	6,8E-15	1,5E-11	8,2E-16	1,8E-12				
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	1,3E-12	1,1E-13	1,7E-13	1,4E-14				
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	4,2E-15	8,4E-14	5,6E-16	1,1E-14				
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene		4,3E-12		5,2E-13				
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene								
Cumulative Values:		1,1E-6	4,3E-2	3,1E-7	1,3E-2	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0

■ indicates risk level exceeding target risk

SUMMARY OF CARCINOGENIC RISK
For Groundwater

CASE 1:

Child Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact in Shower	Inhalation During Shower	Ing of Spr
Benz(a)anthracene	8.2E-08	6.3E-08	5.0E-10	2.1
Benzene	1.5E-03	3.0E-05	1.3E-03	3.8
Benzo(a)pyrene	4.1E-08	4.7E-08	8.1E-11	1.0
Benzo(b)fluoranthene	8.2E-09	9.4E-09	9.7E-10	2.1
Benzo(k)fluoranthene	8.2E-10	8.6E-10	1.2E-12	2.1
Chrysene	8.2E-10	6.3E-10	9.2E-11	2.1
Dibenz(a,h)anthracene	8.2E-08	2.1E-07	2.0E-12	2.1
Indeno(1,2,3CD)pyrene	4.1E-09	7.4E-09	2.6E-11	1.0
TOTAL	1.5E-03	3.0E-05	1.3E-03	3.8

CASE 2:

Adult Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact in Shower	Inhalation During Shower	Ing of Spr
Benz(a)anthracene	1.2E-07	1.6E-07	9.6E-10	3.0
Benzene	2.2E-03	7.7E-05	2.5E-03	5.5
Benzo(a)pyrene	6.0E-08	1.2E-07	1.6E-10	1.5
Benzo(b)fluoranthene	1.2E-08	2.4E-08	1.9E-09	3.0
Benzo(k)fluoranthene	1.2E-09	2.2E-09	2.3E-12	3.0
Chrysene	1.2E-09	1.6E-09	1.8E-10	3.0
Dibenz(a,h)anthracene	1.2E-07	5.4E-07	3.9E-12	3.0
Indeno(1,2,3CD)pyrene	6.0E-09	1.9E-08	5.0E-11	1.5
TOTAL	2.2E-03	7.7E-05	2.5E-03	5.5

CASE 3:

Cases 1 and 2 Added Together

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact in Shower	Inhalation During Shower	Ing of Spr
Benz(a)anthracene	2.0E-07	2.2E-07	1.5E-09	5.1
Benzene	3.7E-03	1.1E-04	3.8E-03	9.3
Benzo(a)pyrene	1.0E-07	1.7E-07	2.4E-10	2.5
Benzo(b)fluoranthene	2.0E-08	3.3E-08	2.9E-09	5.1
Benzo(k)fluoranthene	2.0E-09	3.1E-09	3.5E-12	5.1
Chrysene	2.0E-09	2.2E-09	2.7E-10	5.1
Dibenz(a,h)anthracene	2.0E-07	7.5E-07	5.9E-12	5.1

SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS
For Groundwater

CASE 1:

Child Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact in Shower	Inhalation During Shower	Ing of Spr
Acenaphthene	5.5E-05	7.9E-06	2.3E-05	1.4
Anthracene	4.3E-06	8.9E-07	9.7E-07	1.1
Benzene	1.5E+02	2.9E+00	6.3E+01	3.7
Ethylbenzene	1.9E+00	1.4E-01	5.7E-01	4.8
Fluoranthene	3.2E-05	1.1E-05	2.2E-06	8.0
Fluorene	5.4E-05	1.9E-05	1.3E-05	1.4
Naphthalene	3.8E-01	2.5E-02	5.8E+00	9.6
Pyrene	4.3E-05	1.3E-05	2.0E-06	1.1
Toluene	5.0E+00	2.1E-01	8.1E+00	1.3
Xylenes	4.7E+00	3.6E-01	2.8E+01	1.2
TOTAL	1.6E+02	3.7E+00	1.1E+02	4.0

CASE 2:

Adult Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact in Shower	Inhalation During Shower	Ing of Spr
Acenaphthene	1.4E-05	3.4E-06	7.6E-06	3.5
Anthracene	1.1E-06	3.9E-07	3.2E-07	2.7
Benzene	3.7E+01	1.3E+00	2.1E+01	9.2
Ethylbenzene	4.8E-01	5.9E-02	1.9E-01	1.2
Fluoranthene	8.0E-06	4.8E-06	7.2E-07	2.0
Fluorene	1.4E-05	8.1E-06	4.2E-06	3.4
Naphthalene	9.6E-02	1.1E-02	1.9E+00	2.4
Pyrene	1.1E-05	5.7E-06	6.7E-07	2.7
Toluene	1.3E+00	9.4E-02	2.7E+00	3.1
Xylenes	1.2E+00	1.6E-01	9.4E+00	3.0
TOTAL	4.0E+01	1.6E+00	3.5E+01	1.0

NOTE: A zero hazard index may indicate that a RfD
was not entered for that chemical.

SUMMARY OF CLEAN-UP LEVELS

Clean-up Levels in Groundwater Receptor: Additive Receptor Case	SSTLs [mg/l]	Solubility [mg/l]
Acenaphthene	2.7E-01	4.2E+00
Acenaphthylene	1.0E+06	3.9E+00
Anthracene	1.4E+00	4.3E-02
Benz(a)anthracene	1.5E-04	9.4E-03
Benzene	5.9E-03	1.8E+03
Benzo(a)pyrene	1.2E-05	1.6E-03
Benzo(b)fluoranthene	1.1E-04	1.5E-03
Benzo(g,h,i)perylene	1.0E+06	2.6E-04
Benzo(k)fluoranthene	1.2E-03	8.0E-04
Chrysene	1.5E-02	1.6E-03
Dibenz(a,h)anthracene	6.0E-06	2.5E-03
Ethylbenzene	5.3E-01	1.7E+02
Fluoranthene	1.8E-01	2.1E-01
Fluorene	1.6E-01	2.0E+00
Indeno(1,2,3CD)pyrene	8.1E-05	2.2E-05
Naphthalene	9.5E-03	3.1E+01
Phenanthrene	1.0E+06	1.3E+00
Pyrene	1.4E-01	1.4E-01
Toluene	5.7E-01	5.3E+02
Xylenes	2.2E-01	2.0E+02

** SSTL exceeds the chemical's solubility.

The exposure routes that depend on this source are:

- Ingestion of groundwater used indoors
- Dermal contact with groundwater used indoors
- Inhalation of volatiles from groundwater indoors
- Ingestion of irrigation water
- Inhalation of irrigation water spray
- Dermal contact with irrigation water

Equação de Coenraes (1993) levada em conta na simulação de transporte

$$\frac{dC}{dt} = - \left[\frac{1}{\theta} \left(1 + \frac{K_d}{K_d + C} \right) + \frac{1}{\theta} \left(\frac{1}{K_d + C} \right) \right] C$$

Símbolos

- $C(t)$ Concentração de contaminante no tempo t e C_0 concentração inicial (mg/L)
- C_0 Concentração de contaminante no tempo $t=0$ (mg/L)
- C_d Concentração de contaminante no tempo $t=t_d$ (mg/L)
- C_{eq} Concentração de contaminante em equilíbrio (mg/L)

Anexo 7.

Dados de entrada e resultados na Simulação de Transporte do contaminante em água subterrânea.

- 1. Tipo de contaminante: ☐ orgânico ☐ inorgânico
- 2. Arredondamento da concentração inicial (mg/L):
- 3. Largura da zona de contaminação (m):
- 4. Coeficiente de distribuição (Kd):
- 5. Probabilidade de adsorção:
- 6. Espessura da zona de contaminação (m):
- 7. Coeficiente de distribuição (Kd):
- 8. Espessura da zona de contaminação (m):
- 9. Probabilidade de adsorção:

Equação de Domenico (1990) levada em conta na simulação do transporte

$$\frac{C(x)_i}{C_{si}} = \exp \left[\frac{x}{2\alpha_x} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v}} \right) \right] \operatorname{erf} \left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_x x}} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{S_d}{2\sqrt{\alpha_z x}} \right)$$

Sendo que:

$C(x)_i$	Concentração do composto i na direção x a ser avaliada, a jusante da fonte (mg/L)
C_{si}	Concentração do composto i na fonte (mg/L)
x	Distância a ser avaliada da fonte (cm)
α_x	Dispersividade longitudinal em água subterrânea (cm)
λ_i	Taxa de primeira ordem de degradação (dia^{-1}) para o composto i
R_i	Fator de retardo para o composto (adimensional)
v	Velocidade linear média para água subterrânea (cm/dia)
S_w	Largura da fonte (cm)
α_y	Dispersividade transversal em água subterrânea (cm)
S_d	Profundidade da fonte (cm)
α_z	Dispersividade vertical em água subterrânea (cm)
K	Condutividade hidráulica (cm/dia)
i	Gradiente hidráulico (cm/cm)
θ_s	Porosidade efetiva do solo (adimensional)

RBCA SITE ASSESSMENT

TIER 2 TRANSIENT DOMENICO ANALYSIS

Site Name: Posto TF

Completed By: Rodrigo A M

Job ID:

Site Location: São Paulo - SP

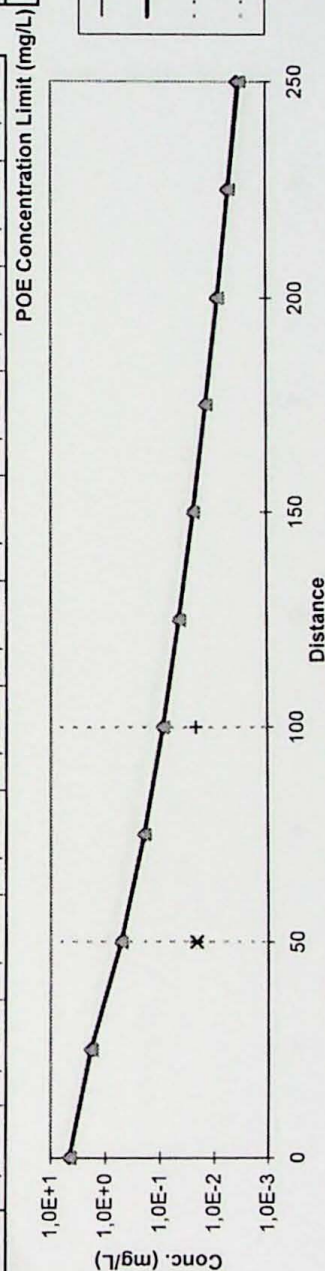
Date Completed: 0-jan-yy

1 of 20

Constituent: Benzene
Source Medium: Affected Groundwater
Biodegradation: 1st Order

Concentration vs. Distance from Source
(for given time)

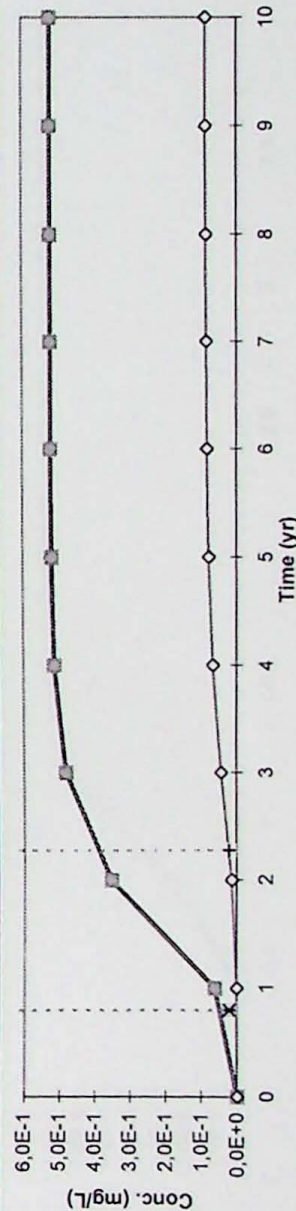
Distance (m)	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
t = 10 yr	4,6E+0	1,8E+0	5,2E-1	1,9E-1	8,5E-2	4,3E-2	2,3E-2	1,3E-2	8,0E-3	5,0E-3	3,2E-3
Steady-state	4,6E+0	1,8E+0	5,2E-1	1,9E-1	8,5E-2	4,3E-2	2,3E-2	1,4E-2	8,3E-3	5,3E-3	3,4E-3



— Steady-state
— t = 10 yr
- - - Off-site1 Conc.Limit
- - - Off-site2 Conc.Limit

Concentration vs. Time
(for given distance from source)

Time (yr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x = 50 m	0,0E+0	6,1E-2	3,5E-1	4,8E-1	5,1E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1
Off-site1 (50 m)	0,0E+0	6,1E-2	3,5E-1	4,8E-1	5,1E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1	5,2E-1
Off-site2 (100 m)	0,0E+0	1,8E-4	1,3E-2	4,3E-2	6,5E-2	7,7E-2	8,2E-2	8,4E-2	8,5E-2	8,5E-2	8,5E-2



— x = 50 m
— Off-site1 (50 m)
— Off-site2 (100 m)
- - - Off-site1 Conc.Limit
- - - Off-site2 Conc.Limit

Time to Reach
Conc. Limit (yr)
Off-site1 0,8
Off-site2 2,3

RBCA SITE ASSESSMENT

TIER 2 TRANSIENT DOMENICO ANALYSIS

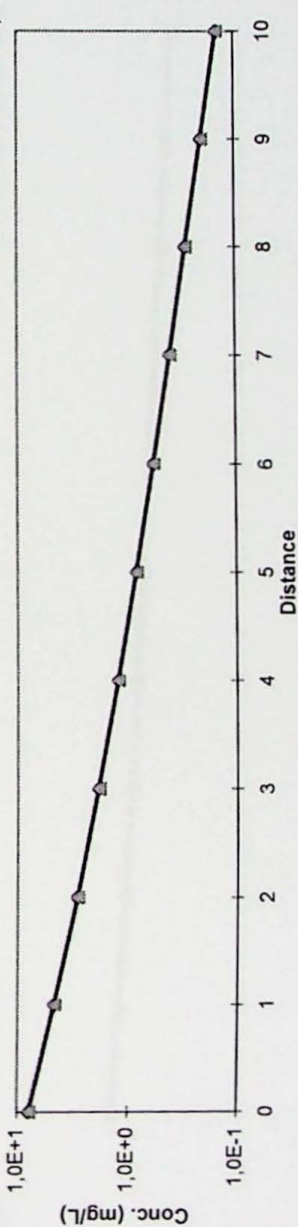
Site Name: Posto TF
 Site Location: São Paulo - SP
 Completed By: Rodrigo A M
 Date Completed: 0-jan-yy
 Job ID: 2 of 20

Constituent: Toluene
 Source Medium: Affected Groundwater
 Biodegradation: 1st Order

Concentration vs. Distance from Source
 (for given time)

Distance (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t = 10 yr	7,9E+0	4,7E+0	2,9E+0	1,9E+0	1,2E+0	8,3E-1	5,7E-1	4,0E-1	2,8E-1	2,0E-1	1,4E-1
Steady-state	7,9E+0	4,7E+0	2,9E+0	1,9E+0	1,2E+0	8,3E-1	5,7E-1	4,0E-1	2,8E-1	2,0E-1	1,4E-1

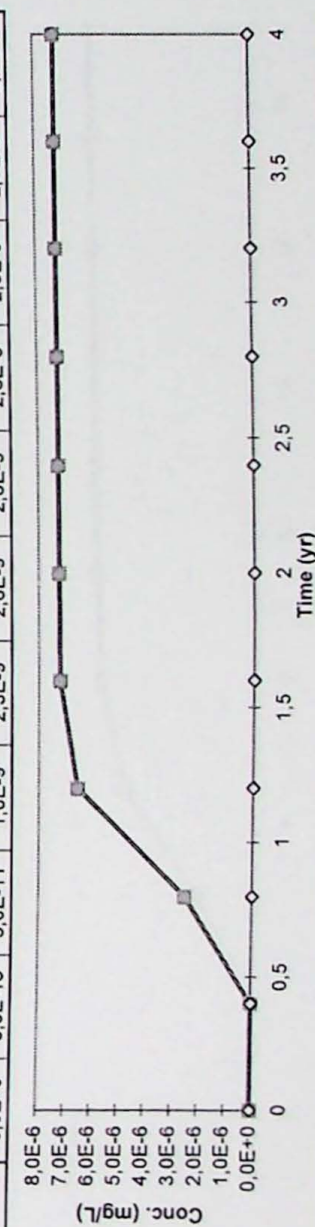
POE Concentration Limit (mg/L)



Off-site1 Residential	Off-site2 Residential
50	100
7,2E-6	2,6E-9
7,2E-6	2,6E-9
6,3E+0	6,3E+0

Concentration vs. Time
 (for given distance from source)

Time (yr)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
x = 50 m	0,0E+0	2,8E-9	2,5E-6	6,5E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6
Off-site1 (50 m)	0,0E+0	2,8E-9	2,5E-6	6,5E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6	7,2E-6
Off-site2 (100 m)	0,0E+0	3,0E-18	3,0E-11	1,0E-9	2,3E-9	2,6E-9	2,6E-9	2,6E-9	2,6E-9	2,6E-9	2,6E-9



Time to Reach Conc. Limit (yr)	Off-site1	Off-site2
NA	NA	NA

RBCA SITE ASSESSMENT

TIER 2 TRANSIENT DOMENICO ANALYSIS

Site Name: Posto TF

Completed By: Rodrigo A M

Job ID:

Site Location: São Paulo - SP

Date Completed: 0-jan-yy

3 of 20

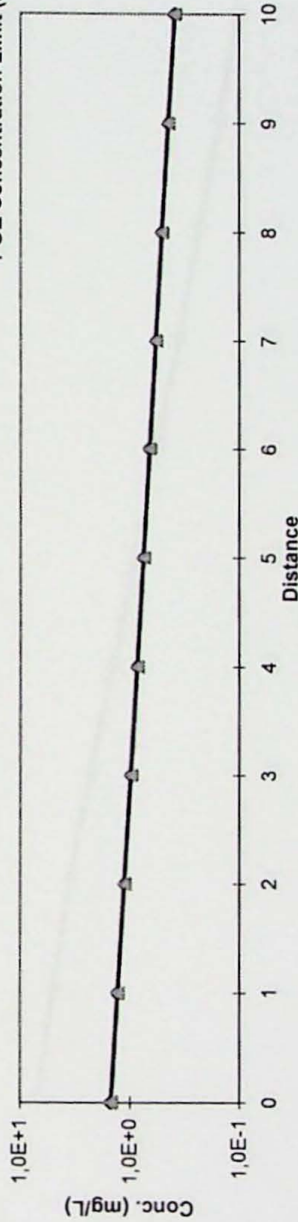
Constituent: Ethylbenzene

Source Medium: Affected Groundwater

Biodegradation: 1st Order

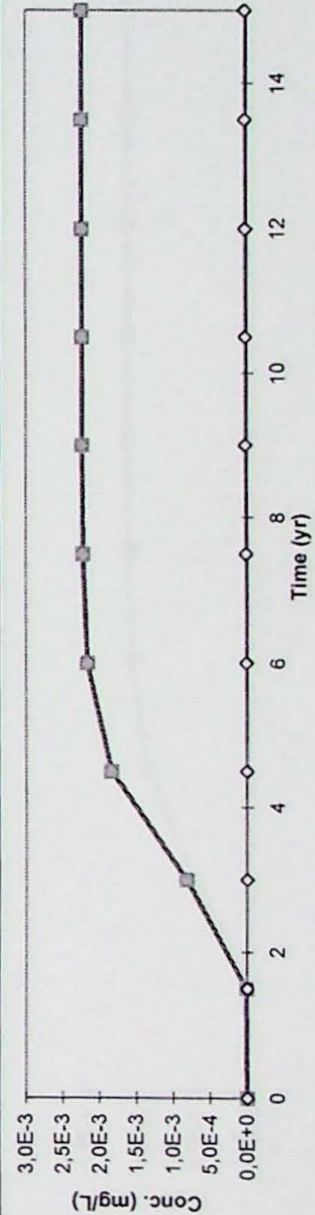
Concentration vs. Distance from Source
(for given time)

Distance (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t = 15 yr	1,5E+0	1,3E+0	1,1E+0	9,8E-1	8,6E-1	7,5E-1	6,6E-1	5,8E-1	5,1E-1	4,5E-1	3,9E-1
Steady-state	1,5E+0	1,3E+0	1,1E+0	9,8E-1	8,6E-1	7,5E-1	6,6E-1	5,8E-1	5,1E-1	4,5E-1	3,9E-1
POE Concentration Limit (mg/L)											
Off-site1 Residential										2,2E-3	2,6E-5
Off-site2 Residential										2,2E-3	2,6E-5
Off-site1 Residential										3,1E+0	3,1E+0



Concentration vs. Time
(for given distance from source)

Time (yr)	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
x = 50 m	0,0E+0	1,1E-5	8,2E-4	1,8E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3
Off-site1 (50 m)	0,0E+0	1,1E-5	8,2E-4	1,8E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3	2,2E-3
Off-site2 (100 m)	0,0E+0	3,6E-11	7,2E-7	8,7E-6	1,9E-5	2,4E-5	2,5E-5	2,6E-5	2,6E-5	2,6E-5	2,6E-5
Time to Reach Conc. Limit (yr)											
Off-site1											NA
Off-site2											NA



RBCA SITE ASSESSMENT

TIER 2 TRANSIENT DOMENICO ANALYSIS

Site Name: Posto TF

Completed By: Rodrigo A M

Job ID:

Site Location: São Paulo - SP

Date Completed: 0-jan-yy

4 of 20

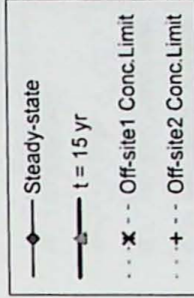
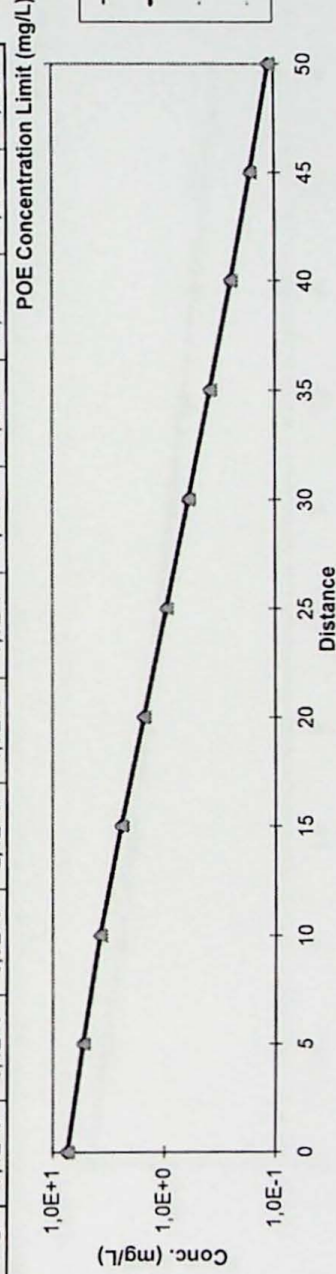
Constituent: Xylene (mixed isomers)

Source Medium: Affected Groundwater

Biodegradation: 1st Order

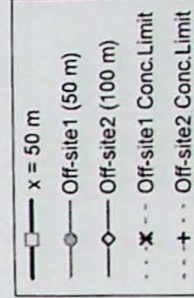
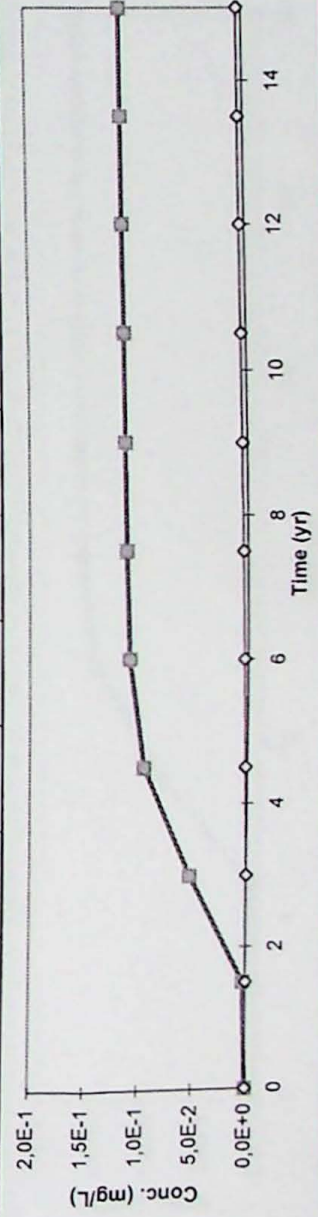
Concentration vs. Distance from Source
(for given time)

Concentration vs. Distance from Source (for given time)													Time (yr)		15,0
Distance (m)		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Off-site1	Off-site2	
t = 15 yr	Conc	7,4E+0	5,4E+0	3,8E+0	2,4E+0	1,5E+0	9,5E-1	6,0E-1	3,8E-1	2,5E-1	1,7E-1	1,1E-1	Residential	Residential	
	Steady-state	7,4E+0	5,4E+0	3,8E+0	2,4E+0	1,5E+0	9,5E-1	6,0E-1	3,8E-1	2,5E-1	1,7E-1	1,1E-1	50	100	
													1,1E-1	4,6E-3	
													1,1E-1	4,6E-3	
													6,3E+1	6,3E+1	
													POE Concentration Limit (mg/L)		



Concentration vs. Time
(for given distance from source)

Concentration vs. Time (for given distance from source)													Distance (m)		Time to Reach Conc. Limit (yr)	
Time (yr)		0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15				
x = 50 m	Conc. (mg/L)	0,0E+0	2,3E-3	5,3E-2	9,5E-2	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	Off-site1	NA		
Off-site1 (50 m)		0,0E+0	2,3E-3	5,3E-2	9,5E-2	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	1,1E-1	Off-site2	NA		
Off-site2 (100 m)		0,0E+0	2,3E-7	2,8E-4	1,8E-3	3,4E-3	4,2E-3	4,5E-3	4,6E-3	4,6E-3	4,6E-3	4,6E-3				



Time to Reach
Conc. Limit (yr)

Off-site1	NA
Off-site2	NA

RBCA SITE ASSESSMENT

TIER 2 TRANSIENT DOMENICO ANALYSIS

Site Name: Posto TF

Completed By: Rodrigo A M

Job ID:

Site Location: São Paulo - SP

Date Completed: 0-jan-yy

5 of 20

Constituent: Naphthalene

Source Medium: Affected Groundwater

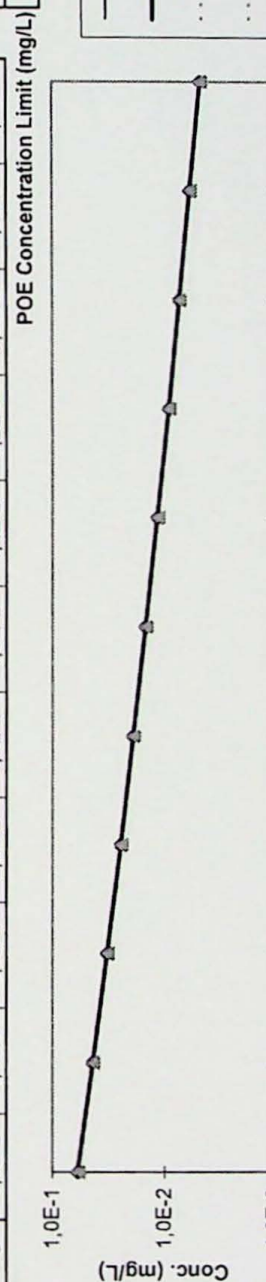
Biodegradation: 1st Order

Concentration vs. Distance from Source

(for given time)

Off-site1	Off-site2
Residential	Residential
50	100
1,7E-8	3,6E-12
1,7E-8	3,6E-12
1,3E+1	1,3E+1

Distance (m)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
t = 30 yr	6,0E-2	4,4E-2	3,3E-2	2,5E-2	1,9E-2	1,5E-2	1,2E-2	9,2E-3	7,3E-3	5,9E-3	4,7E-3
Steady-state	6,0E-2	4,4E-2	3,3E-2	2,5E-2	1,9E-2	1,5E-2	1,2E-2	9,2E-3	7,3E-3	5,9E-3	4,7E-3



Concentration vs. Time

(for given distance from source)

Time (yr)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
x = 50 m	0,0E+0	1,1E-14	8,5E-10	9,1E-9	1,5E-8	1,6E-8	1,7E-8	1,7E-8	1,7E-8	1,7E-8	1,7E-8
Off-site1 (50 m)	0,0E+0	1,1E-14	8,5E-10	9,1E-9	1,5E-8	1,6E-8	1,7E-8	1,7E-8	1,7E-8	1,7E-8	1,7E-8
Off-site2 (100 m)	0,0E+0	4,1E-27	2,1E-16	1,5E-13	1,4E-12	2,9E-12	3,4E-12	3,5E-12	3,5E-12	3,6E-12	3,6E-12



DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>07/05/08</i>

