

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO E REMEDIAÇÃO DA  
CONTAMINAÇÃO DO SOLO E AQUÍFERO  
FREÁTICO DECORRENTE DE VAZAMENTO DE  
COMBUSTÍVEL (GASOLINA) EM  
POSTO DE SERVIÇO**

Marcos Foltran Ferrari

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

Co-orientador: Rogério Farias

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2001/27)

SÃO PAULO  
2001



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO E REMEDIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO  
SOLO E AQUÍFERO FREÁTICO DECORRENTE DE  
VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEL (GASOLINA) EM POSTO DE  
SERVIÇOS**

**MARCOS FORTTRAN FERRARI**



DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Alberto Pacheco

Prof. Dr. Uriel Duarte

Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos

Three handwritten signatures in blue ink, each written on a horizontal line. The first signature is "A. Pacheco", the second is "Uriel Duarte", and the third is "Paulo Roberto dos Santos".



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO E REMEDIAÇÃO DA  
CONTAMINAÇÃO DO SOLO E AQUÍFERO FREÁTICO  
DECORRENTE DE VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEL  
(GASOLINA) EM POSTO DE SERVIÇO**

Aluno: Marcos Foltran Ferrari  
Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco  
Co Orientador: Rogério Farias



**TRABALHO DE FORMATURA 2001  
TF2001/27**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900009844

SÃO PAULO  
2001



TF  
F375  
MF.c

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
DE MATERIAIS E COMPONENTES

COMITÊ DE GESTÃO DE PROJETOS  
DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
DE MATERIAIS E COMPONENTES  
(GAPRO) INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO



TRABALHO DE FORMATURA 2004  
TRABALHO DE FORMATURA 2004

DOAÇÃO COMISSÃO DE  
TRABALHO DE FORMATURA  
Data: 15 / 02 / 02



## **AGRADECIMENTOS**

a Deus por tudo,

aos meus Pais pelo apoio incondicional,

aos meus familiares, a Dona Alzira por me ensinar tantas coisas da vida, Fernanda, minha irmã, pelas longas conversas, ao meu tio Caetano por estar longe porém perto e sempre torcendo, ao Prof. Dr. Alberto Pacheco pelas oportunidades e conhecimentos, ao Geólogo Rogério Farias pela ajuda na elaboração deste trabalho e as incontáveis cervejas, a CSD-Geoklock pelo fundamental apoio e aprendizado nestes quatro anos de estágio, aos Karas (Berreta, Bicudo, Holl, Leuri, Dedão e Punheta) por me aturarem nestes incontáveis anos, a geóloga que sempre contribuiu de alguma forma durante estes anos de estágio (Valtão, Mamilo, Fudilson, Ku-frox, Bigu, Oduvaldo, Alex, Grega, Bond, Sushi, Angelão, Roland, Kuna, Lady, Cudi, Ribamar, Sadam, Gallos, Augusto, Piu, Morticia, Gaúcho, Feijão, Sedex, Gau e Juliana...obrigado pelo abstract...), aos desenhistas Juscelino e Simone pela ajuda neste e em muitos outros trabalhos e conhecimento no Corel 9, a Vani, pelo café e piadas, aos estagiários Ewerton, Vanessa, Léia, Afraates por me aturarem durante os anos, aos amigos de infância Vina, Rô, Kiko e a toda a galera da Itú-859, a Juliana Dantas...minha eterna amiga.. a galera da UFPR na pessoa da Fabi e a galera do Geologia do Brasil... pelos ENEGEOs e inúmeras histórias, a galera da Geo-USP, Babacu, Pau Molhado, Brejo, Big Lips, Pheses, Socró, Kamiku, Newkides, Korega, Ameba, Nem de Graça, Copró, Vossoroca, Vivarina, Maukomeu, Jacú e Pailim e toda a galera do Coviú, Xups, Raibunds, Propica, Boyola, Parahiba, Ofélia, Mordi, Moe, Bussa, Coró e os demais figuras da turma de 1999 (pela viagem de Paleo)...Empata, Tops, Tiazinha, Voodoo, Sexta, Redmen, Pitbichones, Lendia, CarlaP., Lagosta, Tatu, Pereba, Rosa, Pablo, Carol, Niki, Cagão, Joe e os demais formandos de 2001, aos inúmeros figuras da Geo-USP que de um modo ou de outro compartilharam comigo alguns destes oito anos de geologia (talvez seja por isso que eu não me lembre de todos...), aos Professores Shultz, Romalino, Armando (*in memoriam*) e Oswaldinho, pela simplicidade de expor os conhecimentos e ajudar os alunos, ao Zeca e o Paulinho da portaria, à Rosana (sempre desenrolando a galera), as tias do café e a alguém que por ventura eu tenha esquecido!!!!!!



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO E REMEDIAÇÃO DA  
CONTAMINAÇÃO DO SOLO E AQUÍFERO  
FREÁTICO DECORRENTE DE VAZAMENTO DE  
COMBUSTÍVEL (GASOLINA) EM  
POSTO DE SERVIÇO**

Marcos Foltran Ferrari

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

Co-orientador: Rogério Farias

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2001/27)

SÃO PAULO  
2001



## ÍNDICE

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1. IDENTIFICAÇÃO .....                             | 01 |
| 2. RESUMO .....                                    | 01 |
| 3. ABSTRACT .....                                  | 01 |
| 4. INTRODUÇÃO .....                                | 02 |
| 5. OBJETIVOS .....                                 | 02 |
| 6. TRABALHOS PRÉVIOS .....                         | 03 |
| 7. MATERIAIS E MÉTODOS .....                       | 08 |
| 8. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....               | 17 |
| 9. TRABALHOS REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS ..... | 17 |
| 10. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....              | 53 |
| 11. CONCLUSÃO .....                                | 57 |
| 12. BIBLIOGRAFIA .....                             | 59 |



(SANTA INOCÊNCIA)

NÃO SE PREOCUPE EM CRESCER  
DE QUALQUER JEITO VOCE VAI CRESCER  
NÃO SE PREOCUPE EM PERMANECER  
JOVEM  
VOCÊ VAI CRESCER SEM PERCEBER  
MAIS NÃO VÁ SE ESQUECER  
DE TUDO AQUILO QUE VOCÊ  
QUERIA SER

(ROGER ROCHA MOREIRA)





## **1 Identificação**

Caracterização e Remediação da Contaminação do Solo e Aquífero Freático Decorrente de Vazamento de Combustível em Postos de Serviço (TF-2001/27)

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

Co Orientador: Geólogo Rogério Farias

Aluno: Marcos Foltran Ferrari

## **2 Resumo**

Este trabalho mostra a realização de uma série de etapas envolvidas na caracterização e remediação da contaminação do solo e aquífero freático decorrente de vazamento de combustível (gasolina) no posto de serviços TF-2001.

Durante o trabalho foram descritas as características físicas, químicas, geológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas do site afim de se realizar a avaliação, a análise de risco e a remediação da área.

Ao final do relatório foi possível verificar a evolução das técnicas utilizadas, a aplicabilidade dos métodos em outros sites e as limitações dos mesmos.

## **3 Abstract**

This paper provides an overview of some process involved in the characterization and remediation of TF-2001 gas station site, which soil and groundwater was contaminated by gasoline.

This work contains description of physical, chemical, geologic, hydrogeologic and hydrochemical aspects of this specific site, which is fundamental to do such site characterization, risk analysis and remediation.

At the end of this paper is possible to visualize the evolution of techniques for cleanup contaminates soil and groundwater, as well as, the applicability and limitation of this methodology in similar sites.



#### 4. Introdução

A cidade de São Paulo, como todos os centros urbanos apresenta uma grande quantidade de postos de serviços para suprir o abastecimento de veículos que circulam todos os dias. Estes estão localizados nos mais diversos pontos da cidade (zonas residenciais, industriais, comerciais, hospitalares entre outras).

A contaminação do solo e aquífero freático devido ao vazamento de combustíveis através do SASC (Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis) nestes estabelecimentos, pode gerar diversos problemas para a população no entorno. A **Figura 4.1.** mostra algumas reportagens sobre casos ocorridos na cidade de São Paulo.

Este projeto apresentará uma sequência de eventos ocorridos em um Posto de Serviços visando a caracterização, quantificação e remediação de uma contaminação proveniente de vazamento de combustível (gasolina) em SASC.

A metodologia apresentada bem como o acompanhamento do sistema de remediação possibilitará a verificação da aplicabilidade do sistema em outras áreas onde ocorreram vazamentos de combustíveis com características semelhantes.

#### 5. Objetivos

Este relatório tem como objetivo trabalhar os dados obtidos através de serviços de campo, onde foram realizados levantamentos de informações hidrogeológicas e hidroquímicas na área de um posto de serviços.

A investigação foi motivada pelo surgimento de gasolina em um poço de abastecimento localizado nas dependências do Auto-Posto.

Os primeiros serviços ocorreram em 1996 objetivando caracterizar a extensão da contaminação do subsolo e aquífero freático.

Ao final deste período, foi implantado um sistema de remoção da fase livre através do bombeamento do aquífero freático objetivando a retirada de grande parte da fase livre existente na área.

Ao fim da operação de remoção de fase livre foi realizada uma Análise de Risco de Exposição a Compostos Hidrocarbonetos objetivando complementar os levantamentos



## Gasolina vaza de posto há 2 meses

*Dona de casa já chamou bombeiros, Defesa Civil, Contru e Cetesb e cheiro do combustível continua*

A dona de casa Nadir Angelino da Silva mora há 20 anos na Rua Coleiro do Brejo, no Parque Maria Luíza, na Zona Leste. Há quatro meses, ela parou de reunir os filhos e netos no fim de semana para um churrasco. Nadir tem medo que o lazer com a família vire tragédia.

Seu pavor não é gratuito. Ela assiste todos os dias, de hora em hora, à retirada de pelo menos 10 litros de gasolina de um buraco na rua, diante do seu portão. Essa rotina começou quando o Auto Posto M.A., da Esso, na Rua Rio das Pedras, 35, registrou vazamento de gasolina em um de seus oito tanques. "Respiro o cheiro de gasolina dia e noite", diz ela. "Não dá nem para criar plantas que elas morrem."

Seu caso não é isolado. No ano passado, a Cetesb registrou 19 ocorrências de vazamento de combustíveis. Este ano, de 21 atendimentos, 4 se referiam ao problema. Casos semelhantes representam a segunda fonte de acidentes ambientais. Na casa de Nadir, o chão do quintal está rachado. "Os bombeiros vieram aqui e disseram para eu abrir as janelas e não acender a luz quando o cheiro estiver muito forte."

Além dos bombeiros, Nadir chamou a Defesa Civil, o Contru e a Ce-

tesb. Em 17 de abril, o Contru interditou o local por "risco iminente em função de vazamento". O Contru exigia do posto a apresentação de visto do Corpo de Bombeiros, projeto de tanques e bombas aprovado pelo próprio Contru, auto de vistoria de segurança e atestado de instalações elétricas. Nove dias depois, o engenheiro Carlos Alberto Venturelli lavrou auto de desinterdição. "O posto apresentou todos os documentos e liberamos para uso", explica. "A Prefeitura trabalha em cima de laudos."

Apesar de Venturelli dizer que é impossível quantificar o vazamento, o gerente do posto, João Cunha Sequeira, arrisca: "Foram uns 800 litros". O tanque com vida útil acima de 10 anos — agora desativado — tinha capacidade para 15 mil litros. O Auto Posto M.A. tem mais oito tanques. "Trocamos algumas vezes, os mais recentes têm de sete a oito anos", diz Sequeira.

Não satisfeita, Nadir enviou carta à Cetesb em 5 de maio. O engenheiro Laercio Vechini, gerente do Distrito do Tatuapé, respondeu por carta: técnicos da Cetesb foram ao local em 19 de abril e o posto estava interditado pelo Contru. Mas afirmou ter exigido novas informações do posto. Na quinta-feira, a assessoria de imprensa da Cetesb informou não ter recebido ainda os documentos. Afirmou que fará nova vistoria amanhã na região. Procurada por telefone pela reportagem, a Esso não retornou a ligação. (A.Z.)

### Cetesb adverte que controle é precário

Detectar vazamento de gasolina em postos é uma tarefa difícil para a Cetesb. "Só tomamos conhecimento desse tipo de problema quando a situação de perigo já está criada", diz o diretor da Divisão de Tecnologia de Riscos Ambientais, Ricardo Serpa. "Aí temos de pesquisar o possível ponto de perda de combustível e ele pode estar a quilômetros do lugar onde a gasolina se aloja."

O técnico da Cetesb, porém, acredita que a frequência desse tipo de vazamento poderia ser menor. "O sistema de controle normalmente usado em postos é muito precário", frisa. "A medição é feita com uma régua pouco precisa, em tanques que comportam até 15 mil litros, o que dificulta a constatação de pequenas perdas."

O gerente de Atendimentos Emergenciais da Cetesb, Helvio Aventura, diz que o acompanhamento do nível dos tanques poderia ser mais eficaz. "Existem equipamentos eletrônicos de medição sofisticados", diz. "Normas mais rigorosas vêm sendo impostas devagar, mas seria preciso ir mais rápido, porque, além do risco, existem também os danos ambientais já que o combustível pode contaminar galerias e lençóis de água." (C.R.)

**V**ENTURELLI:  
"PREFEITURA  
TRABALHA  
COM LAUDOS"

# Risco de explosões subterrâneas cresce

Seminário internacional alerta para perigo de vazamentos em postos de gasolina e acúmulo de gases inflamáveis

Eduardo Geraque  
de São Paulo

Vazamentos nos postos de gasolina e negligência com o acúmulo de gases inflamáveis em ambientes confinados — como ocorreu há três anos no Osasco Plaza Shopping, no acidente que matou 42 pessoas — colocam diariamente em risco a segurança dos moradores da região metropolitana de São Paulo.

Acidentes de trabalho em ambientes confinados matam mais de 300 pessoas todos os anos; a vulnerabilidade é muito grande", alerta Paula Scardino, presidente da Agência Brasil de Segurança, entidade não-governamental que desenvolve

pesquisas na área de segurança do trabalho. A importância do assunto e o alto risco de explosões nos subterrâneos da cidade resultaram na organização, pela primeira vez no Brasil, de um seminário internacional para discutir a segurança do trabalho em Espaços Confinados (ver reportagem nesta página). A Fundação Jorge Duprat Figueiredo (Fundacentro) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (Senac) também estão na organização do congresso, que começa amanhã em São Paulo.

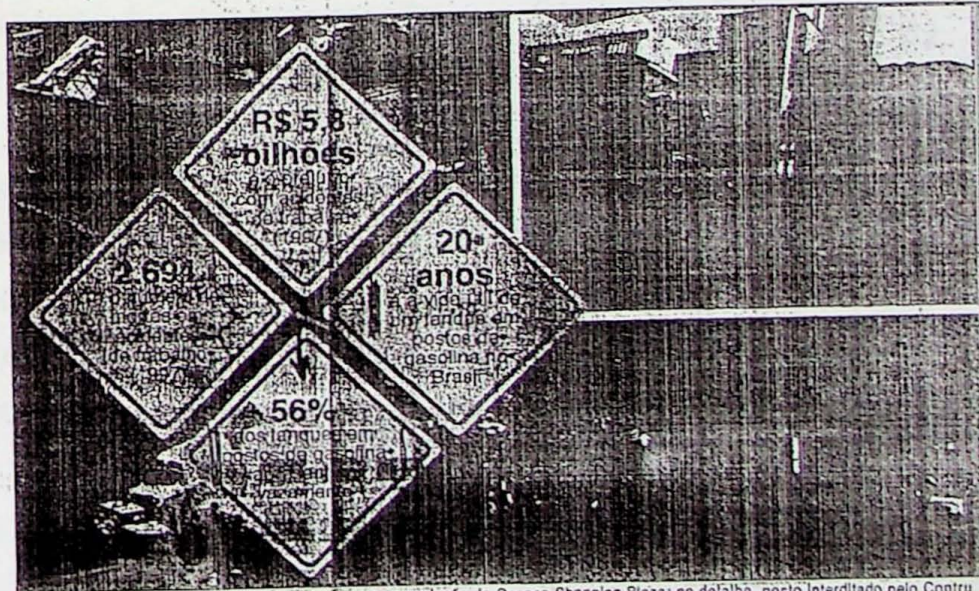
Apesar de escassas, as estatísticas mostram que, em São Paulo, ocorrem todos os dias, pelo menos, cem

acidentes urbanos. Em termos nacionais, conforme mostra estudo do Pnuma (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), em 1997 morreram 196 pessoas em acidentes como explosões e incêndios. O prejuízo de todos os acidentes de trabalho à população é calculado em R\$ 5,8 bilhões ao ano.

"Com o aumento da ocupação dos subterrâneos da Grande São Paulo pelas empresas de fibra ótica, TV a cabo e telefonia, a possibilidade de acidentes com gases confinados é maior", alerta Paula Scardino. Segundo ela, existe em parte um desconhecimento do assunto e, de outro lado, há também uma negligência muito grande na questão da segurança.

De acordo com Scardino, existe a possibilidade da formação de vários tipos de gases nos ambientes confinados — garagens inclusive — das cidades. "Os gases inflamáveis, em São

Paulo, podem ser oriundos dos postos de gasolina; a maioria deles vaza", garante Paula. Segundo dados do Departamento de Controle do Uso de Imóveis (Contru), 56% dos 2.098 postos que existem no Estado apresentam riscos de vazamento. Em junho, blitz do departamento constatou que a caixa de força de um posto na região do Brás tinha 80% de concentração de gás e 40% de oxigênio.



Em 96, gás acumulado em áreas confinadas provocou explosão do Osasco Shopping Plaza; no detalhe, posto interditado pelo Contru

Em ambientes confinados também podem ser acumulados gases inodoros como o metano, gases tóxicos como o sulfídrico, além do monóxido de carbono eliminado pelos automóveis, caminhões e ônibus. "Existem também ambientes que matam a pessoa por asfixia, porque são totalmente desprovidos de oxigênio", esclarece Paula.

Além do episódio do Osasco Plaza Shopping, em junho de 1996,

Paula cita um exemplo internacional que também mostra o descuido com os ambientes confinados. "Em 1995, na Coreia do Sul, a explosão em um túnel matou cem pessoas. Três pessoas foram responsabilizadas pelo acidente", diz.

Ao contrário da legislação criada pelo Ministério da Saúde para ambientes climatizados — fato que ocorreu após a morte do ministro Sérgio Motta —, não existe uma le-

gislação trabalhista que obrigue as empresas que operam em subterrâneos a monitorar o ambiente ou medir a quantidade de gases existente em determinada área. "O Brasil está atrasado em relação, por exemplo, ao Canadá e aos Estados Unidos em termos de lei", compara Paula. Para ela é muito fácil a empresa, antes de iniciar algum trabalho em um ambiente confinado, fazer a medição do ar. ■



hidrogeológicos e avaliações da qualidade do solo e águas subterrâneas na área do Posto de Serviços TF-2001.

Após as conclusões obtidas na análise de risco foi realizada então a implantação e operação da remediação que tem como objetivo a remediação do solo e aquífero local até os níveis determinados pela análise de risco previamente realizada. Para tanto, o sistema faz uso das técnicas de extração e tratamento de vapores do solo bem como o bombeamento e tratamento de águas subterrâneas.

## **6. Trabalhos Prévios**

No período de março a outubro de 2001 foram realizadas leituras e interpretações das bibliografias consideradas importantes para o desenvolvimento e entendimento do caso estudado afim de realizar a integração das informações obtidas. As principais bibliografias utilizadas foram:

### **RELATÓRIOS ELABORADOS PELA CONSULTORA**

- a) Relatório de avaliação da presença de combustíveis em solo e aquífero freático no Posto TF-2001.

O relatório de avaliação apresenta os serviços executados na área do auto posto que visaram avaliar a contaminação do solo e aquífero freático, a caracterização geológica e hidrogeológica da área, ou seja, definição das camadas constituintes do subsolo, do(s) aquífero(s) existente(s), da profundidade do nível d'água, do sentido do fluxo subterrâneo e da permeabilidade do substrato. Para chegar aos resultados foram realizadas sondagens de reconhecimento, instalação de poços de monitoramento visando o acompanhamento das variações do aquífero freático e da contaminação do mesmo, ensaios de permeabilidade para definir a velocidade de fluxo das águas subterrâneas bem como levantamentos topográficos e leituras de nível d'água e fase livre nos poços instalados afim de elaborar um mapa potenciométrico da área, bem como o mapa da pluma de fase imiscível.



b) Relatórios mensais de Remoção de Fase Imiscível

Os relatórios da operação da remoção de fase livre, são relatórios mensais que apresentam as leituras diárias do nível d'água, da espessura de fase imiscível nos poços instalados e da recuperação do combustível bombeado. Durante este período foram elaborados 28 relatórios.

c) Relatórios Complementares

Estes relatórios apresentam serviços adicionais realizados no auto posto após a realização da avaliação inicial. São relatórios que informam sobre a instalação de poços adicionais de monitoramento e bombeamento, bem como o acompanhamento analítico das águas subterrâneas afim de detalhar a contaminação existente.

d) Análise Ambiental Nível II e Análise de Risco *RBCA (Risk Based Corrective Action)- Tier 2* em Posto de Serviço

Este relatório tem como objetivo avaliar o potencial de risco à saúde humana provocado pela exposição a certos compostos químicos encontrados no posto e seus arredores, calculando as concentrações máximas permitidas para os compostos tóxicos no local. Baseando-se nos dados obtidos em campo como o levantamento dos arredores do posto, a verificação da presença de poços de abastecimento para consumo doméstico na região, realização de novas sondagens de reconhecimento, instalação de novos poços de monitoramento, amostragem de solo, amostragem de água subterrânea, novos ensaios de permeabilidade, novas leituras de fase livre e nível d'água, levantamento topográfico dos novos poços instalados afim de embasar ações de remediação.

e) Ensaio Piloto de Extração dos Vapores do Solo (SVE) e "Air Sparging" (AS) - Projeto Conceitual de Remediação

Este trabalho reporta e interpreta os resultados obtidos em ensaios, propondo um projeto conceitual para remediação da área.

f) Implantação e Operação do Sistema de Remediação

Este relatório descreve a configuração e a inicialização do sistema de remediação implantado, fazendo também uma análise preliminar da evolução do quadro ambiental local desde Maio/98 (início dos serviços de Análise de Risco).



NORMAS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)

g) NBR 13895 Construção de poços de monitoramento e amostragem

Esta norma fixa as condições exigíveis para a construção de poços de monitoramento de aquífero freático e dados mínimos para a apresentação de projetos de rede de monitoramento

h) NBR 9603 Sondagem a trado

Esta norma fixa as condições exigíveis para a sondagem a trado em investigação geológico-geotécnica, dentro dos limites impostos pelo equipamento e pelas condições do terreno, com a finalidade de coleta de amostras deformadas, determinação da profundidade do nível d'água, e identificação dos horizontes do terreno

i) NBR 13133 Execução de levantamento topográfico

Esta norma fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico destinado a obter o conhecimento geral do terreno quanto ao relevo, limites confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento.

j) NBR 13786 Seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis em posto de serviço

Esta norma estabelece os princípios gerais para seleção dos equipamentos para o sistema subterrâneo de armazenamento e distribuição de combustíveis líquidos destinados a postos de serviço.

k) NBR 13784 Detecção de vazamentos em postos de serviços

Essa norma estabelece os procedimentos necessários à detecção de vazamentos em SASC.

l) NBR 10007 Amostragem de resíduos

Esta norma fixa as condições exigíveis para a amostragem, preservação e estocagem de amostras de resíduos sólidos.



RELATÓRIOS TÉCNICOS SOBRE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E DO SOLO CAUSADO POR VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS LIQUÍDOS

m) Relatório 1 – Comportamento de combustíveis no solo

Este relatório apresenta conceitos básicos do comportamento dos combustíveis em diferentes solos e ambientes hidrogeológicos afim de possibilitar a avaliação e confirmação da presença de derivados de petróleo e álcool para a execução de ações corretivas apropriadas.

n) Relatório 2 – Vazamentos em postos de abastecimento: Apresentação da problemática

Este relatório apresenta a demanda de serviços de recuperação de locais onde há tanques subterrâneos de armazenamento. Apresenta a quantidade de locais atingidos, os contaminantes encontrados nos locais onde há tanques de armazenamento bem como quantidade de material contaminado e tamanho e idade destes tanques.

o) Relatório 3 – Métodos de detecção de vazamentos em postos de abastecimento

Este relatório apresenta os métodos de detecção de vazamentos em tanques de combustíveis mais utilizados (monitoramento de água subterrânea, monitoramento de vapores, contenção secundária de monitoramento entre as paredes do tanque, teste de estanqueidade, controle de estoque, sistemas automáticos de manômetros e sistemas manuais de medição dos tanques).

p) Relatório 4 – Métodos de prevenção de vazamentos em postos de serviços

Este relatório apresenta as causas dos vazamentos (corrosão, falha do sistema devido a sobrecarga, defeitos na construção ou instalação e transbordamento do tanque) e os métodos de prevenção.

q) Relatório 5 – Manual de procedimentos para diagnóstico de casos de vazamento

Este relatório fornece um guia de práticas e procedimentos comuns a serem utilizados quando um vazamento, transbordamento ou derramamento de produtos derivados de petróleo for identificado, e houver necessidade de se conduzir uma avaliação apropriada do local, para determinar a extensão da contaminação.



- r) Relatório 6 – Métodos de contenção e descontaminação de solos e água subterrânea em locais afetados por vazamentos em postos de abastecimento.

Este relatório apresenta procedimentos e informações para a seleção de respostas adequadas e ações corretivas de longo prazo, quando um vazamento for detectado em um sistema de tanques subterrâneos de armazenamento.

Foram realizadas também pesquisas bibliográficas na biblioteca do Igc-USP abordando os principais assuntos envolvidos neste relatório e que podem ser visualizadas na bibliografia.

## **7. Materiais e Métodos**

Para melhor entendimento das etapas executadas este tópico será dividido em quatro sub-itens onde serão apresentados os materiais e métodos em cada etapa do projeto.

### **7.1 – Avaliação de Combustíveis no solo e aquífero freático**

#### **a) Descrição de Sondagens**

Durante a execução dos furos a trado, foram observadas as características da porção da zona não saturada e da zona saturada, tais como litologia, textura, cor, odor. Após a conclusão de cada furo, os mesmos foram preenchidos com o solo removido e bentonita, recompondo-se o piso original.

A avaliação da presença de combustíveis no solo e zona saturada, em cada sondagem teve como base a classificação visual e olfativa dos materiais provenientes destes furos (testemunhos), obedecendo os seguintes critérios:

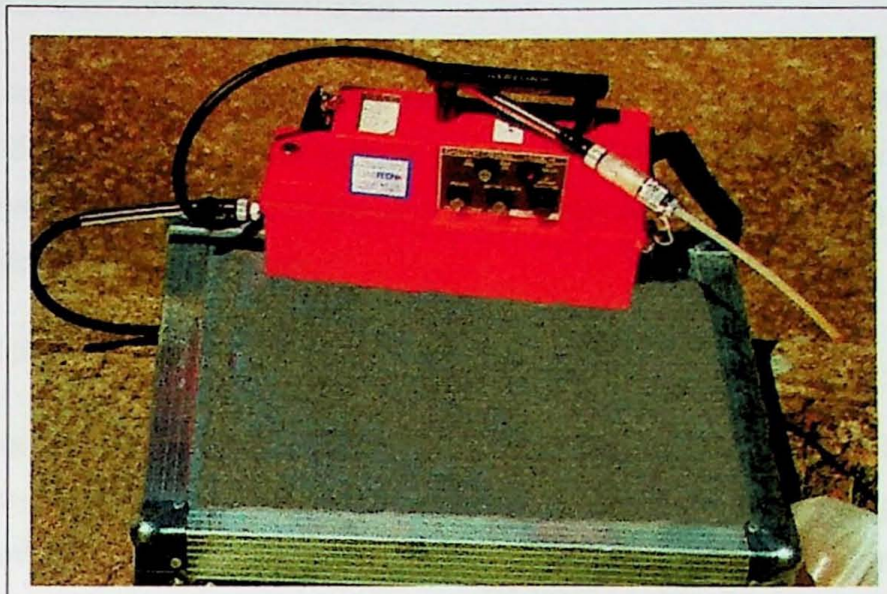


| Representação |        | Descrição                                                                                                                      |
|---------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planta        | Perfil |                                                                                                                                |
|               |        | Sem indício: não se verificou odor ou presença de combustíveis                                                                 |
| ○             | *      | Odor de combustíveis: durante a execução das sondagens foi detectado apenas odor de combustíveis no solo e/ou água subterrânea |
| □             | **     | Presença de combustíveis no solo: constatação visual da ocorrência de combustíveis no solo                                     |
| △             | ***    | Presença de fase livre: existência de iridescência ou fase livre sobrenadante ao lençol freático                               |

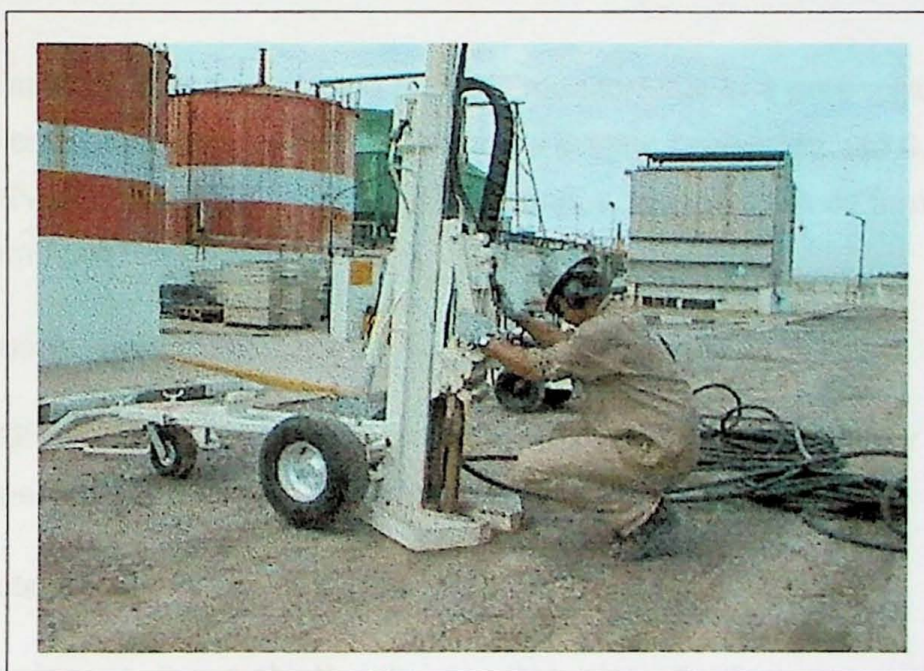
Com o emprego de equipamentos portáteis como o fotoionizador Gastech obteve-se informações mais precisas sobre a presença de indícios de contaminação no solo (**Foto 7.1.1.**). Este aparelho possui internamente um filamento de platina aquecido eletricamente, à qual as amostras gasosas são submetidas através da bomba de sucção interna. Os compostos orgânicos presentes na amostra são então oxidados pelo filamento causando um aumento na temperatura da mesma, que é diretamente proporcional a quantidade de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis) na amostra. A elevação da temperatura gera um aumento na resistência do filamento à passagem de corrente elétrica, o qual é usado pelo aparelho para medir a concentração de VOC. Um segundo filamento, idêntico, porém não exposto à amostra, é utilizado como referência na compensação de diversas condições operacionais, como temperatura e pressão ambiente. Cabe ressaltar que ambos filamentos são mantidos e operam em um compartimento intrinsecamente seguro, no interior do aparelho.

Na realização de furos de sondagens também houve uma evolução nos equipamentos passando-se de sondagens a trado manual para métodos mecanizados possibilitando amostragens seguras das alíquotas de solo..**(Foto 7.1.2.)**





*Foto 7.1.1. - Fotoionizador Gastech*



*Foto 7.1.2. - Trado Mecanizado Geoprobe*



## b) Instalação de poços de monitoramento

Os poços de monitoramento foram instalados na época de acordo com a Norma 06.010 - CETESB (1988) contudo, hoje os poços são instalados seguindo a NBR-13895 apenas por uma questão de padronização da consultora. Seus principais elementos construtivos são descritos a seguir.

### (\*) Materiais Construtivos

Como material para revestimento e filtros são utilizados tubos de PVC GEOMECÂNICO 4", com paredes reforçadas. Todas as conexões e os "cap's" (inferior e superior) são rosqueáveis, sem uso de colas para evitar a introdução de compostos químicos estranhos ao sistema que possam contaminar eventuais amostras.

### (\*) Filtros

Os filtros são ranhurados com aberturas de 0,5 mm, espaçadas de 0,5 cm entre si. O comprimento total dos filtros depende das condições locais.

### (\*) Pré-filtro

O espaço anelar entre a perfuração e o poço de monitoramento é preenchido com areia grossa lavada com granulação entre 1 e 2 mm, de origem conhecida, até 0,5 m acima do nível do filtro. Eventualmente, em terrenos arenosos, a própria areia da formação é empregada como pré-filtro.

### (\*) Selo Hidráulico

Acima do pré-filtro, o espaço anelar é preenchido com bentonita para isolar o trecho de interesse e impedir a contaminação cruzada.

### (\*) Laje de Proteção Sanitária

Construída em cimento, tem o objetivo de impedir a migração de águas superficiais contaminadas pela "boca" do poço de monitoramento.

### (\*) Proteção

Em tubo de ferro galvanizado, diâmetro 6".



### (\*) Perfuração

A perfuração para instalação dos poços de monitoramento é feita através de trados manuais ou mecânicos.

### (\*) Desenvolvimento

Após completado o poço de monitoramento, é efetuado o desenvolvimento do mesmo para retirar os finos eventualmente presentes. Esta pode ser conduzida através do método a seguir:

*sobrebombeamento*: com bombas submersas elétricas ou outras;

### c) Ensaio de Permeabilidade In Situ com Carga Variável.

Após concluído e desenvolvido, em cada poço de monitoramento é realizada a determinação do coeficiente de permeabilidade através de ensaios de permeabilidade do tipo carga variável - "Slug Test" ou "Bail Test" (FREEZE & CHERRY, 1979): Nos poços onde há a presença de combustível não é realizado o ensaio uma vez que o combustível recuperado no bombeamento teria que ser direcionado a uma caixa separadora de água-óleo o que dificultaria a operação.

### (\*) Metodologia

O ensaio é realizado a partir da extração de um volume de água dos poços de monitoramento onde não houver fase imiscível de combustível, acompanhando-se a recuperação do nível até sua estabilização. As medidas são efetuadas a cada 30 segundos através de medidores elétricos com precisão de 0,5 cm.

As fórmulas normalmente empregadas para a determinação da condutividade hidráulica consideram o meio homogêneo e contínuo, além da necessidade de haver regime de fluxo laminar. Neste casos, a Lei de Darcy é válida e muito utilizada, produzindo resultados satisfatórios.

### (\*) Tratamento de Dados

HVORSLEV (1951) elaborou a solução matemática para obtenção da condutividade hidráulica a partir dos dados de recuperação do nível d'água e das características próprias dos poços de monitoramento, resultando na seguinte expressão:



$$K = \frac{r^2 \cdot \ln(L / R)}{2 \cdot L \cdot T_o}$$

onde:

$r$  = raio da boca do piezômetro (m)

$R$  = raio do piezômetro no trecho ensaiado (m)

$L$  = comprimento do filtro do piezômetro (m)

$T_o$  = tempo de recuperação de 63% do nível d'água (s)

$K$  = condutividade hidráulica (m/s)

O valor de  $T_o$  pode ser obtido graficamente através da relação  $H - h / H - H_o \cdot t$ , utilizando-se papel monolog para a projeção da variação normalizada do nível, onde:

$H$  = carga hidráulica original (m)

$H_o$  = nível d'água após esgotar-se o piezômetro (m)

$h$  = nível d'água intermediário num determinado tempo  $t$  (m)

$t$  = intervalo de tempo regular para execução das leituras do nível d'água (min)

A posição  $T_o$  define o tempo de recuperação de 63 % do  $H_o$  em relação a  $H$ , onde HVORSLEV (1951) in FREEZE & CHERRY (1979) estipula ser o intervalo de tempo necessário para a completa equalização da diferença de carga, se a vazão original de recuperação fosse mantida do início ao fim do ensaio.

#### d) Ensaio de permeabilidade "In Situ" com vazão constante

No ensaio utilizou-se o método de vazão constante, que é realizado tomando-se inicialmente a posição do nível d'água (nível estático), no poço de monitoramento. Em seguida realiza-se o bombeamento destas águas mantendo uma vazão constante (200 l/h) pré-determinada. O rebaixamento é acompanhado até a sua estabilização (nível dinâmico).

O valor de permeabilidade (condutividade hidráulica) é obtido através da seguinte relação:



$$K = \frac{Q}{h_m \cdot s} \quad \text{onde:}$$

$$h_m = h + \frac{s}{2}$$

$h$  = tamanho do filtro

$s$  = rebaixamento (nível estático - nível dinâmico)

$Q$  = vazão (volume / tempo)

#### e) Medição da espessura de fase imiscível e nível d' água

Para a verificação da existência e medição da espessura da fase imiscível e nível d' água no lençol freático é utilizado o aparelho interface meter e um amostrador cilíndrico de acrílico com 80 mm de diâmetro e 126 mm de comprimento afim de observar a coloração do combustível (**Foto 7.1.3.**).

Para realizar a medição, introduz-se o leitor óptico do aparelho no poço de monitoramento realizando a leitura na trena que é presa ao leitor. O aparelho emite dois tipos de sons distintos acusando a presença de água ou combustível.

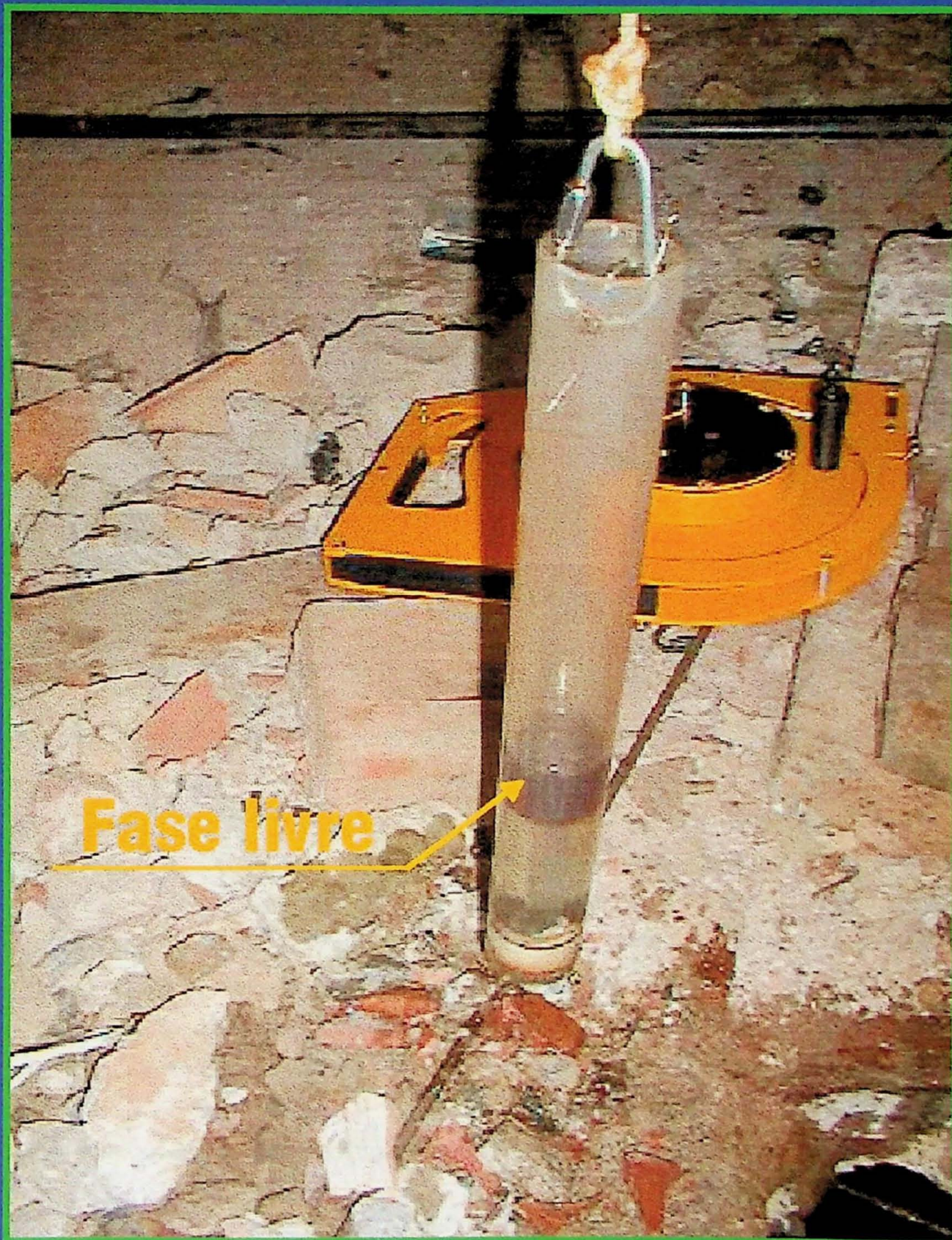
Para a verificação da coloração do combustível através do amostrador de acrílico é feita a lenta colocação da parte inferior do aparelho, abaixo do nível d'água no interior do poço de monitoramento. Após a entrada dos líquidos existentes no poço, a válvula situada na extremidade inferior do amostrador é fechada. O aparelho é então retirado e se torna possível observar-se a coloração do combustível.

#### f) Correção hidráulica na presença de fase imiscível

RISSING (1993) propôs uma correção hidráulica do nível d'água (NA) na presença de fase imiscível.



# AMOSTRADOR





Por causa da diferença de densidade entre água e os diferentes tipos de combustíveis é necessária uma correção do NA em relação à densidade entre água e fase livre.

$$NA_{cor} = NF - FI + FI \cdot df / dw \quad \text{onde:}$$

$NA_{cor}$  = NA corrigido

NF = Nível da fase imiscível

FI = espessura da fase imiscível

df = densidade da fase imiscível

dw = densidade d'água

- densidade média do óleo diesel é de 0,83 kg/l.
- densidade média da gasolina é de 0,73 kg/l.
- densidade d'água é de 1 kg/l.

## 7.2 Analise de Risco

### a) Amostragem de solo e medições de VOC

Os hidrocarbonetos em fase de vapor ou VOC resultam principalmente da volatilização dos hidrocarbonetos livres em fase líquida presentes na zona não saturada. Eles também podem se volatilizar a partir de hidrocarbonetos residuais em fase líquida e, numa escala menor, a partir de hidrocarbonetos em fase dissolvida presentes na água do solo. Em geral os hidrocarbonetos em fase de vapor tendem a seguir caminhos mais condutivos e a migrar de áreas de grande pressão para áreas de pressão menor. Os vapores dos hidrocarbonetos são mais densos que o ar, consequentemente, eles podem se acumular em garagens subterrâneas, esgotos, caixas telefônicas subterrâneas e outras estruturas abertas para atmosfera. Devido aos hidrocarbonetos em fase de vapor geralmente terem potencial de se mover rapidamente, eles podem ser usados para detectar a ocorrência de um vazamento e devem ser monitorados em relação a concentração de vapores explosivos.



Com base nas análises e interpretações dos dados preexistentes, foram locados e amostrados pontos utilizando-se trados manuais de 4 polegadas.

As amostras de solo foram separadas em intervalos regulares, ou, em alguns casos, por diferenças litológicas significativas. As alíquotas da zona não saturada foram analisadas no local pela determinação das concentrações de VOC', utilizando-se um fotoionizador GASTECH. As porções de solo que apresentaram as maiores concentrações de VOC obtidas em cada ponto de amostragem foram transferidas para frascos apropriados, sendo então preservadas e enviadas para determinação das concentrações de BTXE (Benzeno, Tolueno, Xilenos e Etilbenzeno) no laboratório CLS (E.U.A.).

As coletas foram realizadas seguindo os procedimentos da NBR-10.007. Entre os intervalos de amostragem, os equipamentos foram descontaminados seguindo-se as instruções do referido procedimento, evitando-se, desta forma, uma possível interferência na amostragem posterior.

#### b) Amostragem das águas subterrâneas

São coletadas amostras de águas subterrâneas provenientes dos poços de monitoramento instalados seguindo a NBR-13895.

Com o objetivo de garantir a representatividade das amostras coletadas com relação às condições do lenço freático, foi removido um volume aproximadamente 3 vezes o acumulado em cada poço, renovando-se desta forma suas águas.

Os equipamentos utilizados foram descontaminados entre as coletas, sendo as amostras acondicionadas e preservadas de acordo com as técnicas especificadas no procedimento. Posteriormente as mesmas foram enviadas para o laboratório DVN (EUA) para análise química dos parâmetros BTXE com cadeia de custódia, garantindo-se a preservação das mesmas desde o seu envio até o recebimento e posterior emissão dos laudos analíticos.



### 7.3 Ensaio Piloto do SVE/AS

#### a) Monitoramento de SVE

O monitoramento do SVE visa obter os dados de campo necessários aos cálculos de eficiência do sistema. Este monitoramento é realizado através das determinações em campo listadas na **Tabela 7.3.1.**

| <b>Tabela 7.3.1. Determinações em Campo - SEVS</b> |                 |                                      |                                                                                                       |
|----------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Parâmetro</b>                                   | <b>Símbolo</b>  | <b>Equipamento</b>                   | <b>Local</b>                                                                                          |
| Velocidade                                         | $V$             | Termo-anemômetro<br>VelociCalc Tsi   | Tubulação de Extração de Vapores                                                                      |
| Temperatura                                        | $T$             |                                      | Drenos de Extração de Vapores                                                                         |
| Umidade Relativa                                   | $RH$            |                                      | Unidade de Tratamento de Vapores                                                                      |
| Vácuo                                              | $Vac$           | Manômetro<br>Magnehelic              | Tubulação de Extração de Vapores<br>Drenos de Extração de Vapores                                     |
| VOC's                                              | $VOC$           | Fotoionizador<br>MiniRAE 2000        | Tubulação de Extração de Vapores<br>Drenos de Extração de Vapores<br>Unidade de Tratamento de Vapores |
| CO <sub>2</sub>                                    | CO <sub>2</sub> | Analizador de Gases<br>LANDTEC GA-90 | Tubulação de Extração de Vapores<br>Drenos de Extração de Vapores                                     |
| Pressão                                            | $P$             | Manômetro Dresser                    | Unidade de Tratamento de Vapores                                                                      |

#### b) Monitoramento do AS

O monitoramento do AS visa avaliar a influência da injeção de ar na oxigenação do aquífero. Este monitoramento consiste na execução das medições listadas na **Tabela 7.3.2.**



| <b>Tabela 7.3.2. Determinações em Campo – AS</b> |                    |                        |
|--------------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Parâmetro</b>                                 | <b>Equipamento</b> | <b>Local</b>           |
| Fluxo de ar                                      | Rotâmetros<br>GEMÜ | Poços de injeção       |
| Nível d'água                                     | Interface Meter    | Poços de Monitoramento |
| Espessura de fase imiscível                      |                    |                        |

#### **7.4. Implantação e Operação de Remediação**

##### **a) Instalação de drenos de extração de vapores**

Os drenos são construídos através de escavação manual, sendo aberta seis valas de 2,0 x 0,5 x 1,5 (comprimento x largura x profundidade) cada. Os drenos, instalados no interior destas valas, são compostos por tubo filtro de PVC Geomecânico, com o diâmetro de 2", acoplados com conexões de PVC que o interligam ao "header" de vapores.

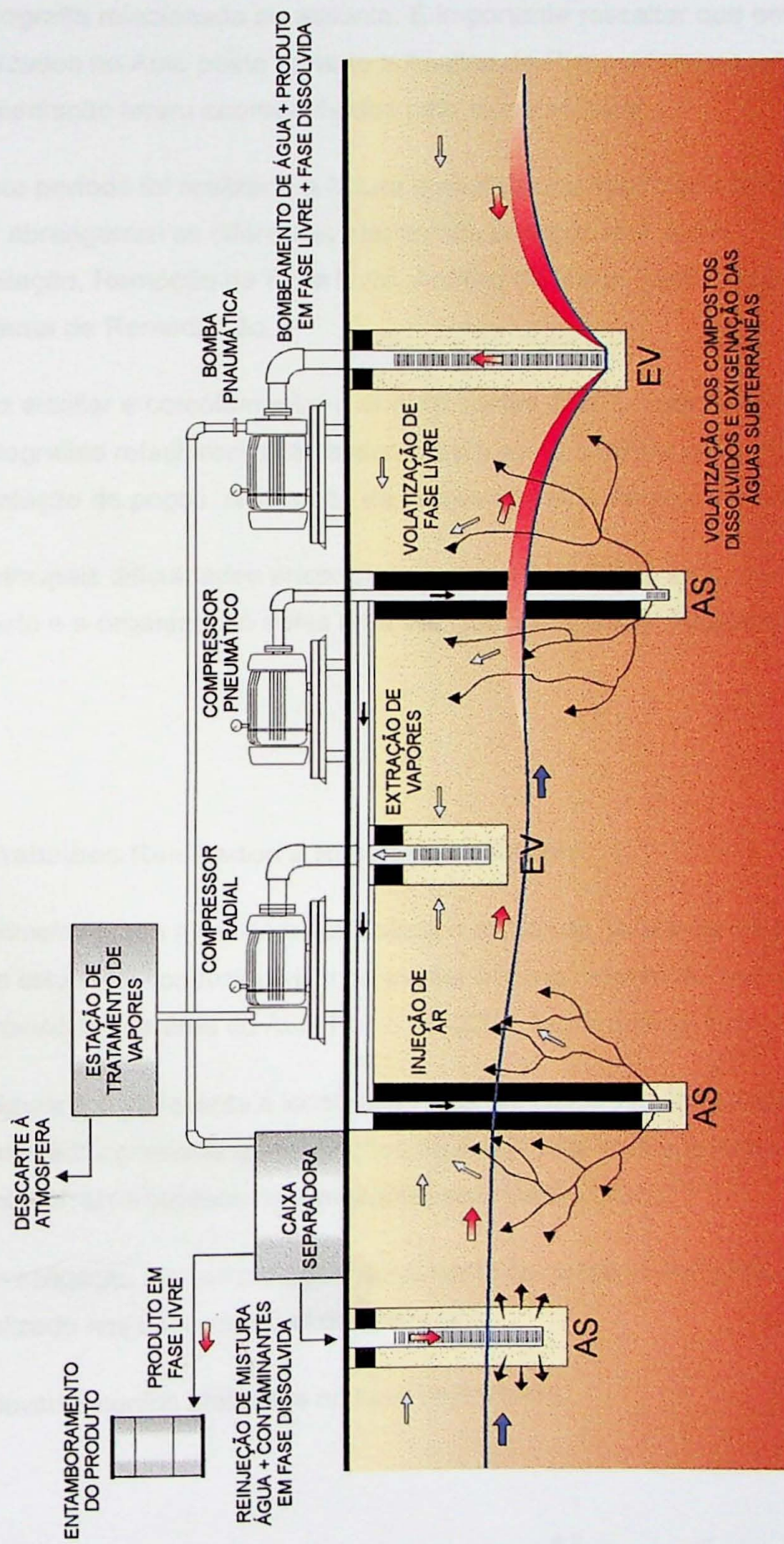
O fundo das valas é preenchido com areia tipo 3 (pré-filtro), de maneira a cobrir completamente o tubo filtro. Acima desse leito de areia é colocada uma manta geotêxtil, sendo o restante da vala preenchida com bentonita.

##### **b) Instalação dos poços de injeção de ar.**

Os poços são instalados através de sondagens a trado manual, no diâmetro de 4". Os poços são constituídos por tubos de PVC no diâmetro de 1", ranhurado apenas nos últimos 30 cm. O espaço anelar entre o tubo e a parede da sondagem é cuidadosamente preenchido com areia até 5 cm acima do topo das ranhuras, sendo empregada bentonita em todo o restante do furo. A **Figura 7.4.1.** mostra o perfil esquemático da operação de SVE/AS.



**FIGURA 7.4.1. - SVE / AIR SPARGING**



Fluxo de águas subterrâneas + contaminantes

Fluxo de ar

Fluxo de vapores

Direção do fluxo das águas subterrâneas



## **8. Desenvolvimento do Trabalho**

No período compreendido entre março e outubro de 2001 foram realizadas leituras e interpretações dos relatórios elaborados pela Consultora bem como a leitura de bibliografia relacionada ao assunto. É importante ressaltar que em muitos serviços realizados no Auto posto durante a Análise de Risco e Implantação da Operação de Remediação foram acompanhados pelo aluno no local.

Neste período foi realizada a leitura e análise dos relatórios elaborados pela consultora que abrangeram as diferentes etapas dos serviços realizados no auto posto como a Avaliação, Remoção de Fase Livre, Análise de Risco, Modelamento e Implantação do Sistema de Remediação.

Para auxiliar e complementar a análise destes dados foram realizadas leituras de bibliografias relacionadas ao assunto bem como a leitura de normas utilizadas para a instalação de poços, realização de amostragens, de ensaios e demais atividades.

A principais dificuldades encontrada foram a reunião de todos os dados disponíveis do projeto e a organização deles uma vez que estes estão divididos em relatórios individuais.

## **9. Trabalhos Realizados e Resultados Obtidos**

O primeiro passo a ser dado foi realizar o estudo da avaliação do solo e aquífero freático. Este estudo foi conduzido visando avaliar a contaminação do solo e aquífero freático por combustíveis na área do Auto Posto TF-2001, localizado na Avenida Fernanda Ferrari, S/N.

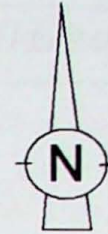
A **Figura 9.1.** apresenta a localização e as principais vias de acesso da área enfocada e a **Figura 9.2.** apresenta as instalações do Auto Posto com a localização das linhas de combustíveis e tanques de armazenamento subterrâneos.

A investigação foi motivada pelo surgimento de gasolina em um poço de abastecimento localizado nas dependências do Auto-Posto.

Os levantamentos efetuados no local objetivaram:



Figura 9.1. - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO DO AUTO POSTO TF-2001.



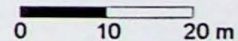
Fonte: Guia São Paulo (1995)

Sem escala



The map illustrates the urban layout of the Vila das Flores neighborhood. It features a grid of streets: **AVENIDA FERNANDO FERRARI** running horizontally at the bottom, **AVENIDA FRANCISCO FERRARI** running diagonally on the left, **RUA Nanci Ferrari** running horizontally at the top, and **TRAVESSA ALZIRA FORTUNATO** running horizontally in the middle. A large area is designated as **ÁREA OCUPADA POR RESIDÊNCIAS** (Area occupied by residences). The building footprints are detailed with labels: **LOJA** (Store), **RESIDÊNCIA** (Residence), **POSTO** (Post), **LOJA DE BEBIDAS** (Beverage store), **ESCRIT.** (Office), **LAVAGEM** (Car wash), and several small plots labeled **D**, **GA**, and **AA**. A north arrow is located in the top left corner, and a scale bar (0 to 20 meters) is in the bottom right corner. The word **LEGENDA** (Legend) is positioned at the bottom left.

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| <b>GCAC</b> | Ilha de abastecimento |
| <b>GA</b>   | Tanque de combustível |





- Caracterização da área sob o ponto de vista geológico e hidrogeológico, ou seja, definição das camadas constituintes do subsolo, dos aquíferos existentes, da profundidade do nível d'água, do sentido do fluxo subterrâneo e da permeabilidade do substrato;
- Identificação e quantificação (relativa) dos indícios de combustíveis no solo e lençol freático;
- Instalação de poços de monitoramento em zonas contendo combustíveis, para amostragem e monitoramento do lençol freático;
- Instalação de poço de monitoramento em zona não contaminada, em função do monitoramento permanente do aquífero;
- Verificação da existência de fase imiscível sobrenadante nos poços de monitoramento instalados;
- Estimativa da área contaminada; e
- Avaliação integrada dos dados e definição de procedimentos adicionais.

Executaram-se, no período de 13 a 23/02/96, 31 sondagens a trado manual, com profundidade máxima de 6,40 m, totalizando 107,40 m, distribuídas pelas instalações do Auto Posto e suas imediações da seguinte forma:

- 24 nas instalações do Auto Posto.
- 6 na Travessa Alzira Fortunato, localizada ao lado e juzante do Auto Posto.
- 1 na Rua Nanci Ferrari, paralela a Travessa Alzira Fortunato.

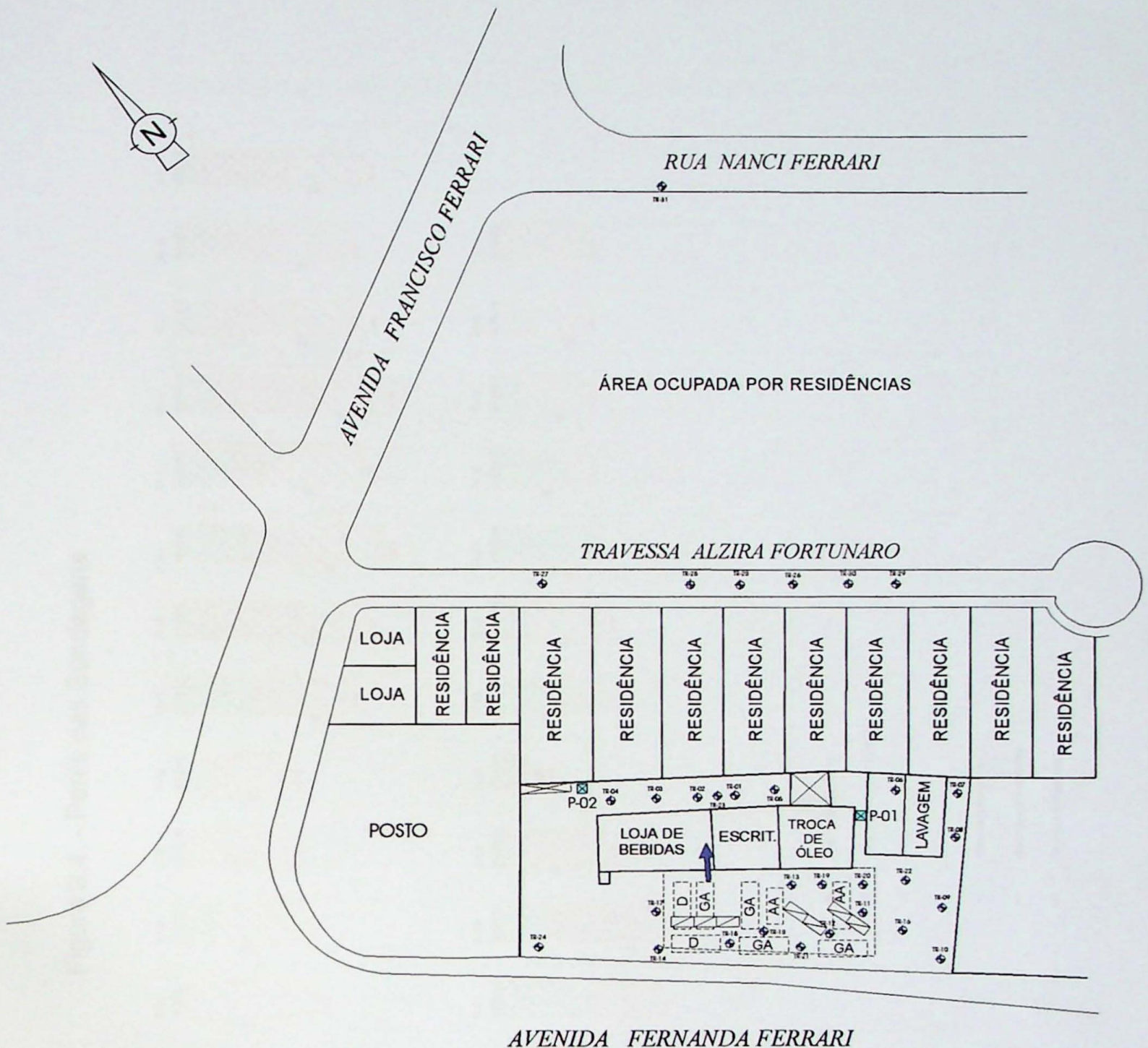
A discriminação destes serviços encontra-se na **Tabela 9.1.** (Resumo dos Serviços de Sondagem a Trado).

A localização em planta das sondagens executadas e dos tanques subterrâneos pode ser verificada na **Figura 9.3.**

A **Figura 9.4.** apresenta as litologias interceptadas nas sondagens a trado com a indicação do trecho contaminado, a discriminação do produto e a profundidade do nível d'água com a data de leitura.



Figura 9.3. - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS A TRADO



LEGENDA

- GCAC Ilha de abastecimento
- GA Tanque de combustível
- P-01 Poço raso de abastecimento
- + Sondagens a trado

0 10 20 m



Figura 9.4. - Perfis das Sondagens





| TABELA 9.1.- RESUMO DOS SERVIÇOS DE SONDAGEM A TRADO |              |
|------------------------------------------------------|--------------|
| Nº DA SONDAGEM                                       | PROFUNDIDADE |
| TR-01                                                | 3,50         |
| TR-02                                                | 3,50         |
| TR-03                                                | 3,50         |
| TR-04                                                | 3,50         |
| TR-05                                                | 3,80         |
| TR-06                                                | 3,50         |
| TR-07                                                | 4,00         |
| TR-08                                                | 3,00         |
| TR-09                                                | 4,50         |
| TR-10                                                | 5,00         |
| TR-11                                                | 5,50         |
| TR-12                                                | 5,00         |
| TR-13                                                | 5,50         |
| TR-14                                                | 5,00         |
| TR-15                                                | 4,50         |
| TR-16                                                | 5,00         |
| TR-17                                                | 6,40         |
| TR-18                                                | 4,50         |
| TR-19                                                | 5,40         |
| TR-20                                                | 5,00         |
| TR-21                                                | 4,40         |
| TR-22                                                | 4,50         |
| TR-23                                                | 3,00         |
| TR-24                                                | 0,90*        |
| TR-25                                                | 3,00         |
| TR-26                                                | 3,00         |
| TR-27                                                | 3,00         |
| TR-28                                                | 2,50         |
| TR-29                                                | 2,50         |
| TR-30                                                | 2,50         |
| TR-31                                                | 2,50         |
| TOTAL                                                | 107,40       |

\* impenetrável ao trado

Em função dos resultados obtidos nas sondagens a trado foram locados e instalados 6 poços de monitoramento de 4" e um poço de monitoramento de 2" entre os dias 17 e 24/02/96, visando o acompanhamento permanente do lençol freático bem como a eventual remoção de fase livre da área através de bombeamento e separação dos combustíveis da água. A **Tabela 9.2.** resume os serviços de instalação dos poços de monitoramento.



| <b>TABELA 9.2. - RESUMO DOS SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO</b> |                     |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| POÇO DE MONITORAMENTO                                                             | PROFUNDIDADE<br>(m) | SEÇÃO FILTRANTE<br>(m) |
| PM - 01                                                                           | 6,00                | 1,0-6,0                |
| PM - 02                                                                           | 6,00                | 1,0-6,0                |
| PM - 03                                                                           | 6,00                | 1,0-6,0                |
| PM - 04                                                                           | 5,00                | 1,0-6,0                |
| PM - 05                                                                           | 5,00                | 1,0-5,0                |
| PM - 06                                                                           | 4,00                | 1,0-4,0                |
| PM - 07                                                                           | 4,00                | 1,0-4,0*               |
| TOTAL                                                                             | 36,00               | -                      |

\* Poço instalado com 2" de diâmetro

Para instalação dos poços de monitoramento de 4" foram realizadas sondagens a trado manual, em diâmetro de 6" e para a instalação do poço de monitoramento de 2" foi realizada sondagem de 4" de diâmetro.

Afim de obter a carga hidráulica dos poços instalados para a confecção do mapa potenciométrico foi realizado o levantamento topográfico através do processo de nivelamento geométrico, onde a partir de uma estação fixa, foram executadas irradiações para a determinação da locação e nivelamento da cota superior dos furos a trado e dos poços de monitoramento.

As cotas topográficas foram determinadas em relação a um ponto situado no interior do Auto Posto ao qual foi atribuída a cota 100,00.

No dia 25/02/96 foram realizadas leituras do nível d'água estabilizado e da fase imiscível de combustível nos poços de monitoramento. Os valores obtidos estão na **Tabela 9.3.**

A partir destes valores foi elaborado um mapa potenciométrico, através da interpolação dos valores de carga hidráulica em curvas equipotenciais.



| TABELA 9.3. - MEDIÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA NOS POÇOS DE MONITORAMENTO |          |         |                 |                        |                     |
|------------------------------------------------------------------|----------|---------|-----------------|------------------------|---------------------|
| POÇO                                                             | COTA (M) | N.A (M) | Fase Livre (cm) | N.A (m)<br>(corrigido) | Carga<br>Hidraulica |
| PM-01                                                            | 99,69    | 3,66    | Ausente         | 3,66                   | 96,03               |
| PM-02                                                            | 99,79    | 3,89    | Ausente         | 3,89                   | 95,90               |
| PM-03                                                            | 100,02   | 4,41    | 3               | 4,42                   | 95,61               |
| PM-04                                                            | 97,25    | 1,86    | 25              | 1,95                   | 95,39               |
| PM-05                                                            | 97,33    | 1,94    | 63              | 2,17                   | 95,39               |
| PM-06                                                            | 96,76    | 1,95    | 15              | 2,01                   | 94,81               |
| PM-07                                                            | 95,09    | 1,50    | Ausente         | 1,50                   | 93,59               |

Foram realizados no dia 01/03/96 novas leituras da fase livre e do nível d' água e novos ensaios de permeabilidade do tipo "Slug Test" nos poços de monitoramento PM-01 e PM-07 e de Vazão Constante no PM-02, para a determinação de condutividade hidráulica. (Tabela 9.4.) Nestes poços não foram observadas medidas de fase livre.

| TABELA 9.4. - RESULTADO DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE |                     |                                  |
|-------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| POÇO DE MONITORAMENTO                                 | FASE IMISCÍVEL (cm) | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA K(cm/s) |
| PM-01                                                 | 0                   | $1,64 \times 10^{-4}$            |
| PM-02                                                 | 0                   | $4,65 \times 10^{-3}$            |
| PM-03                                                 | 3                   | não realizado*                   |
| PM-04                                                 | 25                  | não realizado*                   |
| PM-05                                                 | 63                  | não realizado*                   |
| PM-06                                                 | 15                  | não realizado*                   |
| PM-07                                                 | 0                   | $8,86 \times 10^{-3}$            |
| Média                                                 |                     | $4,6 \times 10^{-4}$             |

• devido a presença de fase imiscível

A caracterização da Geologia local foi realizada utilizando-se os dados obtidos nas sondagens a trado realizadas na área do Auto Posto e nas suas proximidades.



O Auto Posto TF-2001. assenta-se sobre sedimentos Terciários da Formação São Paulo. A **Figura 9.5.** apresenta o Mapa Geológico Regional, juntamente com a localização do auto posto.

Os sedimentos Terciários são caracterizados por camadas argilo-arenosas intercaladas com camadas e lentes arenosas e areno-argilosas de boa compactidade e podendo apresentar grande variação litológica lateral e vertical devido principalmente às condições deposicionais.

Nos locais onde predominam as areias finas e médias é observada alta permeabilidade dos sedimentos.

Na área de estudo, as sondagens efetuadas permitiram identificar até a profundidade máxima investigada (6,40 metros), três tipos de aterros sendo o predominante de composição argilo-arenosa, que recobre os sedimentos Terciários.

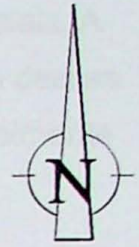
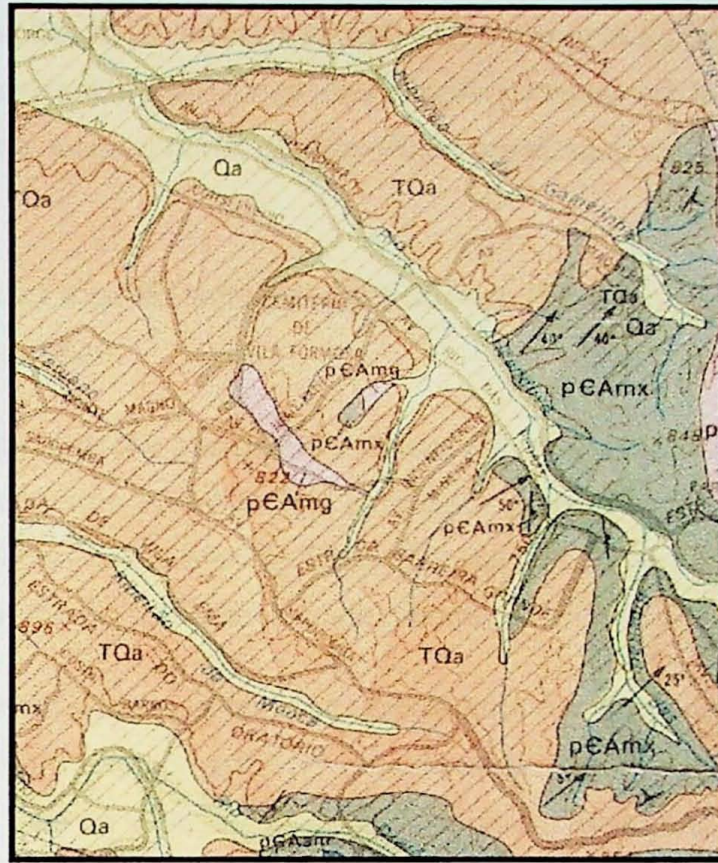
No Auto Posto TF-2001 e em suas imediações, até a profundidade máxima investigada (6,40 metros), foi encontrado um aquífero de caráter livre, constituído por areias finas argilosas da Formação São Paulo, com profundidade variando de 4,0 a 1,0 metros.

O aquífero estudado no caso é denominado Sistema Aquífero Sedimentar, que é o mais importante por ser o mais explorado e por abrigar a maior parte da metrópole. A altitude média das colinas sedimentares situa-se ao redor da cota 760 metros, atingindo um máximo de 840 metros no espigão da Avenida Paulista e um mínimo de 710 metros na soleira do Barueri, onde o sistema se encontra hidráulicamente fechado (Rocha *et al.* 1989). De acordo com a geologia dos sedimentos, as condições de ocorrência de água subterrânea são de aquífero semi-confinado, de porosidade primária (intergranular), heterogêneo e anisotrópico. Ocorrência de artesianismo do aquífero sedimentar foi verificada em poços construídos entre 1890 e 1910 na região da Várzea do Carmo, atual Parque Dom Pedro II (Marques Silva & Basano Filho 1972). Tal ocorrência não foi mais atestada na bacia devido, provavelmente, à contínua exploração da água subterrânea ao longo dos anos.

As características do aquífero sedimentar no que diz respeito à sua heterogenidade são bem exemplificadas nos trabalhos de Chiossi (1974 e 1980), onde o autor verifica a existência de vários aquíferos suspensos e independentes, através da análise de sondagens geotécnicas rasas executadas para a construção do Metrô.



Figura 9.5. - Mapa Geológico



LEGENDA

CENOZÓICO

Quaternário



Aluviões Fluviais: Argila, Areia e Cascalho

Terciário



Argilas, Arelas e Cascalhos da Formação São Paulo e da Formação Caçapava (Grupo Taubaté)

PRÉ-CAMBRIANO



Migmatitos e Gnaisse Graníticos



Micaxistos e/ou meta arenitos de médio grau metamórfico

Escala 1:100.000



A partir dos valores das medições do nível d'água efetuadas nos poços de monitoramento em 25/02/96, foi elaborado o mapa Potenciométrico da área através da interpolação dos valores de carga hidráulica (cota topográfica do nível d'água) em linhas equipotenciais, **Figura 9.6.** O fluxo subterrâneo foi traçado perpendicularmente às linhas equipotenciais. A análise deste mapa evidencia a presença uma direção preferencial de deslocamento dessas águas, com sentido de sul para norte, do Auto Posto em direção ao Rio do Vina, atualmente canalizado.

A **Figura 9.7.** apresenta a seção hidrogeológica do Auto Posto, onde é possível observar o sentido do fluxo subterrâneo.

Uma solução exata da equação que governa o fluxo subterrâneo é virtualmente impossível de ser encontrada. A enorme complexidade apresentada pelos canais de escoamento torna inviável qualquer tentativa nesse sentido. Essa dificuldade é contornada pela adoção de valores médios nas variáveis hidráulicas e nas propriedades do meio poroso.

Das grandezas hidráulicas mais conhecidas, a pressão e a massa específica mantêm o mesmo significado dado na hidromecânica. O conceito de velocidade, no entanto, é diferente do tradicional, isto é, taxa de variação do deslocamento em relação ao tempo. Velocidade da água subterrânea ou velocidade de Darcy é um fluxo volumétrico definido pelo volume escoado por unidade de área total (grãos e vazios) e por unidade de tempo. A velocidade Darcy é um fluxo macroscópico, definido em um elemento representativo de área total.

A velocidade de migração das águas subterrâneas foi calculada em função do padrão do fluxo e dos parâmetros hidrogeológicos da matriz do aquífero, de acordo com a Lei de Darcy, através da expressão:

$$V = \frac{K \cdot i}{n_e}$$

onde:

$V$  = Velocidade das águas subterrâneas (L/T)

$K$  = Condutividade hidráulica (L/T)



Figura 9.6. - MAPA POTENCIOMÉTRICO

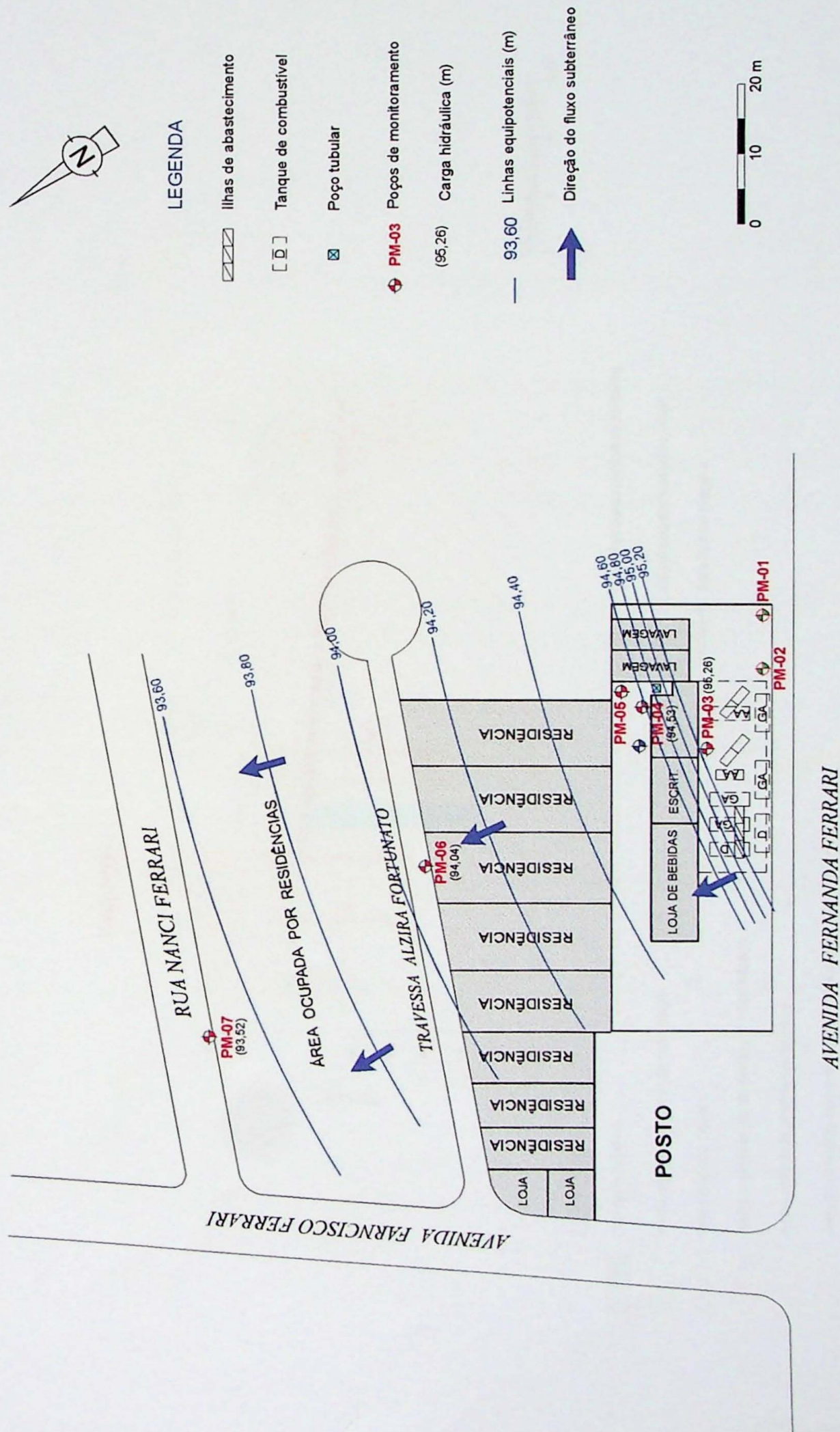
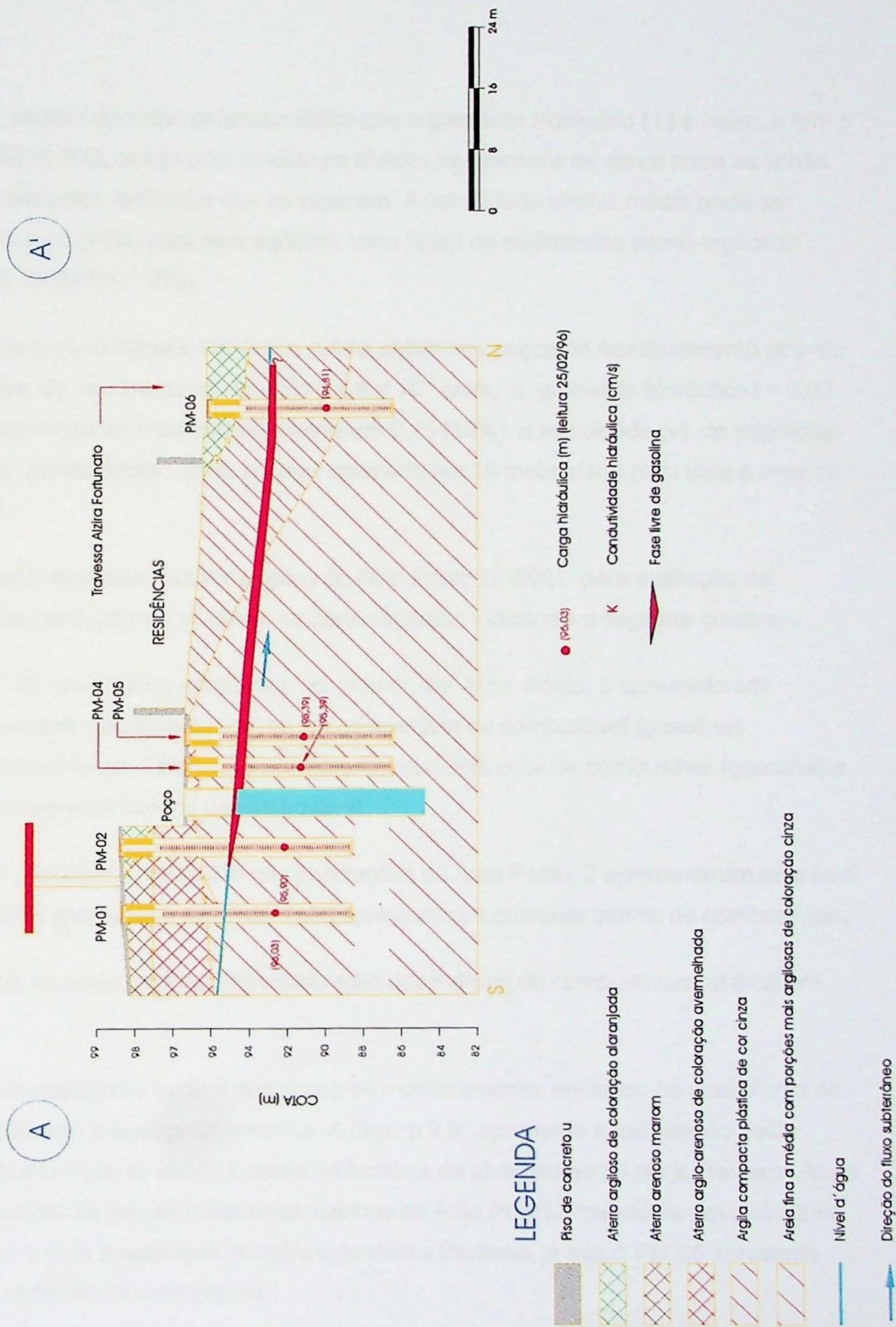




Figura 9.7.. - Secção Hidrogeológica





$i$  = Gradiente hidráulico (L/L)

$n_e$  = Porosidade efetiva ( $L^3/L^3$ )

Conclui-se através do mapa potenciométrico que o gradiente hidráulico ( $i$ ) é baixo, e tem o valor de 0,02 (2,0%), obtido pelo produto da divisão da diferença de altura entre as linhas equipotenciais pelas distâncias que as separam. A porosidade efetiva média pode ser estimada de 0,15 (15%) para este aquífero, valor típico de sedimentos areno-argilosos (FREEZE & CHERRY, 1979).

Adotando-se a condutividade hidráulica média obtida nos poços de monitoramento através dos ensaios de recuperação,  $K_{\text{médio}} = 4,6 \times 10^{-4}$  cm/s, o gradiente hidráulico  $i = 0,02$  (2,0%) e estimando-se a porosidade efetiva em 0,15 (15%), a velocidade ( $v$ ) de migração das águas subterrâneas, pode ser aqui estimada em 19 metros/ano para toda a área do Auto Posto.

As sondagens efetuadas nas instalações do Auto Posto TF-2001. para avaliação da existência de combustíveis no solo e na zona saturada, indicaram o seguinte quadro:

Dentre as 24 sondagens efetuadas no interior do Auto Posto, 5 apresentaram presença de combustível (gasolina) no solo e fase livre de combustível (gasolina) sobrenadante ao lençol freático, 7 apresentaram somente odor de combustível (gasolina) e 11 não apresentaram indícios de combustível.

Dentre as 7 sondagens realizadas nas imediações do Auto Posto, 2 apresentaram fase livre de combustível (gasolina) e as demais não apresentaram qualquer indício de combustíveis.

A **Figura 9.8.** apresenta o mapa de distribuição dos indícios de combustíveis na área em estudo.

A partir das sondagens a trado e dos poços de monitoramento, delimitou-se uma pluma de contaminação com presença de gasolina. A **Figura 9.9.** apresenta a localização desta pluma em planta. Esta se distribui desde as bombas de abastecimento até a Travessa Alzira Fortunato, passando sob as residências vizinhas ao Auto Posto. Esta pluma deve ainda se estender por sob as residências do outro lado dessa travessa, já que o PM-06 apresenta espessura de 15 cm de combustível.

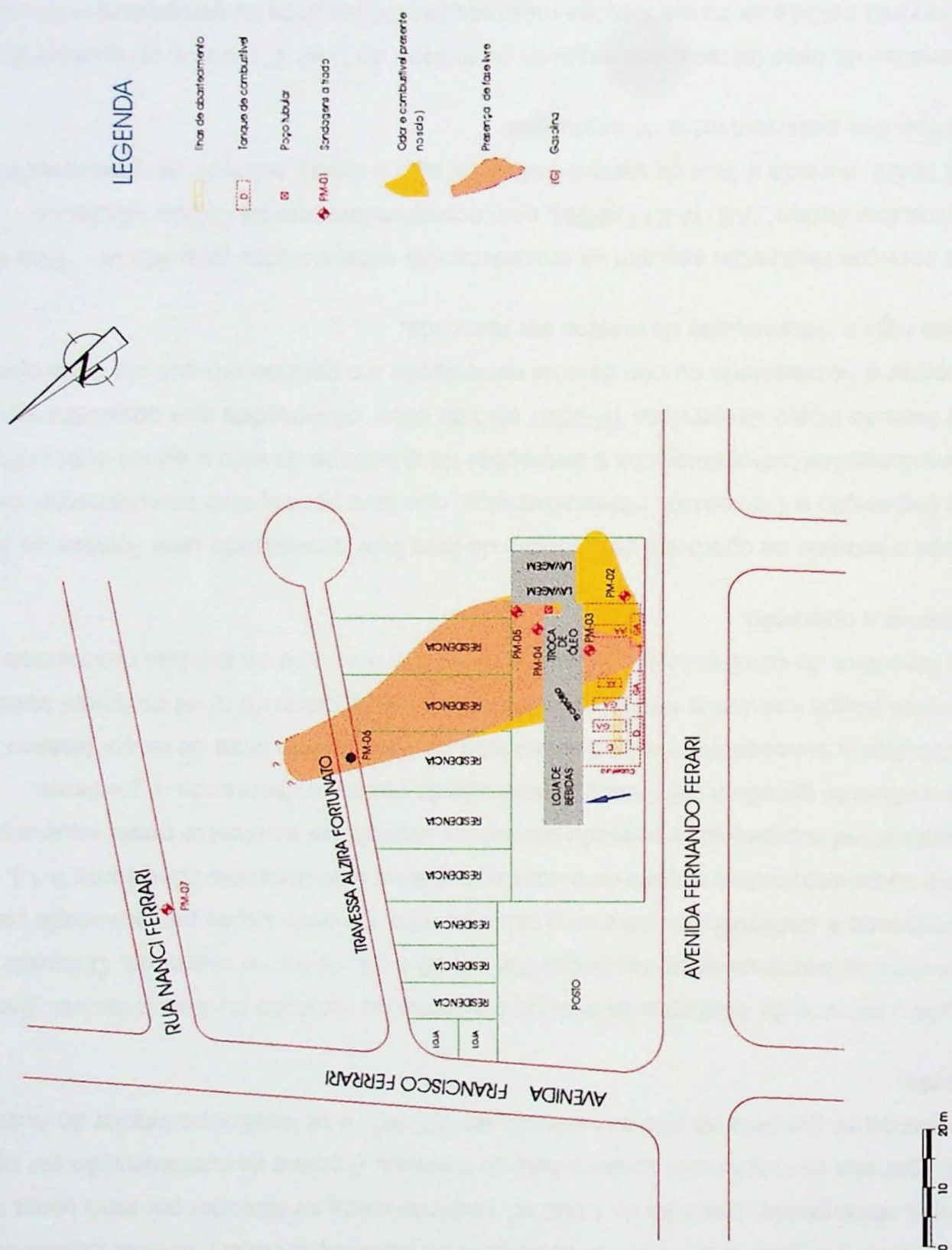


Figura 9.8. - Distribuição dos Índícios





Figura 9.9 - Pluma de Fase Imiscível





As instalações do Auto TF-2001. e as suas proximidades ocupam uma área aproximada de 4.500 m<sup>2</sup>. A pluma de contaminação de gasolina em fase livre ou presente no solo ocupa uma faixa alongada que vai desde as bombas de distribuição até a Travessa Coleira do Brejo, abrangendo uma área de 1.300 m<sup>2</sup>, podendo ainda se estender por mais cerca de 150 m<sup>2</sup>, por sob as residências do outro lado da travessa. A pluma de contaminação por odor e presença de gasolina no solo foi estimada em 300 m<sup>2</sup>, e se localiza no interior do Auto-Posto.

Após o término da avaliação foi iniciado o sistema de remoção da fase imiscível. Este consiste no bombeamento dos poços PM-04, 05 e 10, de forma alternada. O líquido bombeado é encaminhado para uma caixa pulmão, de onde escoar por gravidade para uma caixa separadora dotada de placas corrugadas e coalescentes (**Esquema 9.1.**). O combustível recuperado é coletado em saídas específicas existentes neste equipamento. Já o efluente gerado é reinfiltrado a montante da pluma, aumentando o gradiente hidráulico e consequentemente a velocidade de escoamento local do lençol freático. Nos demais poços instalados foi efetuado o monitoramento diário do nível do lençol freático e da fase livre de combustível. A **Figura 9.10** mostra o volume de produto recuperado durante a operação.

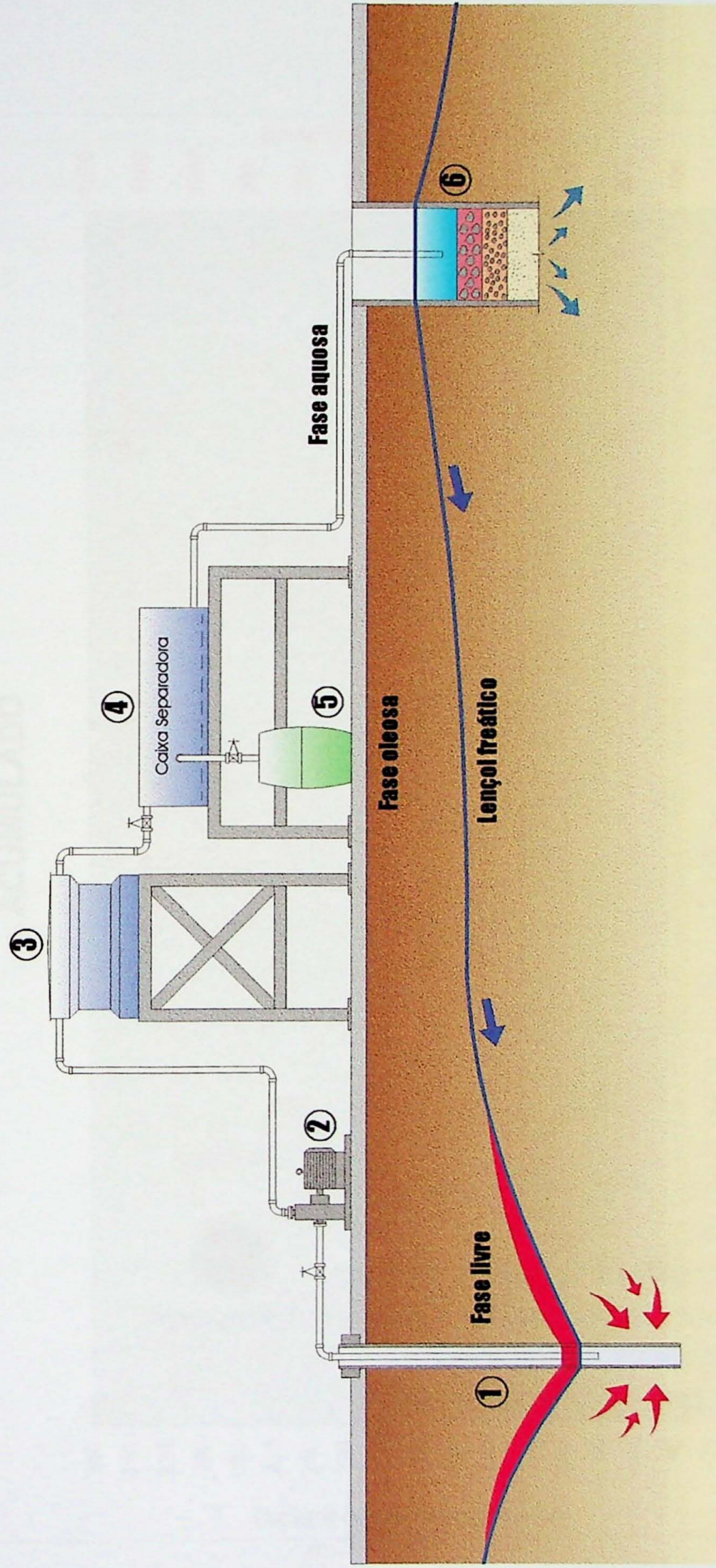
Após o término da operação de remoção de fase livre foi realizada uma Análise de Risco de Exposição a Compostos Hidrocarbonetos. que teve por objetivo complementar os levantamentos hidrogeológicos e avaliações da qualidade do solo e águas subterrâneas na área do Posto de Serviços TF-2001 afim de obter informações que possibilitaram apontar a necessidade ou não de uma remediação e o período em que ela deve operar caso haja a necessidade da mesma ser realizada.

Os serviços realizados seguem os procedimentos estabelecidos pelo RBCA - "Risk Based Corrective Action" (ASTM E1739-95), com acompanhamento do Órgão Ambiental - CETESB, durante a fase de campo (coleta de solo e água), além do reconhecimento em campo das possíveis rotas de exposição.

A análise de risco foi realizada segundo os moldes do "Tier 2" para os compostos BTXE. O modelo calcula as concentrações máximas permitidas para os compostos analisados, baseando-se nos dados fornecidos. A partir das investigações e do modelamento, será possível se dimensionar a real magnitude dos riscos ambientais, além de embasar eventuais ações de remediação.



## Esquema 9.1.- Bombeamento e Caixa Separadora

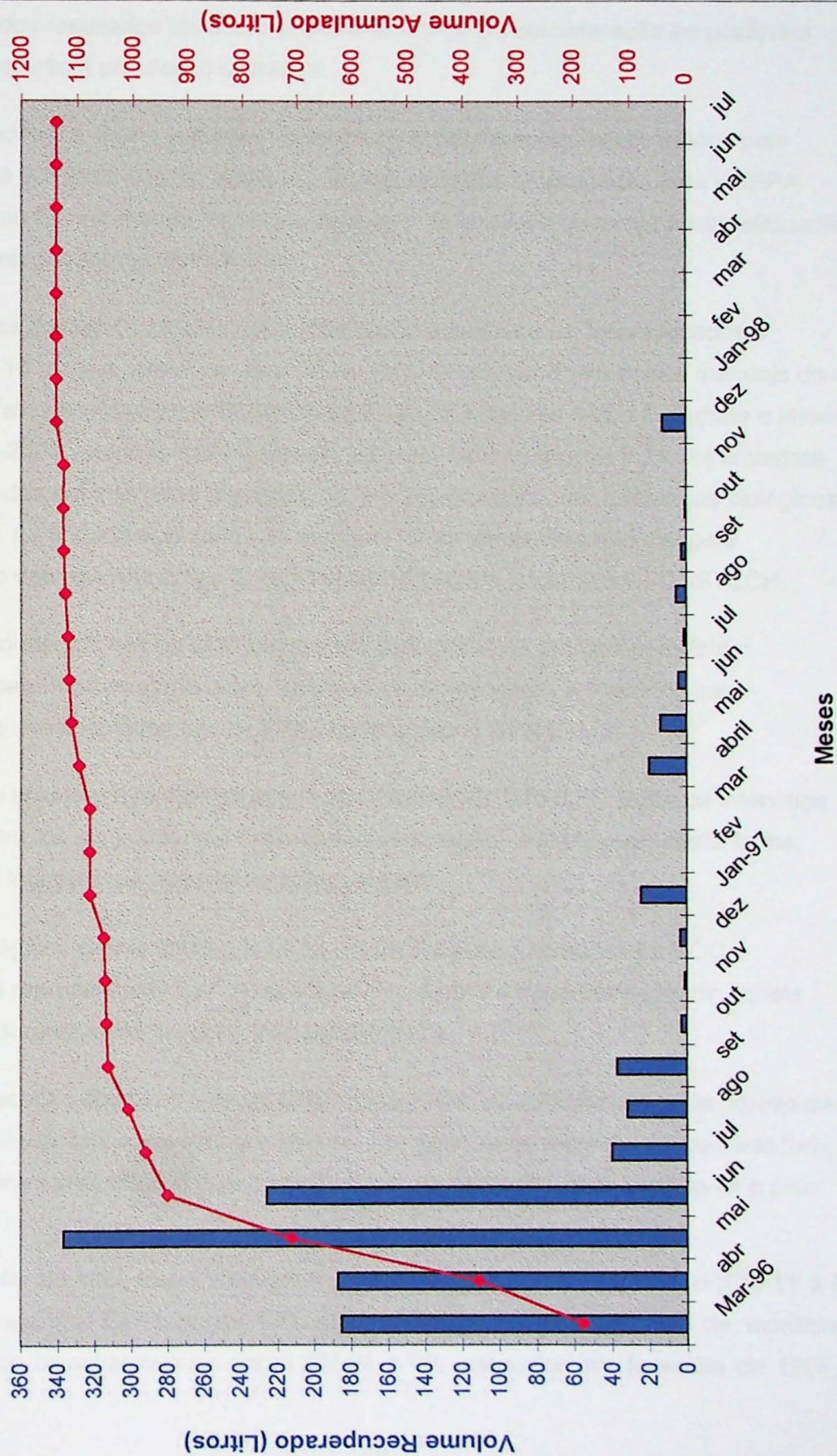


### LEGENDA

- |                            |                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| ① Poço de bombeamento      | ⑤ Bombona de armazenamento de combustível |
| ② Bomba                    | ⑥ Poço de reinfiltração                   |
| ③ Caixa reguladora         |                                           |
| ④ Separador de água e óleo |                                           |



**FIGURA 9.10. - GRÁFICO DE VOLUME RECUPERADO / VOLUME ACUMULADO**





Os serviços realizados foram conduzidos de forma a abranger toda a área em estudo, através do levantamento de dados existentes, coleta de novas amostras de solo e água e modelagem dos resultados obtidos, sempre levando-se em consideração as possíveis rotas de exposição à população envolvida.

Quando disponíveis, foram seguidas as normas e procedimentos estabelecidos pela CETESB. Na ausência destas, adotou-se as metodologias empregadas pela USEPA ("United States Environmental Protection Agency"). As análises químicas foram efetuadas em instituições de renome internacional.

Com base nas análises e interpretações dos dados preexistentes, foram locados e amostrados 10 pontos entre os dias 10 e 11/11/97 utilizando-se trados manuais de 4 polegadas. Estes pontos concentraram-se ao longo da Travessa Alzira Fortunato e interior do posto TF-2001, estando sua localização representada na **Figura 9.11**. As amostras foram separadas em intervalos regulares, ou, em alguns casos, por diferenças litológicas significativas. As alíquotas da zona não saturada foram analisadas no local pela determinação das concentrações de VOC utilizando-se um fotoionizador GASTECH.

As maiores concentrações de VOC obtidas em cada ponto de amostragem foram transferidas para frascos apropriados, sendo então preservadas e enviadas para determinação das concentrações de BTXE no laboratório DVN (E.U.A.).

As coletas de solo foram realizadas seguindo a Norma NBR-10.007. Entre os intervalos de amostragem, os equipamentos foram descontaminados, evitando-se, desta forma, uma possível interferência na amostragem posterior.

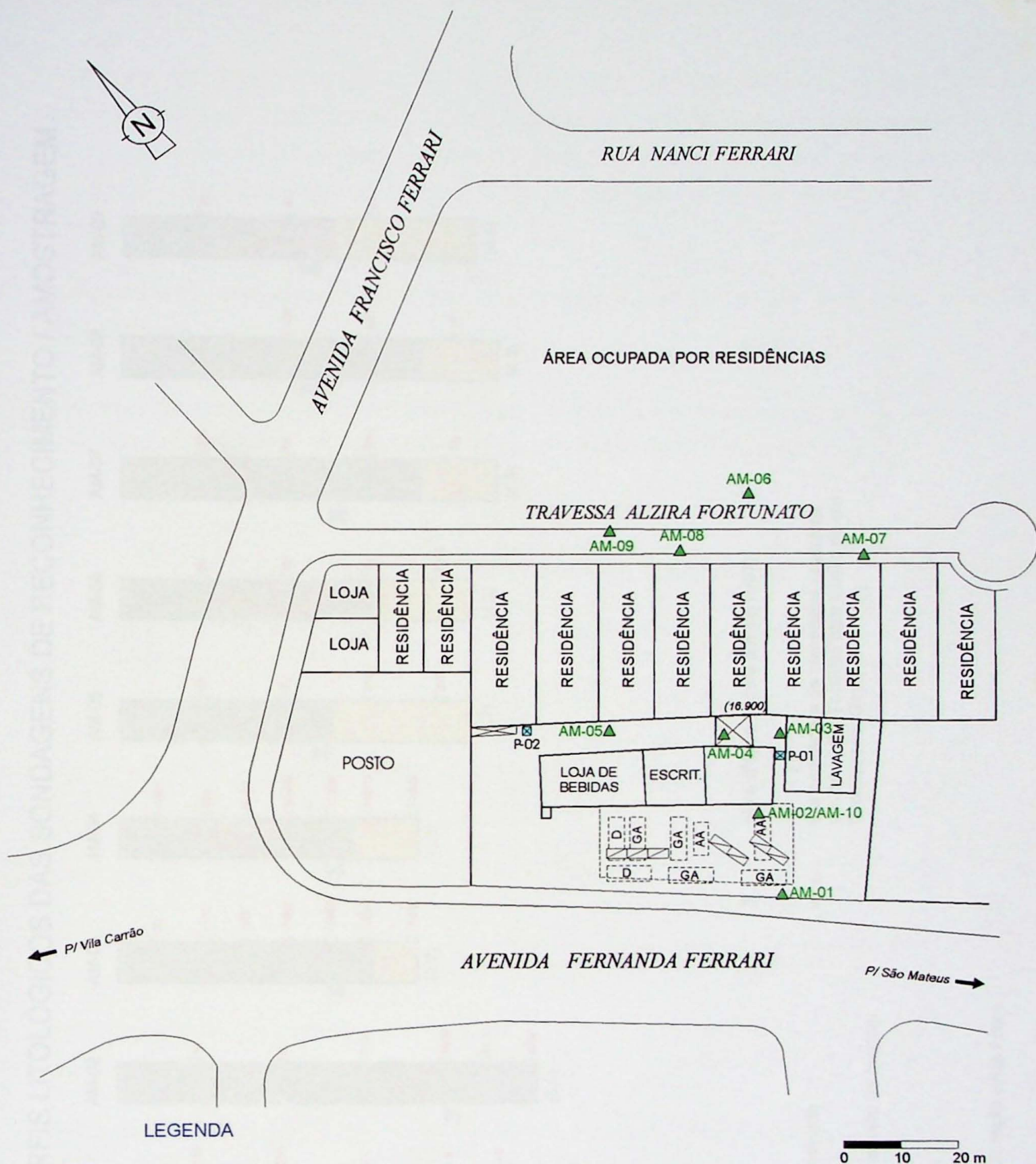
Os perfis litológicos destas sondagens e as respectivas concentrações de VOC encontram-se representadas na **Figura 9.12**. Nela, o nível d'água corresponde àquele interceptado durante estes serviços (não estabilizado).

Durante a execução dos furos a trado, foram observadas as características da porção da zona não saturada, tais como litologia, textura, cor, odor. Após a conclusão de cada furo, os mesmos foram preenchidos com o solo removido e bentonita, recompondo-se o piso original.

Após a coleta de solo, foram instalados 6 novos poços de monitoramento (PM-11 a PM-16) em duas polegadas. Estes poços visaram a complementação da rede de monitoramento existente. Cabe ressaltar que os poços PM-01 e 02, instalados em fevereiro de 1996, foram



Figura 9.11. - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLO



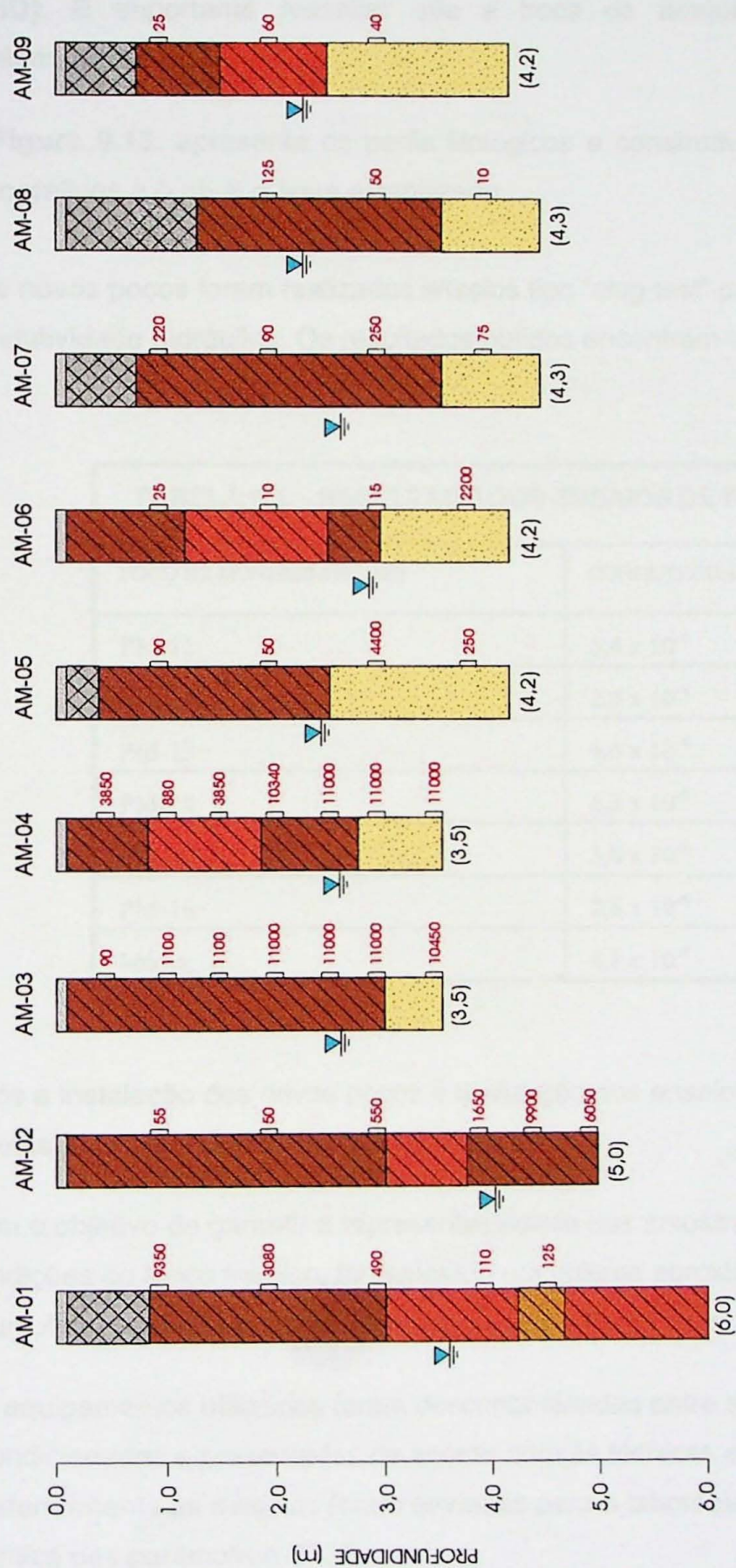
LEGENDA

- GCAC Ilha de abastecimento
- GA Tanque de combustível
- P-01 Poço raso de abastecimento
- ▲ AM-01 Amostra de solo

0 10 20 m



Figura 9.12. - PERFIS LITOLÓGICOS DAS SONDAGENS DE RECONHECIMENTO / AMOSTRAGEM



### LEGENDA

- Piso de concreto
- Aterro argilo-arenoso avermelhado
- Argila arenosa, coloração variando de marrom avermelhada a cinza
- Argila siltosa coloração ocre
- Argila compacta plástica, coloração cinza / ocre
- Areia final, pouco argilosa, micácea

Nível d'água (leitura em 13/11/97)

250 ppm

Concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC) obtidas com auxílio de um fotoionizador Gastech



destruídos durante a remoção e substituição dos antigos tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis. Foram instalados no posto tanques de duplo revestimento. As linhas de distribuição também foram substituídas por tubos de Polietileno de Alta Densidade (PHD). É importante ressaltar que a troca de tanques e linhas eliminou a fonte da contaminação.

A **Figura 9.13.** apresenta os perfis litológicos e construtivos dos poços, bem como as cotas topográficas e o nível d'água estabilizado.

Nos novos poços foram realizados ensaios tipo "slug test" para determinação da condutividade hidráulica. Os resultados obtidos encontram-se na **Tabela 9.5.**

| TABELA 9.5. - RESULTADO DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE |                                     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| POÇO DE MONITORAMENTO                                 | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA – K (cm/s) |
| PM-11                                                 | $5,4 \times 10^{-4}$                |
| PM-12                                                 | $2,6 \times 10^{-4}$                |
| PM-13                                                 | $4,6 \times 10^{-4}$                |
| PM-14                                                 | $6,3 \times 10^{-4}$                |
| PM-15                                                 | $3,0 \times 10^{-4}$                |
| PM-16                                                 | $2,6 \times 10^{-4}$                |
| Média                                                 | $4,1 \times 10^{-4}$                |

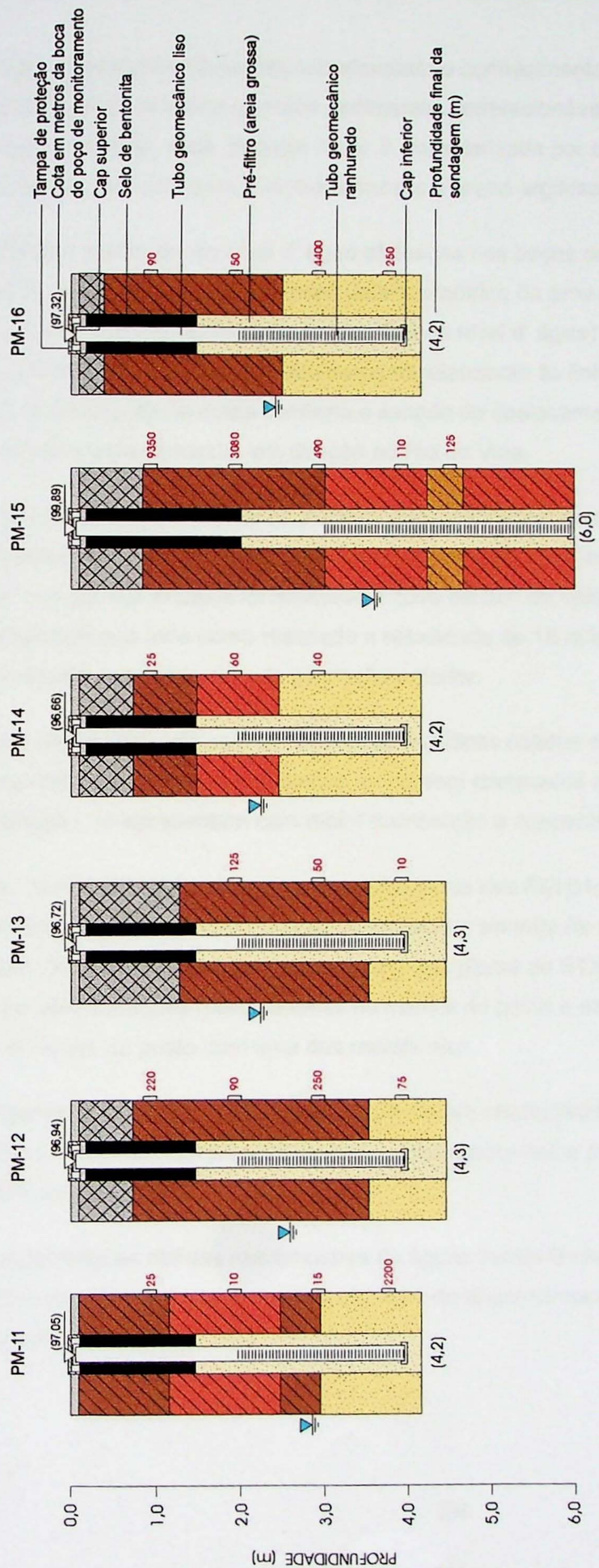
Após a instalação dos novos poços e realização dos ensaios de permeabilidade foram coletas 7 amostras de águas subterrâneas.

Com o objetivo de garantir a representatividade das amostras coletadas com relação às condições do lenço freático, foi removido um volume aproximadamente 3 vezes o acumulado em cada poço, renovando-se desta forma suas águas.

Os equipamentos utilizados foram descontaminados entre as coletas, sendo as amostras acondicionadas e preservadas de acordo com as técnicas especificadas no procedimento. Posteriormente as mesmas foram enviadas para o laboratório DVN (EUA) para análise química dos parâmetros BTXE.



Figura 9.13. - PERFIS CONSTRUTIVOS E LITOLÓGICOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO



### LEGENDA

- Piso de concreto
- Aterro argilo-arenoso avermelhado
- Argila arenosa, coloração variando de marrom avermelhada a cinza
- Argila silteosa coloração ocre
- Argila compacta plástica, coloração cinza / ocre
- Areia final, pouco argilosa, micácea

Nivel d'água (leitura em 13/11/97)

250 ppm  
Concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC) obtidas com auxílio de um fotoionizador Gastech



As novas sondagens efetuadas não alteraram o conhecimento geológico da área, ou seja, o Posto TF-2001 assenta-se sobre sedimentos correlacionáveis à Formação São Paulo, de idade terciária, cuja litologia local é caracterizada por camadas argilo-arenosas intercaladas com camadas e lentes arenosas e areno-argilosas de boa compacidade.

A partir das medições do nível d' água efetuadas nos poços de monitoramento em 13/11/97, foi elaborado o novo mapa potenciométrico da área, através da interpolação dos valores de carga hidráulica (cota topográfica do nível d' água) em linhas equipotenciais. O fluxo subterrâneo foi então traçado perpendicularmente às linhas equipotenciais (**Figura 9.14.**). A análise deste mapa confirma o sentido de deslocamento das águas subterrâneas de sudoeste para nordeste, em direção ao Rio do Vina.

Os parâmetros determinados na primeira avaliação foram mantidos, ou seja, gradiente hidráulico de 2% (0,02), porosidade efetiva de 15% (0,15). Com a permeabilidade média obtida nos últimos ensaios foi realizado o novo cálculo da velocidade das águas subterrâneas que teve como resultado a velocidade de 18 m/ano, mantendo assim praticamente o mesmo valor da avaliação anterior.

Quanto as amostras de solo os resultados analíticos obtidos encontram-se na **Tabela 9.6.** Os resultados indicam que os Xilenos, por serem compostos que resistem mais a degradação, se apresentam com maior distribuição e concentração na área estudada.

A área mais impactada situa-se nas proximidades dos PM-04, 05 e poço raso de abastecimento (P-01), local onde se concentrou o sistema de recuperação de fase livre residual. Nesta área configura-se uma pequena pluma de BTXE na zona não saturada, com as concentrações mais elevadas no interior do posto e estendendo-se um pouco além do limite do posto com uma das residências.

As **Figuras 9.15., 9.16., 9.17. e 9.18.**, apresentam respectivamente as plumas de Benzeno, Tolueno, Xilenos e Etilbenzeno, confeccionadas a partir das interpolações dos compostos analisados.

As concentrações obtidas nas amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços de monitoramento, bombeamento e poços rasos de abastecimento, encontram-se resumidas na **Tabela 9.7.**



Figura 9.14 - MAPA POTENCIOMÉTRICO

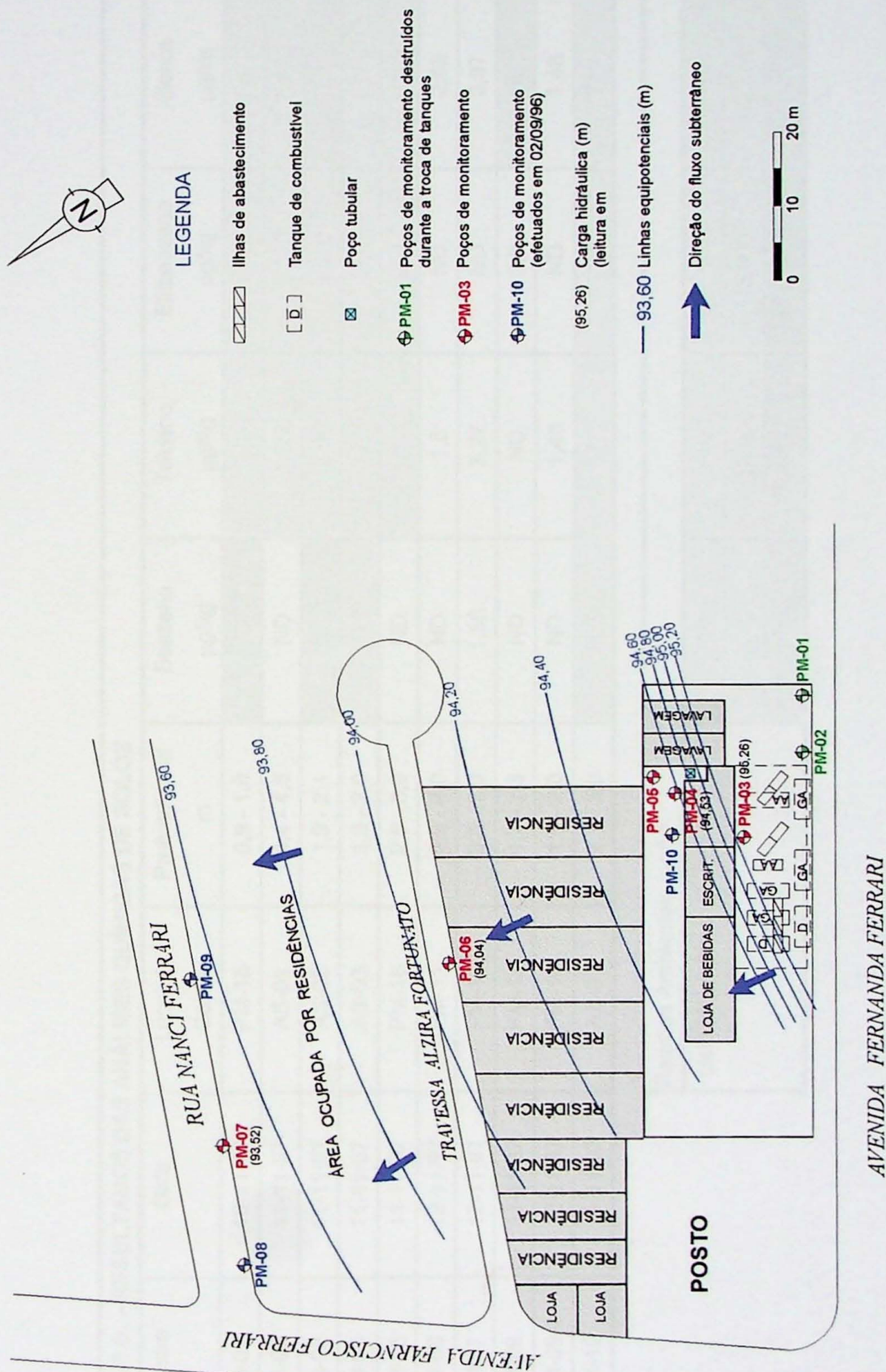




TABELA 9.6.. - RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLOS

| Amostra | Data     | Local de Coleta | Profundidade m | Benzeno $\mu\text{g/kg}$ | Tolueno $\mu\text{g/kg}$ | Etilbenzeno $\mu\text{g/kg}$ | Xilenos $\mu\text{g/kg}$ |
|---------|----------|-----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| AM-01   | 10-11-97 | PM-15           | 0,9 - 1,0      | 254                      | 1.600                    | 1.160                        | 7.370                    |
| AM-02   | 11-11-97 | AS-01           | 4,4 - 4,5      | ND                       | 1.390                    | 1.230                        | 7.460                    |
| AM-03   | 11-11-97 | AS-02           | 1,9 - 2,1      | 1.710                    | 16.900                   | 9.920                        | 66.000                   |
| AM-04   | 11-11-97 | AS-03           | 1,9 - 2,0      | 24,1                     | 72,5                     | 259                          | 1.966                    |
| AM-05   | 11-11-97 | PM-16           | 2,8 - 3,0      | ND                       | 1.520                    | 904                          | 3.368                    |
| AM-06   | 12-11-97 | PM-11           | 3,9 - 4,0      | ND                       | 1,8                      | ND                           | 2,63                     |
| AM-07   | 12-11-97 | PM-12           | 2,8 - 3,0      | 1,56                     | 3,27                     | ND                           | 2,97                     |
| AM-08   | 12-11-97 | PM-13           | 1,7 - 1,8      | ND                       | ND                       | 3,3                          | 16,3                     |
| AM-09   | 12-11-97 | PM-14           | 1,8 - 2,0      | ND                       | 1,48                     | ND                           | 1,48                     |
| AM-10   | 11-11-97 | AS-01           | 2,7 - 3,0      | 90,9                     | 67,3                     | 79,8                         | 714                      |

Padrões Ambientais ( $\mu\text{g/L}$ )

|                 |   |     |        |        |       |
|-----------------|---|-----|--------|--------|-------|
| Lista Holandesa | S | 10  | 10     | 10     | 10    |
|                 | T | 110 | 13.000 | 5.000  | 2.500 |
|                 | I | 200 | 26.000 | 10.000 | 5.000 |



Figura 9.15. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE BENZENO NO SOLO ( $\mu\text{g/Kg}$ )

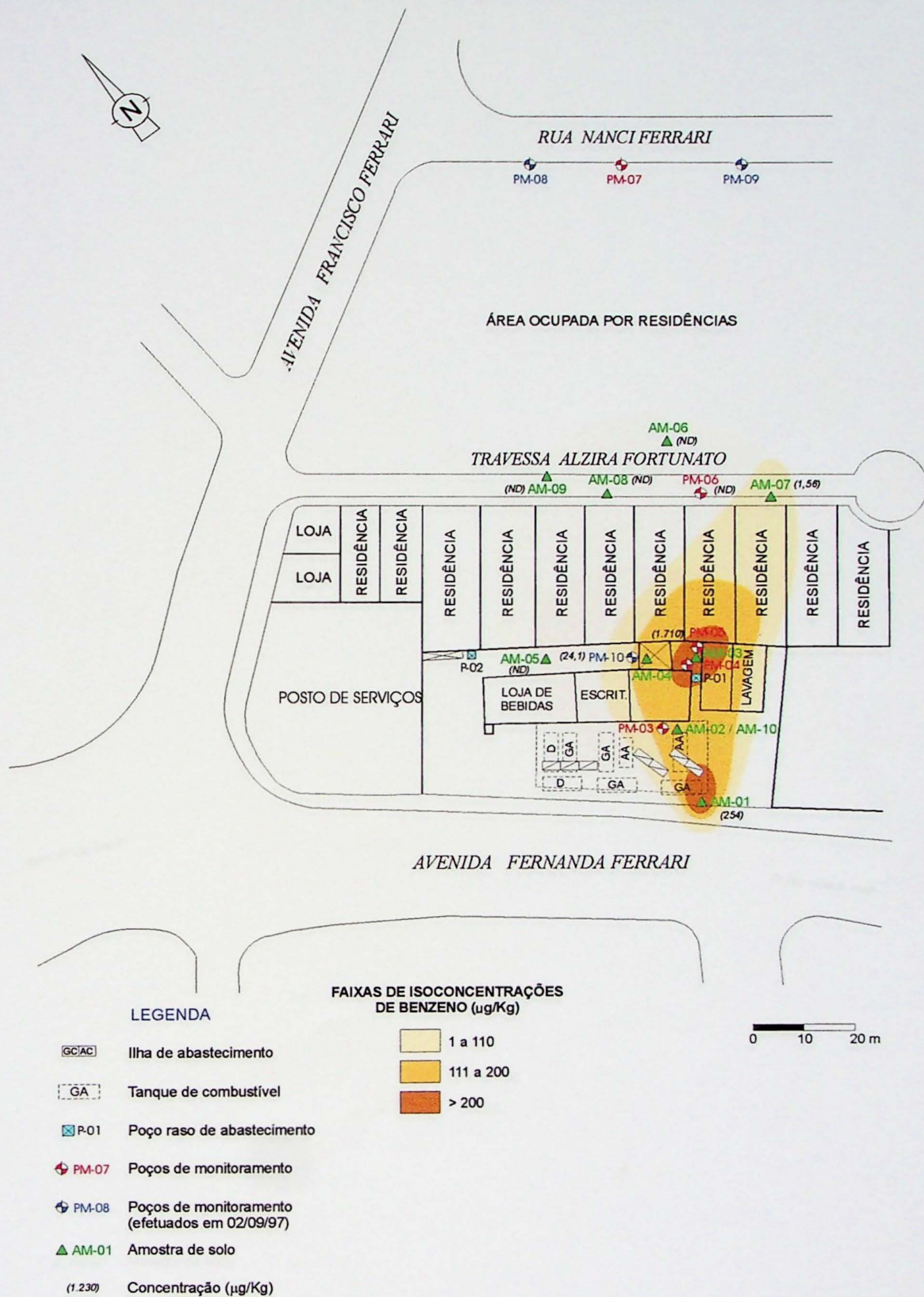




Figura 9.16. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE TOLUENO NO SOLO ( $\mu\text{g/Kg}$ )

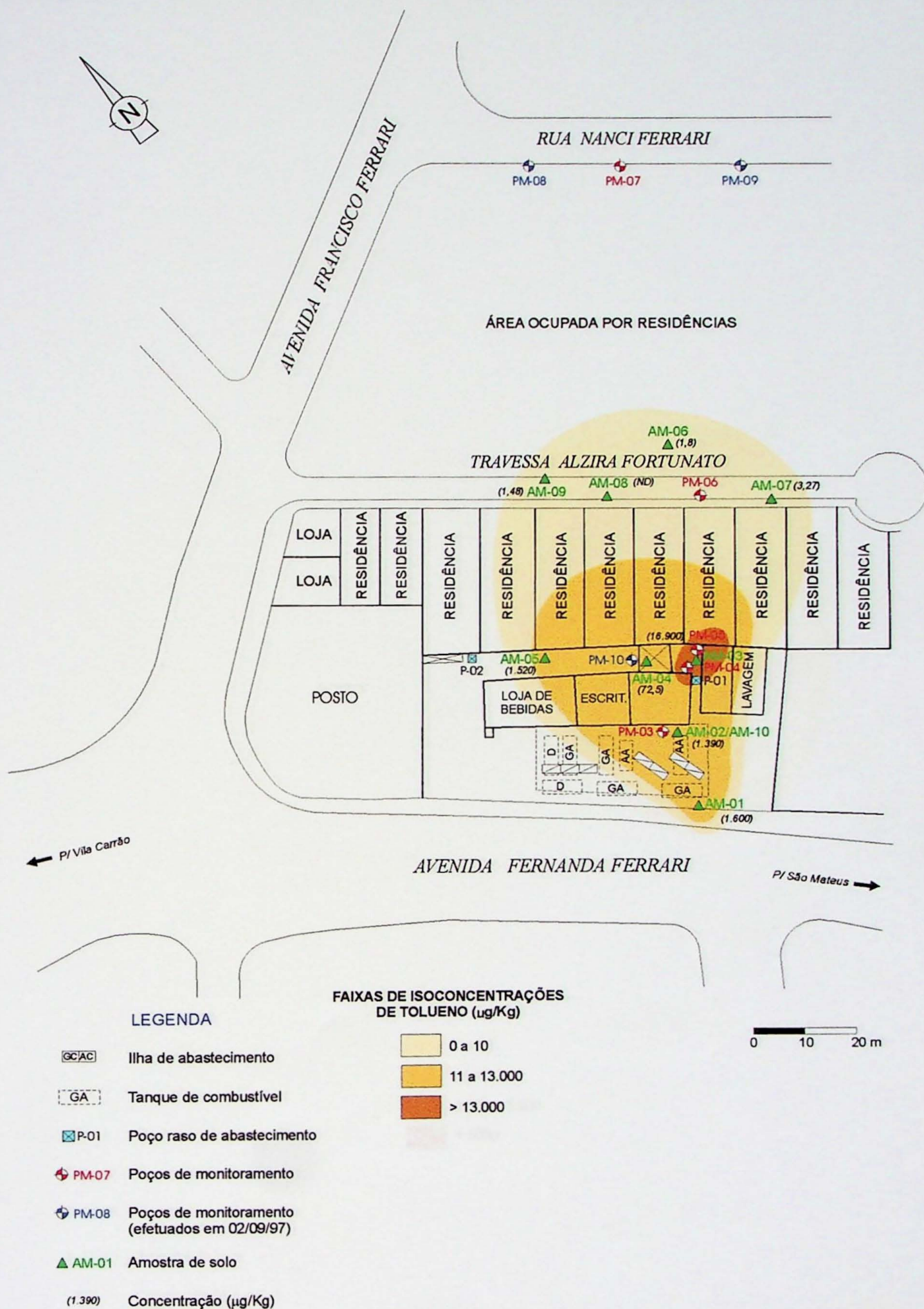
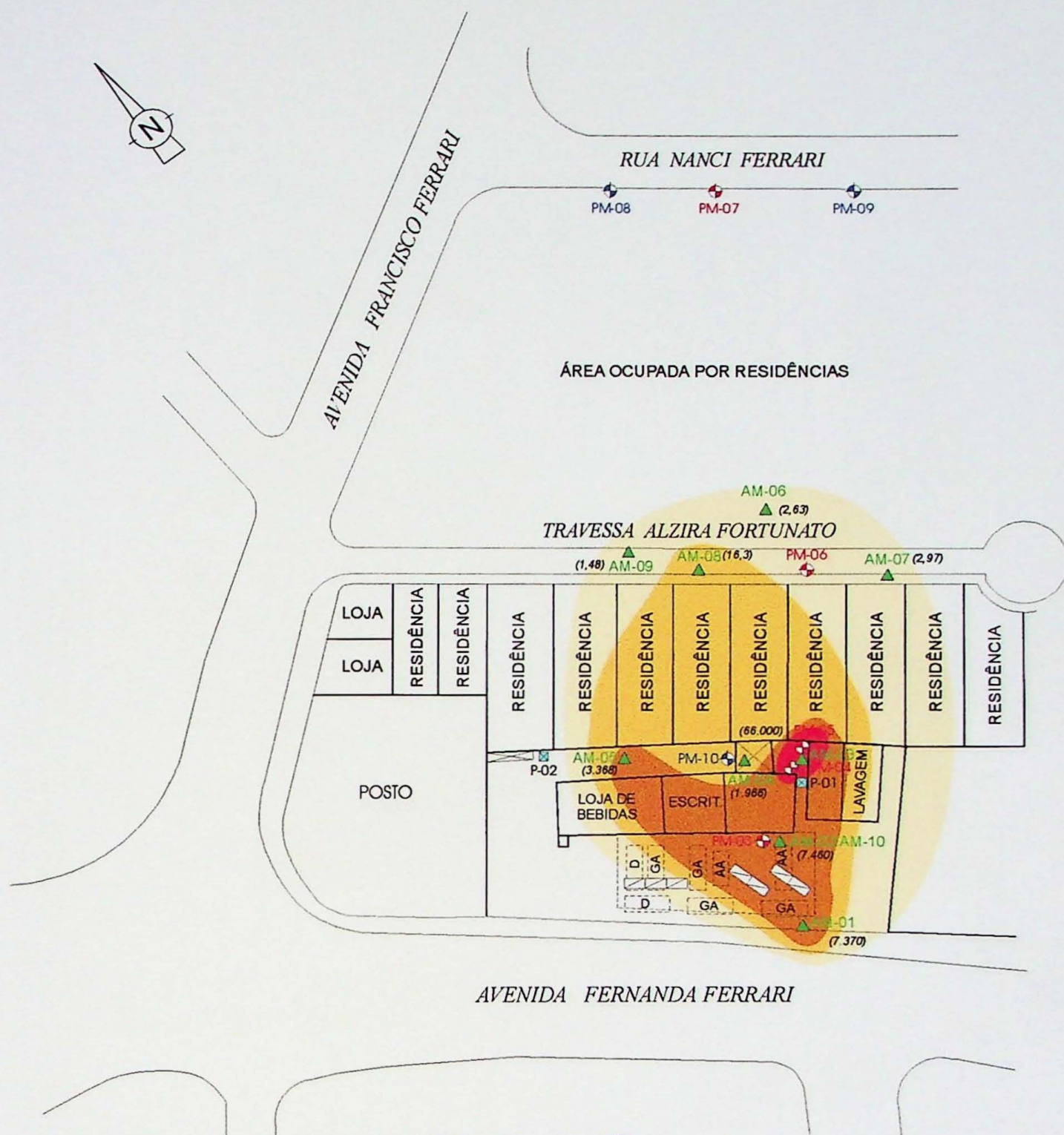




Figura 9.17. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE XILENOS NO SOLO ( $\mu\text{g/Kg}$ )



#### LEGENDA

- Ilha de abastecimento
- Tanque de combustível
- Poço raso de abastecimento
- Poços de monitoramento
- Poços de monitoramento (efetuados em 02/09/97)
- Amostra de solo
- (259) Concentração ( $\mu\text{g/Kg}$ )

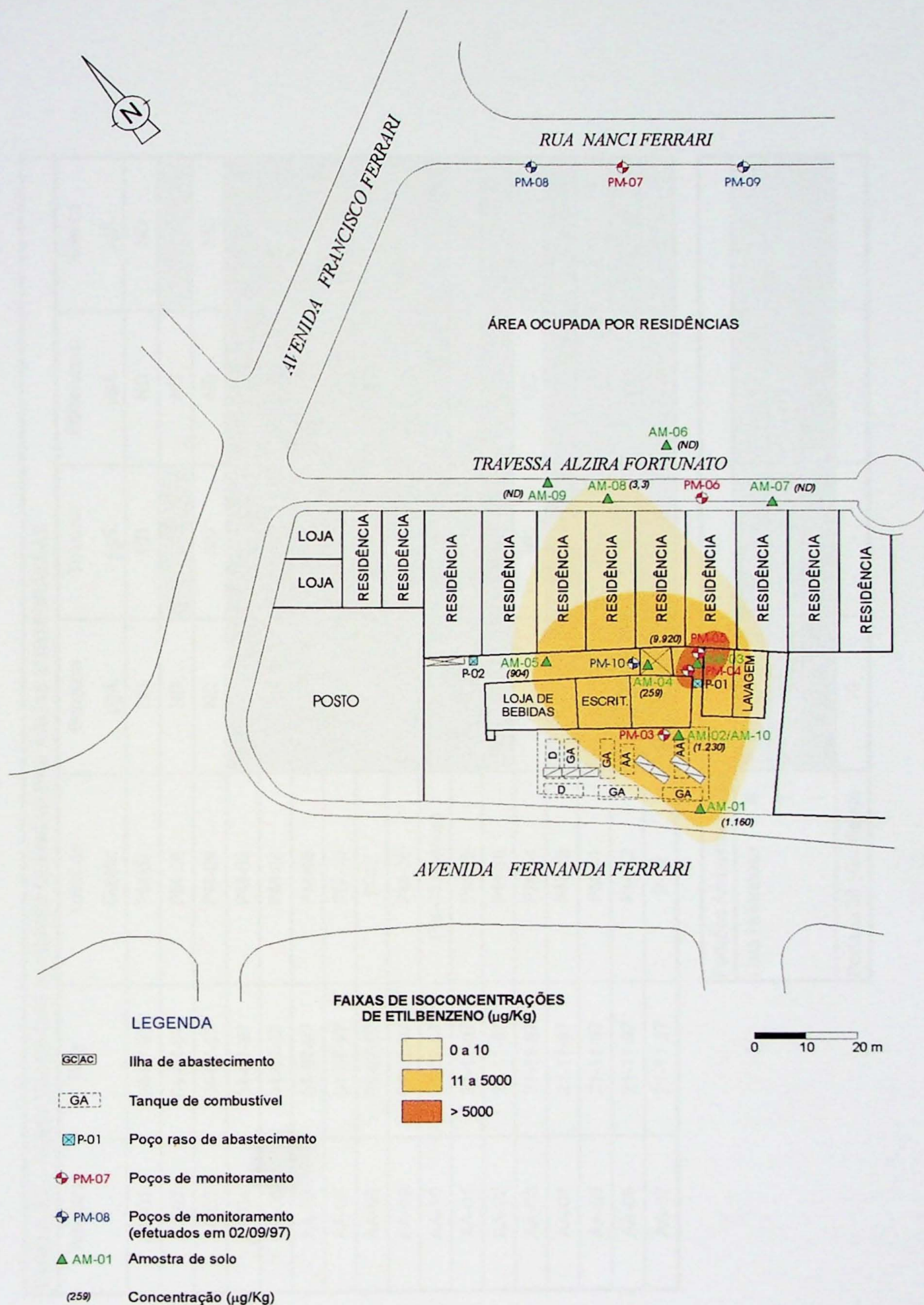
#### FAIXAS DE ISOCONCENTRAÇÕES DE XILENOS ( $\mu\text{g/Kg}$ )

- 0 a 10
- 11 a 2.500
- 2.501 a 5.000
- > 5000

0 10 20 m



Figura 9.18.. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE ETILBENZENO NO SOLO ( $\mu\text{g/Kg}$ )





| TABELA 9.7. - RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS |          |                 |                 |                 |                     |                 |
|-----------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Amostra                                                               | Data     | Local de Coleta | Benzeno<br>µg/L | Tolueno<br>µg/L | Etilbenzeno<br>µg/L | Xilenos<br>µg/L |
| AA-01                                                                 | 04-07-97 | PM-07           | ND              | ND              | ND                  | ND              |
| AA-02                                                                 | 04-07-97 | PM-08           | ND              | 13,8            | ND                  | 1,5             |
| AA-03                                                                 | 04-07-97 | PM-09           | ND              | ND              | ND                  | ND              |
| AA-04                                                                 | 04-07-97 | PM-03           | 6.430           | 11.000          | 1.480               | 7.850           |
| AA-05                                                                 | 04-07-97 | PM-04           | 3.610           | 6.140           | 603                 | 4.680           |
| AA-06                                                                 | 04-07-97 | PM-05           | 5.850           | 11.000          | 1.370               | 9.740           |
| AA-07                                                                 | 04-07-97 | PM-10           | 5.380           | 8.680           | 1.230               | 7.900           |
| AA-08                                                                 | 04-07-97 | P-01            | 1.450           | 2.960           | 447                 | 2.775           |
| AA-09                                                                 | 04-07-97 | PM-06           | 6.800           | 12.100          | 1.650               | 9.040           |
| AA-10                                                                 | 04-07-97 | PM-03 (réplica) | 3.840           | 13.500          | 1.730               | 11.070          |
| AA-01                                                                 | 21-11-97 | PM-15           | 80,5            | 17,9            | 2,07                | 19,9            |
| AA-02                                                                 | 21-11-97 | PM-16           | 2.930           | 1.110           | 163                 | 524             |
| AA-03                                                                 | 21-11-97 | PM-14           | ND              | ND              | ND                  | 1,36            |
| AA-04                                                                 | 21-11-97 | PM-13           | 129             | 1.100           | 393                 | 2.073           |
| AA-05                                                                 | 21-11-97 | PM-11           | 9,39            | 96,2            | 13,8                | 40,1            |
| AA-06                                                                 | 21-11-97 | PM-12           | 38              | 94              | 24                  | 90              |
| AA-07                                                                 | 21-11-97 | P-02            | 59,4            | 1,61            | 6,80                | 6,33            |

| Padrões Ambientais (µg/L) |   |     |       |     |
|---------------------------|---|-----|-------|-----|
| Lista Holandesa           | S | 0,2 | 0,2   | 0,2 |
|                           | T | 15  | 500   | 35  |
|                           | I | 30  | 1.000 | 70  |
| Portaria 36 Min. Saúde    |   | 10  | -     | -   |



A **Figura 9.19.** apresenta as isoconcentrações de Benzeno no aquífero freático. Esta pluma ultrapassa os limites do posto estendendo-se sob residências existentes entre os fundos do posto e a travessa Alzira Fortunato, avançado até além desta travessa.

As concentrações obtidos nos poços de monitoramento da rua Nanci Ferrari (PM-07, 08 e 09), apresentaram-se abaixo do limite de detecção, indicando que este composto não atingiu esta região da área investigada.

As concentrações de Tolueno e Xilenos, representadas respectivamente nas **Figuras 9.20. e 9.21.**, assemelham-se quanto à configuração, sendo o Tolueno o composto de maior concentração. O PM-08, ponto mais distante do foco principal (Rua Nanci Ferrari), apresentou concentrações de 13,8 µg/L de Tolueno e 1,5 µg/L de Xilenos.

As concentrações de Etilbenzeno são mais baixas quando comparadas com os demais compostos analisados. A configuração da pluma (**Figura 9.22.**) é semelhante à obtida para o Benzeno e suas maiores concentrações localizam-se no interior do posto.

Após a finalização dos trabalhos de campo e com os dados em mãos foi realizado então a avaliação da exposição através do modelo RBCA.

O *site* em questão refere-se a um posto de serviço onde os principais combustíveis manipulados são gasolina, diesel e álcool. O entorno do local é caracterizado pela presença de núcleos residenciais e comércio em geral. Assim, os receptores considerados mais susceptíveis são os residentes externos (adultos e crianças) e os funcionários administrativos e de campo (frentistas) que trabalham no posto. As principais rotas de exposição são a volatilização de vapores do solo em ambientes abertos e vapores provenientes do solo e águas subterrâneas em recintos fechados, além de ingestão e contato dermal.

Foi realizado um levantamento no DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica, sobre a localização dos poços profundos nas imediações do *site* e o tipo de utilização das águas captadas por estes poços. Tomando-se como limite de procura um raio de 800 metros do centro do posto, somente um poço tubular profundo foi identificado. Existem também dois poços tubulares fora deste raio de procura. Os principais elementos deste poços encontram-se representados na **Tabela 9.8.** Cabe ressaltar que as águas deles bombeadas são de uso industrial.



Figura 9.19.. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE BENZENO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ( $\mu\text{g/L}$ )

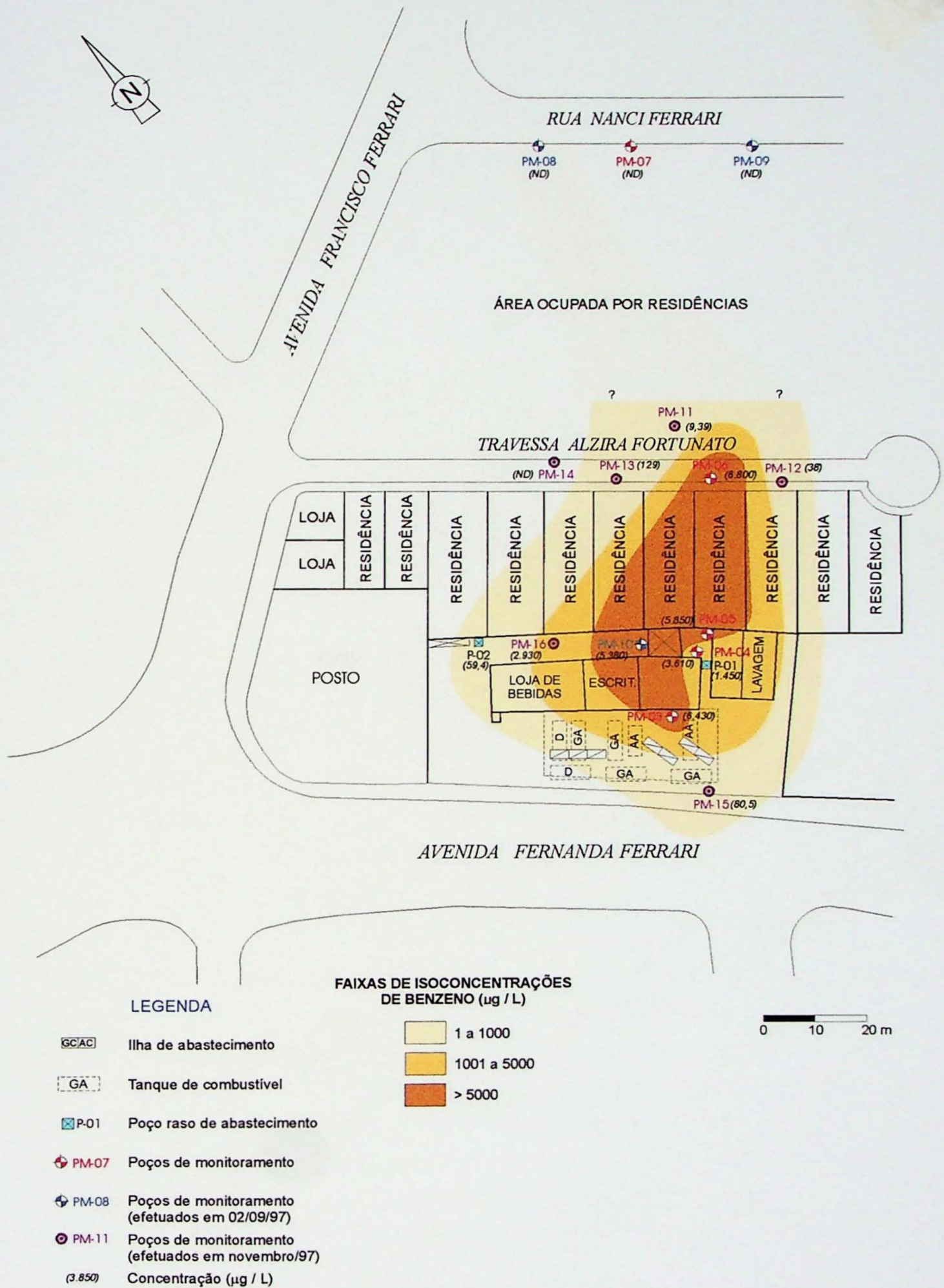
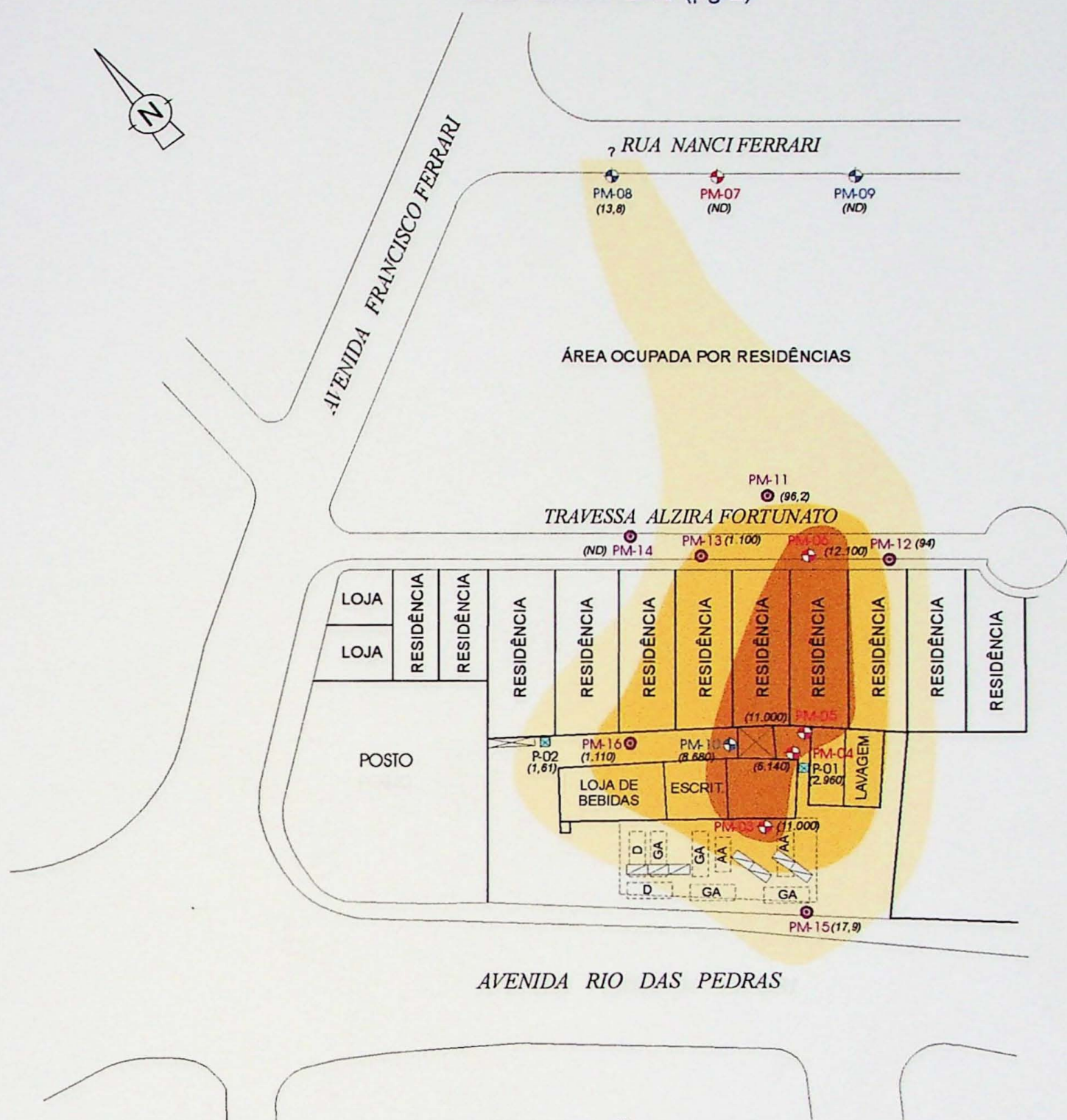




Figura 9.20.. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE TOLUENO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ( $\mu\text{g/L}$ )



#### LEGENDA

- GCAC Ilha de abastecimento
- GA Tanque de combustível
- P-01 Poço raso de abastecimento
- + PM-07 Poços de monitoramento
- + PM-08 Poços de monitoramento (efetuados em 02/09/97)
- + PM-11 Poços de monitoramento (efetuados em novembro/97)
- (3.850) Concentração ( $\mu\text{g/L}$ )

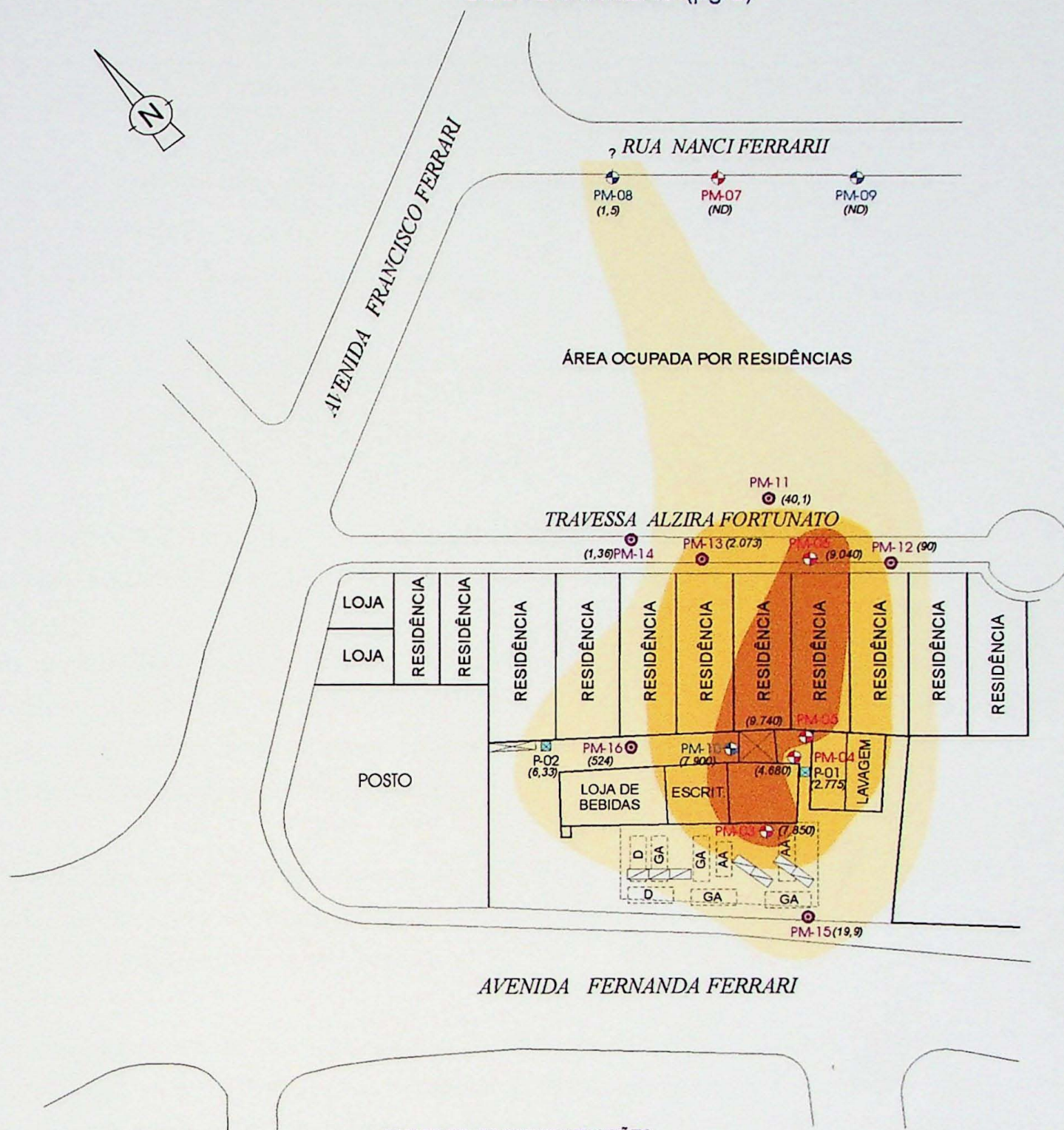
#### FAIXAS DE ISOCONCENTRAÇÕES DE TOLUENO ( $\mu\text{g/L}$ )

- 1 a 1000
- 1001 a 5000
- > 5000

0 10 20 m



Figura 9.21.. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE XLENOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (µg/L)



## LEGENDA

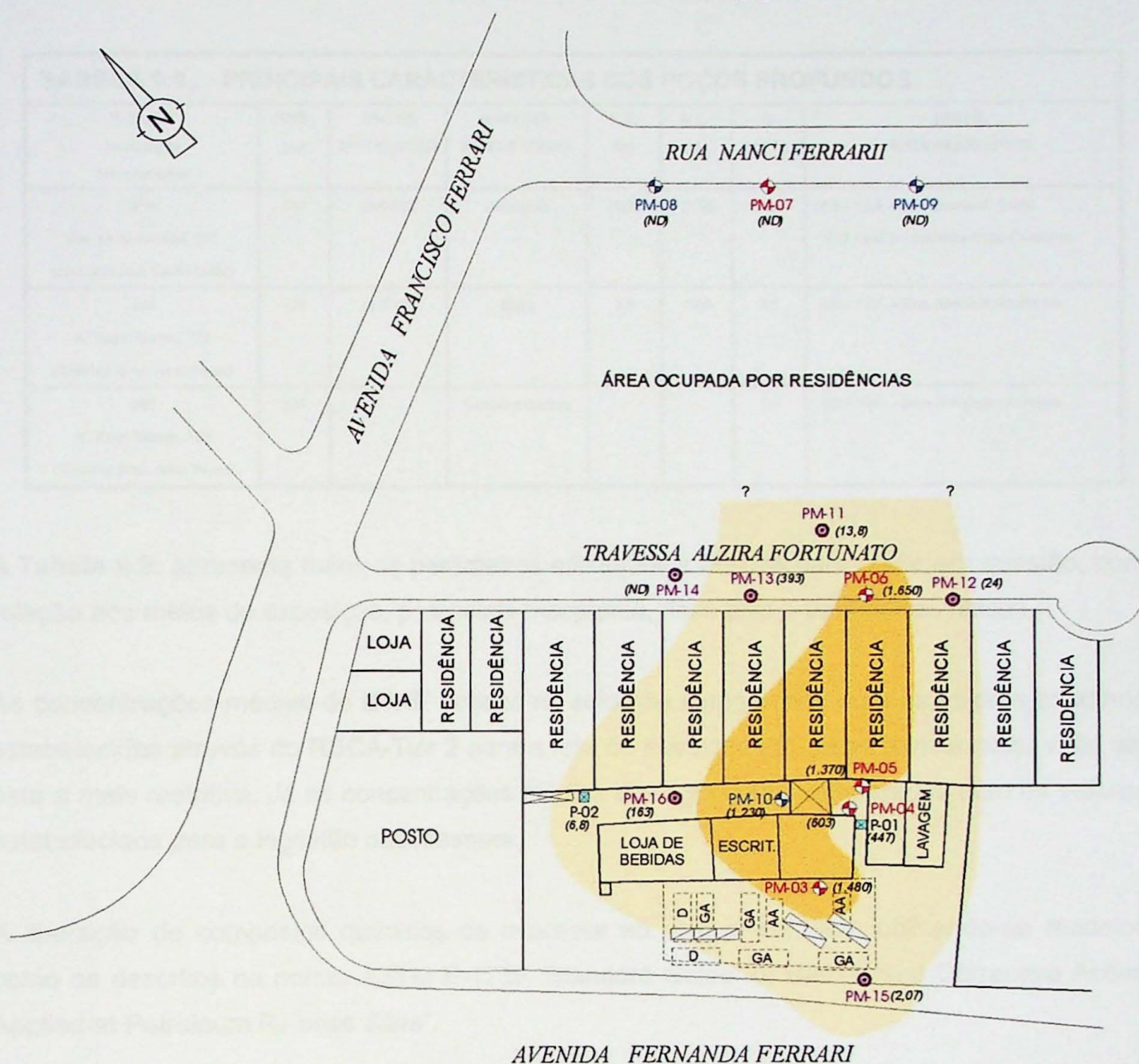
- |                                                                                     |                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|  | Ilha de abastecimento                                |
|  | Tanque de combustível                                |
|  | Poço raso de abastecimento                           |
|  | Poços de monitoramento                               |
|  | Poços de monitoramento<br>(efetuados em 02/09/97)    |
|  | Poços de monitoramento<br>(efetuados em novembro/97) |
| (9.740)                                                                             | Concentração ( $\mu\text{g} / \text{L}$ )            |

**FAIXAS DE ISOCONCENTRAÇÕES  
DE XILENOS ( $\mu\text{g} / \text{L}$ )**

-  1 a 1000  
 1001 a 5000  
 > 5000



Figura 9.22.. - MAPA DE ISOCONCENTRAÇÕES DE ETILBENZENO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ( $\mu\text{g/L}$ )



#### LEGENDA

- GCAC Ilha de abastecimento
- GA Tanque de combustível
- P-01 Poço raso de abastecimento
- + PM-07 Poços de monitoramento
- + PM-08 Poços de monitoramento (efetuados em 02/09/97)
- + PM-11 Poços de monitoramento (efetuados em novembro/97)
- (1.230) Concentração ( $\mu\text{g/L}$ )

#### FAIXAS DE ISOCONCENTRAÇÕES DE ETILBENZENO ( $\mu\text{g/L}$ )

- 1 a 1000
- > 1000

0 10 20 m



| <b>TABELA 9.8.. - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS PROFUNDOS</b> |              |                      |                        |             |             |                          |                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| N. DAEE<br>localização<br>(Proprietário)                             | PROF.<br>(m) | ANO DE<br>INSTALAÇÃO | EMPRESA<br>PERFURADORA | N.E.<br>(m) | N.D.<br>(m) | Q<br>(m <sup>3</sup> /h) | PERFÍL<br>ESTRATIGRAFICO                                                |
| <b>059</b><br>Av. 19 de Janeiro, 557<br>(Naciotex Ind. Textil Ltda.) | 182          | 29/04/92             | Hidrogesp              | 21,95       | 75,95       | 10,0                     | 0,0 - 52,0 - Formação S. Paulo<br>52,0 - 182,0 - Embasamento Cristalino |
| <b>206</b><br>R. Rego Barros, 729<br>(Tecalón Bras. Auto Peças)      | 120          | 28/07/78             | Engo                   | 3,0         | 70,0        | 3,5                      | 0,0 - 120- - Sem descrição litológica                                   |
| <b>207</b><br>R. Rego Barros, 729<br>(Tecalón Bras. Auto Peças)      | 354          | -                    | Geopesquisadora        | -           | -           | 3,0                      | 0,0 - 354- - Sem descrição litológica                                   |

A **Tabela 9.9.** apresenta todos os parâmetros estimados e obtidos para o *site* em questão, com relação aos meios de exposição, potenciais receptores, risco alvo e parâmetros físicos.

As concentrações médias de BTXE obtidas no solo são comparadas com os valores máximos estabelecidos através do RBCA-Tier 2 para a rota de lixiviação em áreas residenciais, visto ser esta a mais restritiva. Já as concentrações médias das águas são comparadas com os valores estabelecidos para a ingestão das mesmas.

A liberação de compostos químicos de interesse ao solo é estimada utilizando-se modelos como os descritos na norma ASTM E-1739 "Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites".

As concentrações obtidas nos locais onde os receptores estão expostos, foram combinadas com os fatores de exposição para se estimar a máxima concentração estabelecida para o *site*. Para tanto, foram utilizadas relações padrões apresentadas na ASTM E-1739. Os fatores de exposição específicos na avaliação de risco representam a exposição razoável máxima (ERM), usados para o cenário atual e a exposição mais provável (EMP), usada para cenários potenciais.

As propriedades específicas de cada composto químico estão listadas na **Tabela 9.10.**, sendo que os valores de toxicidade utilizado para o cálculo estimativo do risco e o índice de periculosidade são apresentados nas **Tabelas 9.11. e 9.12.**



Software: GSI RBCA Spreadsheet  
Version: 1.0.1

NOTE: values which differ from Tier 1 default values are shown in bold italics and underlined.

| Exposure Parameter                                       | Definition (Units)                            | Residential    |            | Commercial/Industrial |                | Surface Parameters                | Definition (Units)                                     | Residential    | Commercial     |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|------------|-----------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|                                                          |                                               | Adult          | (1-6yrs)   | (1-6 yrs)             | Chronic        |                                   |                                                        |                |                |
| ATc                                                      | Averaging time for carcinogens (yr)           | 70             |            |                       |                | A                                 | Contaminated soil area (cm <sup>2</sup> )              | <u>4.9E+07</u> | <u>2.2E+07</u> |
| ATn                                                      | Averaging time for non-carcinogens (yr)       | 30             | 6          | 16                    | 25             | W                                 | Length of affect. soil parallel to wind (cm)           | <u>4.9E+03</u> | <u>1.0E+03</u> |
| BW                                                       | Body Weight (kg)                              | 70             | 15         | 35                    | 70             | W <sub>gw</sub>                   | Length of affect. soil parallel to groundwater (cm)    | <u>1.5E+03</u> |                |
| ED                                                       | Exposure Duration (yr)                        | 30             | 6          | 16                    | 25             | U <sub>air</sub>                  | Ambient air velocity in mixing zone (cm/s)             | <u>2.3E+02</u> |                |
| EF                                                       | Exposure Frequency (days/yr)                  | 30             |            |                       | 25             | delta                             | Air mixing zone height (cm)                            | <u>2.0E+02</u> |                |
| EF <sub>derm</sub>                                       | Exposure Frequency for dermal exposure        | 350            |            |                       | 250            | Lss                               | Thickness of affected surface soils (cm)               | <u>5.0E+01</u> |                |
| IR <sub>gw</sub>                                         | Ingestion Rate of Water (l/day)               | 2              |            |                       | 250            | Pe                                | Particulate areal emission rate (g/cm <sup>2</sup> /s) | <u>6.9E-14</u> |                |
| IRs                                                      | Ingestion Rate of Soil (mg/day)               | 100            | 200        |                       | 50             |                                   |                                                        |                |                |
| IR <sub>adj</sub>                                        | Adjusted soil ing. rate (mg-yr/kg-d)          | <u>1.1E+02</u> |            |                       | <u>9.4E+01</u> |                                   |                                                        |                |                |
| IR <sub>in</sub>                                         | Inhalation rate indoor (m <sup>3</sup> /day)  | 15             |            |                       | 20             | I                                 | Groundwater mixing zone depth (cm)                     | <u>2.0E+02</u> |                |
| IR <sub>out</sub>                                        | Inhalation rate outdoor (m <sup>3</sup> /day) | 20             |            |                       | 20             | U <sub>gw</sub>                   | Groundwater infiltration rate (cm/yr)                  | <u>3.0E+01</u> |                |
| SA                                                       | Skin surface area (dermal) (cm <sup>2</sup> ) | <u>5.8E+03</u> |            | <u>2.0E+03</u>        | <u>5.8E+03</u> | U <sub>gw<tr< sub=""></tr<></sub> | Groundwater Darcy velocity (cm/yr)                     | <u>1.4E+05</u> |                |
| SA <sub>adj</sub>                                        | Adjusted dermal area (cm <sup>2</sup> -yr/kg) | <u>2.1E+03</u> |            |                       | <u>1.7E+03</u> | Ks                                | Groundwater seepage velocity (cm/yr)                   | <u>6.6E+03</u> |                |
| SAF <sub>s</sub>                                         | Soil to skin adherence factor                 | 1              |            |                       | FALSE          | grad                              | Saturated hydraulic conductivity (cm/s)                |                |                |
| AA <sub>Fs</sub>                                         | Age adjustment on soil ingestion              | FALSE          |            |                       | FALSE          | Sw                                | Groundwater gradient (cm/cm)                           |                |                |
| AA <sub>Fd</sub>                                         | Age adjustment on skin surface area           | FALSE          |            |                       | FALSE          | Sd                                | Width of groundwater source zone (cm)                  |                |                |
| tox                                                      | Use EPA tox data for air (or PEL based)?      | TRUE           |            |                       | FALSE          | phi <sub>eff</sub>                | Depth of groundwater source zone (cm)                  |                |                |
| gwMCL?                                                   | Use MCL as exposure limit in groundwater?     | FALSE          |            |                       | FALSE          | foc <sub>sat</sub>                | Effective porosity in water-bearing unit               | <u>3.8E-01</u> |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | BC?                               | Fraction organic carbon in water-bearing unit          | <u>1.0E-03</u> |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | BC                                | Is biostimulation considered?                          | FALSE          |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                |                                   | Biodegradation Capacity (mg/L)                         |                |                |
| Matrix of Exposed Persons to                             |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| Complete Exposure Pathways                               |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| Outdoor Air Pathways:                                    |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| SS.v                                                     | Volatiles and Particulates from Surface Soils | FALSE          |            |                       | FALSE          | Soil                              | Definition (Units)                                     | Value          |                |
| S.v                                                      | Volatilization from Surface Soils             | TRUE           |            |                       | TRUE           | hc                                | Capillary zone thickness (cm)                          | <u>5.0E+00</u> |                |
| GW.v                                                     | Volatilization from Groundwater               | TRUE           |            |                       | TRUE           | hv                                | Vadose zone thickness (cm)                             | <u>3.5E+02</u> |                |
| Indoor Air Pathways:                                     |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| S.b                                                      | Vapors from Subsurface Soils                  | FALSE          |            |                       | TRUE           | foc                               | Fraction of organic carbon in vadose zone              | <u>1.7</u>     |                |
| GW.b                                                     | Vapors from Groundwater                       | TRUE           |            |                       | TRUE           | pH                                | Soil porosity in vadose zone                           | <u>0.01</u>    |                |
| SS.d                                                     | Direct Ingestion and Dermal Contact           | FALSE          |            |                       | TRUE           | Lgw                               | Depth to groundwater (cm)                              | <u>3.5E+02</u> |                |
| Groundwater Pathways:                                    |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| GW.i                                                     | Groundwater Ingestion                         | FALSE          |            |                       | FALSE          | Ls                                | Depth to top of affected subsurface soil (cm)          | <u>5.0E+07</u> |                |
| S.i                                                      | Leaching to Groundwater from all Soils        | FALSE          |            |                       | FALSE          | Lsubs                             | Thickness of affected subsurface soils (cm)            | <u>1.4E+02</u> |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | pH                                | Soil/groundwater pH                                    | <u>6.5</u>     |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | phi <sub>w</sub>                  | Volumetric water content                               | capillary      |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | phi <sub>a</sub>                  | Volumetric air content                                 | 0.342          |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        | 0.038          |                |
| Matrix of Receptor Distance and Location On- or Off-Site |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| GW                                                       |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| S                                                        |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
|                                                          | Inhalation receptor (cm)                      | Distance       | On-Site    | Distance              | On-Site        | Building                          | Definition (Units)                                     | Residential    | Commercial     |
|                                                          |                                               | FALSE          | FALSE      | FALSE                 | FALSE          | Lb                                | Building volume/area ratio (cm)                        | <u>2.0E+02</u> | <u>3.0E+02</u> |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | ER                                | Building air exchange rate (h <sup>-1</sup> )          | <u>1.4E-04</u> | <u>2.3E-04</u> |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | Lck                               | Foundation crack thickness (cm)                        | <u>1.5E+01</u> |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | eta                               | Foundation crack fraction                              | 0.01           |                |
| Matrix of                                                |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| Target Risks                                             |                                               |                |            |                       |                |                                   |                                                        |                |                |
| TRab                                                     | Target Risk (class A&B carcinogens)           | Individual     | Cumulative |                       |                | Transport Parameters              |                                                        |                |                |
| TRc                                                      | Target Risk (class C carcinogens)             | 1.0E-06        | 1.0E-04    |                       |                | Groundwater                       |                                                        |                |                |
| THQ                                                      | Target Hazard Quotient                        | 1.0E-05        | 1.0E-03    |                       |                | ax                                | Longitudinal dispersivity (cm)                         |                |                |
| Opt                                                      | Calculation Option (1, 2, or 3)               | 1.0E+00        | 1.0E+00    |                       |                | ay                                | Transverse dispersivity (cm)                           |                |                |
| Tier                                                     | RBCA Tier                                     | 3              | 2          |                       |                | az                                | Vertical dispersivity (cm)                             |                |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | Vapor                             | Transverse dispersion coefficient (cm)                 |                |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | doy                               | Vertical dispersion coefficient (cm)                   |                |                |
|                                                          |                                               |                |            |                       |                | diz                               | Vertical dispersion coefficient (cm)                   |                |                |



1000

### Tabela 9.10.

| CAS<br>Number | Constituent            | type | Molecular<br>Weight<br>(g/mole) |     | Diffusion<br>Coefficients |     |          |     | log (Koc) or<br>log(Kd)<br>(@ 20 - 25 C) |     | Henry's Law Constant<br>(@ 20 - 25 C)<br>(atm-cm <sup>3</sup> ) | Vapor<br>Pressure<br>(@ 20 - 25 C)<br>(mm Hg) | Solubility<br>(@ 20 - 25 C)<br>(mg/L) | acid<br>base<br>pKa | ref |                   |     |
|---------------|------------------------|------|---------------------------------|-----|---------------------------|-----|----------|-----|------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----|-------------------|-----|
|               |                        |      | MW                              | ref | Dair                      | ref | Dwat     | ref | log(l/kg)                                | ref |                                                                 |                                               |                                       |                     |     | mol<br>(unitless) | ref |
| 71-43-2       | Benzene                | A    | 78,1                            | 5   | 9,30E-02                  | A   | 1,10E-05 | A   | 1,58                                     | A   | 5,29E-03                                                        | 2,20E-01                                      | A                                     | 9,52E+01            | 4   | 1,75E+03          | A   |
| 100-41-4      | Ethylbenzene           | A    | 106,2                           | 5   | 7,60E-02                  | A   | 8,50E-08 | A   | 1,98                                     | A   | 7,69E-03                                                        | 3,20E-01                                      | A                                     | 1,00E+01            | 4   | 1,52E+02          | 5   |
| 108-88-3      | Toluene                | A    | 92,4                            | 5   | 8,50E-02                  | A   | 9,40E-08 | A   | 2,13                                     | A   | 6,25E-03                                                        | 2,60E-01                                      | A                                     | 3,00E+01            | 4   | 5,15E+02          | 29  |
| 1330-20-7     | Xylene (mixed isomers) | A    | 106,2                           | 5   | 7,20E-02                  | A   | 8,50E-08 | A   | 2,38                                     | A   | 6,97E-03                                                        | 2,90E-01                                      | A                                     | 7,00E+00            | 4   | 1,98E+02          | 5   |

© Groundwater Services, Inc. (GSI), 1995-1997. All Rights Reserved.

1000

**Tabela 9.11.**

| CAS<br>Number | Constituent            | Reference<br>Dose |                         |     | Slope<br>Factors |                        |          | EPA Weight<br>of<br>Evidence | Is<br>Constituent<br>Carcinogenic? |
|---------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-----|------------------|------------------------|----------|------------------------------|------------------------------------|
|               |                        | Oral<br>R/D_oral  | Inhalation<br>R/D_Inhal | ref | Oral<br>SF_oral  | Inhalation<br>SF_Inhal | ref      |                              |                                    |
| 71-43-2       | Benzene                | -                 | 1,70E-03                | R   | 2,90E-02         | A                      | 2,90E-02 | A                            | TRUE                               |
| 100-41-4      | Ethylbenzene           | 1,00E-01          | 2,86E-01                | A   | -                | -                      | -        | D                            | FALSE                              |
| 108-88-3      | Toluene                | 2,00E-01          | 1,14E-01                | A,R | -                | -                      | -        | D                            | FALSE                              |
| 1330-20-7     | Xylene (mixed isomers) | 2,00E+00          | 2,00E+00                | A   | -                | -                      | -        | D                            | FALSE                              |

© Groundwater Services, Inc. (GSI), 1995-1997. All Rights Reserved.



A **Tabela 9.13.** apresenta as concentrações médias calculadas para o solo e águas subterrâneas. A comparação entre as concentrações obtidas no *site* e os valores calculados através do RBCA são apresentadas na **Tabelas 9.14. e 9.15.**

### **Solo**

- Comparando-se as concentrações médias de BTEX obtidas nas amostras de solo, verifica-se que somente a de benzeno ultrapassa o limite máximo estabelecido para o *site* (SSTL), segundo a rota de exposição por lixiviação do solo (residencial).
- Quanto aos demais meios de exposição, as concentrações de BTEX encontram-se abaixo das concentrações limites para os compostos de interesse específicas ao *site* (SSTL – *Site-Specific Target Levels*).
- Os compostos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH) não foram analisados nesta etapa de trabalho.

### **Águas Subterrâneas**

- A concentração média de benzeno obtida nas amostras de águas subterrâneas ultrapassa o limite estabelecido para o *site* (SSTL) na condição de ingestão de água por crianças e adultos residentes nas imediações do posto.
- Os demais compostos (tolueno, xilenos e etilbenzeno) apresentam concentrações abaixo do valor obtido para o *site*, segundo o RBCA - Tier 2.
- Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) não foram analisados.

A possibilidade de ingestão das águas subterrâneas é remota, pois a região é provida de abastecimento público e segundo o levantamento realizado não existem poços rasos nas imediações, com exceção dos dois poços existentes na área do posto (P-01 e P-02).

A utilização das águas subterrâneas do local é imprópria, devido à presença de um cemitério a montante do posto, o que contribui na alteração da qualidade das mesmas.



Tabela 9.12.

| CAS Number | Constituent            | MCL (mg/L) | Maximum Contaminant Level reference | Permissible Exposure Limit (mg/m <sup>3</sup> ) | Relative Absorption Factors | Detection Limits Groundwater (mg/L) | Detection Limits Soil (mg/kg) | Half Life (First-Order Decay) (days) |
|------------|------------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 71-43-2    | Benzene                | 5,00E-03   | 52 FR 25690                         | 3,20E+00 OSHA                                   | 1                           | 0,002                               | 0,005                         | 720                                  |
| 100-41-4   | Ethylbenzene           | 7,00E-01   | 56 FR 3528 (30 Jan 91)              | 4,34E+02 ACGIH                                  | 1                           | 0,002                               | 0,005                         | 228                                  |
| 108-88-3   | Toluene                | 1,00E+00   | 56 FR 3528 (30 Jan 91)              | 1,47E+02 ACGIH                                  | 1                           | 0,002                               | 0,005                         | 28                                   |
| 1330-20-7  | Xylene (mixed isomers) | 1,00E+01   | 56 FR 3528 (30 Jan 91)              | 4,34E+02 ACGIH                                  | 1                           | 0,005                               | 0,005                         | 360                                  |

Software version: 1.0.1

© Groundwater Services, Inc. (GSI), 1995-1997. All Rights Reserved.

## RBCA SITE ASSESSMENT

Tier 2 Worksheet 9.1

Tabela 9.13.

Date Completed: 7/27/1998

| SURFACE SOIL SSTL VALUES<br>( $< 1.6$ FT BGS) |                                      | Target Risk (Class A & B) 1,0E-6                              |                      | Target Risk (Class C) 1,0E-5                 |                      | Target Hazard Quotient 1,0E+0 |                         | Calculation Option: 3    |                    |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
|                                               |                                      | <input type="checkbox"/> MCL exposure limit?                  |                      | <input type="checkbox"/> PEL exposure limit? |                      |                               |                         |                          |                    |
|                                               |                                      | SSTL Results For Complete Exposure Pathways ("X" if Complete) |                      |                                              |                      |                               |                         |                          |                    |
| CONSTITUENTS OF CONCERN                       | Representative Concentration (mg/kg) | Soil Leaching to Groundwater                                  |                      | Ingestion, Inhalation and Dermal Contact     |                      | Construction Worker (on-site) | Applicable SSTL (mg/kg) | SSTL Exceeded?           | Required CRF       |
|                                               |                                      | Residential (on-site)                                         | Commercial (on-site) | Residential (on-site)                        | Commercial (on-site) |                               |                         |                          |                    |
| 71-43-2 Benzene                               | 2,5E+0                               | NA                                                            | NA                   | NA                                           | NA                   | 9,5E+1                        | 9,5E+1                  | <input type="checkbox"/> | Only if "yes" left |
| 100-41-4 Ethylbenzene                         | 9,9E+0                               | NA                                                            | NA                   | NA                                           | NA                   | >Res                          | >Res                    | <input type="checkbox"/> | <1                 |
| 108-88-3 Toluene                              | 1,7E+1                               | NA                                                            | NA                   | NA                                           | NA                   | >Res                          | >Res                    | <input type="checkbox"/> | <1                 |
| 1330-20-7 Xylene (mixed isomers)              | 7,5E+0                               | NA                                                            | NA                   | NA                                           | NA                   | >Res                          | >Res                    | <input type="checkbox"/> | <1                 |

&gt;Res Indicates risk-based target concentration greater than constituent residual saturation value

© Groundwater Services, Inc. (GSI), 1995-1997. All Rights Reserved.

Software: GSI RBCA Spreadsheet  
Version: 1.0.1

Serial: G-435-10X-696



**SUBSURFACE SOIL SSTL VALUES  
(> 1.6 FT BGS)**

> Res Indicates risk-based target concentration greater than constituent residual saturation value

Software: GSI RBCA Spreadsheet  
Version: 1.0.1  
Serial: G-435-10X-696

## GROUNDWATER SSTL VALUES

>Sol indicates risk-based target concentration greater than constituent solubility

Software: GSI RBCA Spreadsheet  
Version: 1.0.1



Segundo Pacheco, 2000 todos os cemitérios são um risco potencial para o meio ambiente, em especial para o aquífero freático.

É inegável que os cemitérios implantados sem os devidos cuidados geológicos e hidrogeológicos podem gerar impactos ambientais, isto é, alterações químicas, físicas e biológicas no meio ambiente.

A indução de microorganismos nos recursos hídricos é a principal e a mais preocupante contaminação gerada pelos cemitérios.

No que tange aos aquíferos de maior profundidade, em princípio, estão protegidos da contaminação por necrópoles. Esta poderá ocorrer se houver deficiências técnicas de construção de poços, ou se estes estiverem localizados em aquíferos vulneráveis, como rochas fraturadas e com canais de dissolução.

Segundo os resultados analíticos das amostras dos poços de monitoramento instalados fora dos limites do posto, as águas subterrâneas encontram-se significativamente impactadas por BTEX, especialmente no PM-06. Há ainda traços de tolueno (13,8 µg/L) e xilenos (1,5 µg/L) no PM-08.

Esta análise de risco foi realizada segundo os moldes ASTM E-1739, sendo que as incertezas e limitações inerentes ao processo são discutidos abaixo.

Em alguns casos é impossível concluir que as concentrações abaixo do limite de detecção mencionado pelo laboratório sejam realmente nulas (não detectado). Para efeito dos cálculos das médias das concentrações obtidas no *site*, todos os valores com resultados abaixo dos limites de detecção foram assumidos como sendo  $1,0 \times 10^{-3}$  (restritivo).

Em função do manuseio de diesel na área em questão, deve-se fazer a determinação dos compostos PAHs - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em amostras de solo e água que terá como objetivo a identificação da presença dos mesmos e avaliação dos efeitos causados por elementos tóxicos à saúde humana como o benzo-(a)-pireno, benzo-(a)-antraceno, entre outros.

A decisão quanto à avaliação da exposição aos contaminantes, incluem dados relativos ao uso atual e futuro do *site*, caminhos de exposição e receptores. Vários dos valores numéricos



usados para o cálculo das concentrações máximas para o *site* são adotados através de experiência profissional e/ou estimados. Todos os dados assumidos foram estimados da forma mais conservativa possível.

Conforme mencionado anteriormente, a estimativa de risco requer vários “inputs” e valores assumidos. Em geral, foram considerados valores restritivos, portanto os máximos valores permitidos para os parâmetros analisados na área, também são super estimados.

Após os estudos da análise de risco que indicou a necessidade de um sistema de remediação devido ao risco de inalação de VOC pelos trabalhadores do posto e moradores das residências vizinhas. Foi realizado então um teste piloto afim de estudar o nível de viabilidade para aplicar as tecnologias de Extração dos Vapores do Solo e “*Air Sparging*” (EVS/AS), na remediação do subsolo e lençol freático impactados nos arredores do Auto Posto TF-2001, além de reportar e interpretar os resultados obtidos nestes ensaios, propor um projeto conceitual para remediação da área.

Foi realizada uma caracterização inicial que teve como objetivo quantificar a massa inicial de contaminantes e sua dispersão, bem como avaliar o meio biótico local (solo e águas subterrâneas). Desta forma é possível se observar a evolução e o rendimento do processo de remediação implantado durante o período de operação, estimando-se o tempo necessário para se atingir os valores obtidos pela análise de risco (RBCA).

As contagens de bactérias heterotróficas e fungos, juntamente com uma análise química dos elementos nutricionais, mostra a intensidade do processo natural de degradação dos contaminantes orgânicos, e como ela pode ser potencializada pela implantação do sistema de remediação integrado, bem como avaliar a capacidade metabólica dos microorganismos autóctones (solo e águas subterrâneas) frente aos contaminantes existentes.

Para a caracterização do solo foram consideradas as concentrações de benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno (BTXE), obtidos a partir da amostragem realizada no trabalho de “Avaliação de Risco a Exposição de Hidrocarbonetos”

As **Figuras 9.15, 9.16, 9.17 e 9.18** apresentam as distribuições destes contaminantes no solo, onde pode-se observar que o maior foco de contaminação encontra-se no interior do Auto Posto, junto aos PM-04 e 05. A **Tabela 9.16.** apresenta as respectivas massas cubadas.



| <b>TABELA 9.16. – RESUMO DA CUBAGEM DE CONTAMINANTES ADSORVIDOS NO SOLO</b> |                                    |                                                 |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| COMPOSTO                                                                    | ÁREA DA PLUMA<br>(m <sup>2</sup> ) | VOLUME DE SOLO<br>CONTAMINADO (m <sup>3</sup> ) | MASSA DE CONTAMINANTE<br>CONTIDO (Kg) |
| Benzeno                                                                     | 1.715                              | 5.145                                           | 27                                    |
| Tolueno                                                                     | 3.941                              | 11.823                                          | 1.170                                 |
| Xilenos                                                                     | 4.605                              | 13.815                                          | 674                                   |
| Etilbenzeno                                                                 | 2.564                              | 7.692                                           | 425                                   |
| <b>TOTAL</b>                                                                | 4.605                              | 13.815                                          | <b>2.296</b>                          |

Para calcular a massa de BTXE, considerou-se que as 10 amostras de solo são representativas de uma camada de 3 metros de espessura (equivalente a zona insaturada local), e que a densidade deste material é de 1.660 Kg/m<sup>3</sup>. Estima-se que a massa de BTXE adsorvida no solo nas imediações do Auto Posto TF-2001 seja da ordem de 2,3 T. Esta massa representa um valor médio de 100 ppm de BTXE para o subsolo da área impactada.

Para caracterizar a distribuição das concentrações de BTXE no aquífero freático, também utilizou-se os teores obtidos a partir da amostragem realizada no trabalho de “Avaliação de Risco a Exposição de Hidrocarbonetos”

A **Figuras 9.19, 9.20, 9.21. e 9.22.** mostra as distribuições destes contaminantes nas águas subterrâneas, podendo ser observada a dispersão dos mesmos paralelamente ao fluxo subterrâneo em direção ao Rio do Vina (Área de Descarga). A **Tabela 9.17.** apresenta as respectivas massas cubadas nas águas subterrâneas.

| <b>TABELA 9.17. – RESUMO DA CUBAGEM DE CONTAMINANTES DISSOLVIDOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> |                                    |                                                 |                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| COMPOSTO                                                                                    | ÁREA DA PLUMA<br>(m <sup>2</sup> ) | VOLUME DE ÁGUA<br>CONTAMINADA (m <sup>3</sup> ) | MASSA DE CONTAMINANTE<br>CONTIDO (Kg) |
| Benzeno                                                                                     | 1.190                              | 2.115                                           | 13,4                                  |
| Tolueno                                                                                     | 5.997                              | 2.697                                           | 18,8                                  |
| Xilenos                                                                                     | 5.990                              | 2.699                                           | 17,2                                  |
| Etilbenzeno                                                                                 | 4.701                              | 1.993                                           | 4,2                                   |
| <b>TOTAL</b>                                                                                | 5.997                              | 2.699                                           | <b>53,6</b>                           |

Esta cubagem foi obtida a partir de 7 amostras de água, considerando-se para o aquífero uma espessura média de 3 metros e uma porosidade total de 20 %. Desta forma, estima-se uma massa de 53 Kg de BTXE dissolvidos nas águas subterrâneas nos arredores do Auto Posto TF-2001, o que correspondendo a um teor médio de 20 ppm de BTXE.



Os resultados das análises microbiológicas mostram uma população microbiológica bastante elevada em amostras de água subterrânea (média de  $8,41 \times 10^5$  UFC/mL de bactérias e  $5,0 \times 10^1$  UFC/ml de fungos), e uma população mais reduzida em amostras de solo (média de  $6,80 \times 10^2$  UFC/g e ausência de fungos).

Como o desenvolvimento dos microrganismos está relacionado diretamente a oferta de carbono, as altas populações encontradas nesta amostragem apresentam a mesma distribuição espacial da pluma de contaminação na área estudada. Desta forma, estes resultados evidenciam a potencialização dos processos naturais de biodegradação tendo como fonte de carbono as plumas de contaminação por hidrocarbonetos.

A técnica de Extração de Vapores do Solo (EVS), consiste em acelerar a circulação de ar na zona não-saturada, promovendo a volatilização dos compostos orgânicos voláteis adsorvidos no solo e estimulando o processo natural de biodegradação. Os vapores são extraídos por um poço ou dreno de extração de vapores (EV ou D), onde através de um compressor radial gera-se um vácuo em seu interior, criando um fluxo de ar que volatiliza e remove os compostos voláteis e semi-voláteis.

A técnica de "*Air Sparging*" (AS), consiste na injeção de ar na zona saturada, onde com a variação das pressões e vazões de injeção se consegue melhores resultados na volatilização da fase dissolvida de combustíveis nas águas subterrâneas, bem como no arraste de eventuais fases livres residuais.

O ensaio é realizado de modo a se estabelecer as condições ideais de funcionamento de um sistema EVS/AS em larga escala, fornecendo ainda as características físicas do solo e aquífero às diversas condições impostas, que são monitoradas por um conjunto de oito poços de monitoramento (M-01 a 08).

A estrutura necessária para realização do ensaio de EVS/AS, foi implantada nos dias 12 e 13/05/98. A **Tabela 9.18**. resume seus aspectos construtivos.



**TABELA 9.18. – ASPÉCTO CONSTRUTIVO DOS POÇOS DE EVS/AS.**

| POÇO | DISTÂNCIA EM<br>RELAÇÃO AO EV<br>(m) | DISTÂNCIA EM<br>RELAÇÃO AO D<br>(m) | DISTÂNCIA EM<br>RELAÇÃO AO AS<br>(m) | NÍVEL<br>D'ÁGUA<br>(m) | INTERVALO<br>DO FILTRO<br>(m) |
|------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| EV   | 0,00                                 | 0,20                                | -                                    | Seco                   | 1,4 – 2,0                     |
| D*   | 0,20                                 | 0,00                                | -                                    | Seco                   | 2,0**                         |
| AS   | -                                    | -                                   | 0,00                                 | 3,84                   | 5,6 – 5,8                     |
| M-01 | 0,90                                 | 0,90                                | -                                    | Seco                   | 0,9 – 1,1                     |
| M-02 | 2,00                                 | 2,00                                | -                                    | Seco                   | 0,9 – 1,1                     |
| M-03 | 4,50                                 | 4,50                                | -                                    | Seco                   | 0,8 – 1,0                     |
| M-04 | 8,07                                 | 8,07                                | -                                    | Seco                   | 0,8 – 1,0                     |
| M-05 | 0,90                                 | 0,90                                | 2,70                                 | 3,39                   | 2,6 – 3,6                     |
| M-06 | 2,00                                 | 2,00                                | 1,70                                 | 3,37                   | 2,4 – 3,4                     |
| M-07 | 4,50                                 | 4,50                                | 0,80                                 | 3,37                   | 2,4 – 3,4                     |
| M-08 | 8,07                                 | 8,07                                | 4,89                                 | 3,35                   | 2,5 – 3,5                     |

(-) Não se aplica

\* Dreno horizontal

\*\* Refere-se a extensão do filtro, que é horizontal e está locado a 1,5 metros de profundidade

De modo a melhor avaliar a configuração ideal para o sistema EVS, foi também instalado um dreno horizontal de extração de vapores (D), que em seu aspecto construtivo não difere dos poços de extração. Os poços M-01 a 08, e o AS, foram confeccionados em PVC marrom de 1", e para o EV e o D utilizou-se PVC Geomecânico DN 50.

Sobre esta estrutura foram implantados os equipamentos de superfície, compostos de tubos, conexões, válvulas para amostragem de gases, mangueiras de PVC e um compressor radial responsável pela geração do vácuo no ponto de extração

Estas instalações garantem a geração de vácuo no interior do poço ou dreno de extração (EV ou D), que é destinado ao tubo de amostragem (TA-01), onde se monitora a velocidade do fluxo gerado, temperatura, umidade, VOC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, atravessando o exaustor e seguindo através de um segundo tubo de amostragem (TA-02), em direção à tubulação de descarte em forma de chaminé a uma altura de 8 m. Foram também instaladas válvulas em todos os poços de monitoramento (M-01 a 08), para a medição do vácuo, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e VOC.

A amostragem no TA-01 indica as condições dos gases que estão sendo extraídos no EV ou D, e a amostragem no TA-02 procura observar possíveis alterações ocasionadas pelo funcionamento do exaustor sobre estes gases (mudanças de temperatura, velocidade, concentrações de contaminantes, etc.), bem como o resultado da mistura dos mesmos com o ar



atmosférico que entra no sistema através do “by pass”, fornecendo subsídios para um posterior tratamento dos mesmos (caso necessário) na implantação do projeto executivo final.

O “by pass” fica localizado na junção do TA-01 com o exaustor, tendo a função de reduzir a pressão negativa no interior do EV ou D através da perda de carga ocasionada pela admissão de ar atmosférico através do mesmo ao TA-01.

A **Tabela 9.19** apresenta os parâmetros medidos durante os testes, os pontos em que foram efetuadas as leituras e os equipamentos destinados para tal.

| TABELA 9.19. – PARÂMETROS MEDIDOS DURANTE O ENSAIO DE EVS   |                                    |                                        |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| PARÂMETRO                                                   | PONTOS DE VERIFICAÇÃO              | EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO                 |
| Pressão Negativa<br>(Vácuo)                                 | Dreno de Extração (D)              | Manômetros Magnehelic-Dwyer            |
|                                                             | Poço de Extração (EV)              | Manômetro Digital de Mão 475-3-Dwyer   |
|                                                             | Poços de Monitoramento (M-01 a 08) | Manômetro Inclinado 250.5 Dwyer        |
|                                                             |                                    | Manômetro Tubular Dwyer                |
| CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>          | Tubos de Amostragem (TA-01 e 02)   | Monitor de Gases LandTec GA90          |
|                                                             | Poços de Monitoramento (M-01 a 08) |                                        |
| VOC                                                         | Tubos de Amostragem (TA-01 e 02)   | Fotoionizador de Gases PhotoVac 2020iS |
|                                                             | Poços de Monitoramento (M-01 a 08) |                                        |
| Umidade Relativa,<br>Vel. De Fluxo do<br>Vapor, Fluxo de Ar | Tubos de Amostragem (TA-01 e 02)   | Termo-anemômetro VelociCalc TSI        |
| Pressão Barométrica,<br>Temp. Ambiente                      | Dado Climático                     | Barômetro NovaLynx                     |

O ar é injetado na zona saturada através do poço de AS onde se pode controlar as diferentes pressões e vazões de injeção através de um conjunto de manômetros, reguladores de pressão, e de um rotâmetro. Para se avaliar a condição ideal de trabalho, utiliza-se várias pressões e vazões diferentes, monitorando o efeito destas injeções de ar através dos poços de monitoramento (M-05 a 08). São monitorados os parâmetros: nível d'água, oxigênio dissolvido, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub> e VOC. A **Tabela 9.20.** apresenta os parâmetros medidos durante o ensaio de AS.



| TABELA 9.20. – PARÂMETROS MEDIDOS DURANTE O ENSAIO DE AS |                                    |                                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| PARÂMETRO                                                | PONTOS DE VERIFICAÇÃO              | EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO                 |
| Nível d'Água                                             | Poços de Monitoramento (M-05 a 08) | Medidor de N. A. Solinst               |
| Oxigênio Dissolvido                                      | Poços de Monitoramento (M-05 a 08) | Oxímetro DM 4 Digimed                  |
| CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>       | Poços de Monitoramento (M-05 a 08) | Monitor de Gases LandTec GA90          |
| VOC                                                      | Poços de Monitoramento (M-05 a 08) | Fotoionizador de Gases PhotoVac 2020iS |
| Pressão Barométrica,<br>Temp. Ambiente                   | Dado Climático                     | Barômetro NovaLynx                     |

Foram realizados entre os dias 6 a 8/07/98, sete ensaios de EVS a condições distintas de operação. Este relatório apresenta o ensaio mais favorável, onde utilizou-se o dreno (D), a uma pressão de extração de 63,5 cm/H<sub>2</sub>O.

A principal ferramenta da avaliação qualitativa de um ensaio piloto é a projeção gráfica normalizada do vácuo medido nos poços de monitoramento *versus* a distância dos mesmos em relação ao dreno de extração. A normalização do vácuo tem o objetivo de determinar o percentual de influência da geração de vácuo no dreno de extração para cada poço de monitoramento, verificando se há influência suficiente para o arraste dos vapores orgânicos.

A normalização do vácuo obtido nos poços de monitoramento é realizada através da divisão dos valores lidos nos mesmos pelo valor lido no dreno de extração (valor de ensaio = 63,5 cm/H<sub>2</sub>O). Já a normalização da distância é obtida através da divisão da distância radial dos poços de monitoramento em relação ao dreno de extração pela espessura da zona não-saturada na área do teste (3,5 m). Os valores de vácuo e distância normalizados são apresentados na **Tabela 9.21**



| TABELA 9.21. – VALORES DE VÁCUO OBSERVADOS A DISTÂNCIA |                   |                                 |                                |                             |
|--------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| POÇO                                                   | DISTÂNCIA<br>(cm) | DISTÂNCIA<br>NORMALIZADA<br>(%) | VÁCUO<br>(cm/H <sub>2</sub> O) | VÁCUO<br>NORMALIZADO<br>(%) |
| EV-01                                                  | 20                | 6                               | 22,86                          | 36,0                        |
| M-01                                                   | 90                | 25                              | 16,51                          | 26,0                        |
| M-02                                                   | 200               | 57                              | 9,65                           | 15,2                        |
| M-03                                                   | 450               | 128                             | 6,60                           | 10,4                        |
| M-04                                                   | 807               | 230                             | 0,25                           | 0,4                         |
| M-05                                                   | 90                | 25                              | 19,05                          | 30,0                        |
| M-06                                                   | 200               | 57                              | 13,72                          | 21,6                        |
| M-07                                                   | 450               | 128                             | 6,60                           | 10,4                        |
| M-08                                                   | 907               | 230                             | 0,71                           | 1,2                         |

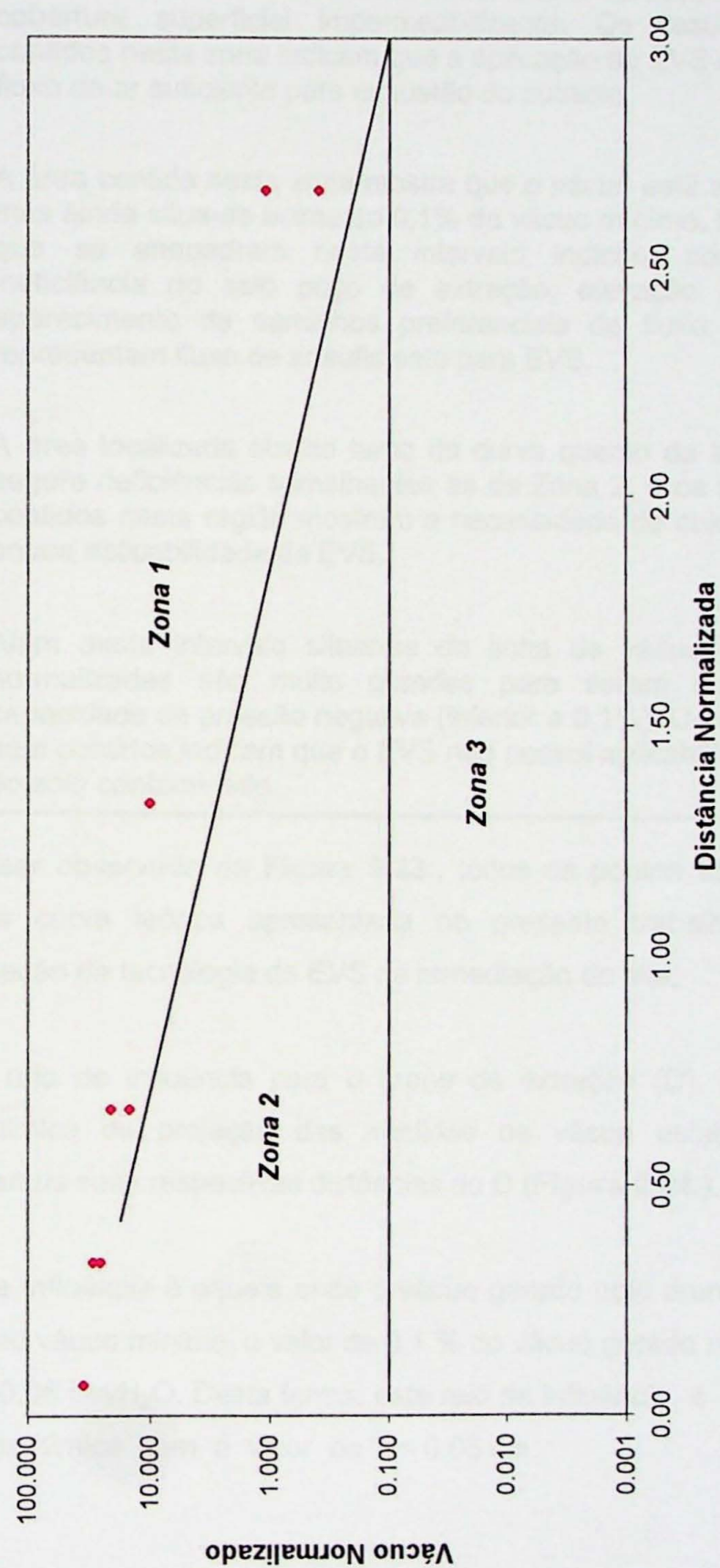
Peargin & Mohr (1995), desenvolveram um método analítico para estimar a aplicabilidade do EVS. Este método é fundamentado na comparação de dados coletados em testes pilotos realizados com um modelo bidimensional, assumindo-se solos isotrópicos e homogêneos.

O gráfico da **Figura 9.23** traz a curva de vácuo normalizada (curva teórica), e a projeção dos pontos obtidos neste teste, o que possibilita analisar a aplicabilidade e a eficiência deste sistema para remediação da zona não-saturada e saturada.

O quadro a seguir apresenta de acordo com o método de Peargin & Mohr (op.cit), o significado de cada uma das 4 zonas identificadas no gráfico da **Figura 9.23**.



Figura 9.23. - Curva de Vácuo Normalizado





- **Zona 1** A área situada acima da curva teórica e da linha de vácuo mínimo para que exista alguma extração de vapores (0,1%). Corresponde a locais de solos com permeabilidade horizontal maior que a vertical, ou existe algum tipo de cobertura superficial impermeabilizante. Os resultados que estiverem contidos nesta zona indicam que a aplicação do EVS é aceitável, pois haverá fluxo de ar suficiente para exaustão do subsolo.
- **Zona 2** A área contida nesta zona mostra que o vácuo está abaixo da curva teórica, mas ainda situa-se acima do 0,1% de vácuo mínimo. Os resultados de testes que se enquadram neste intervalo indicam como possíveis causas ineficiência do selo poço de extração, elevação do lençol freático, ou aparecimento de caminhos preferenciais de fluxo. Mesmo assim, ainda representam fluxo de ar suficiente para EVS.
- **Zona 3** A área localizada abaixo tanto da curva quanto da linha de vácuo mínimo, sugere deficiências semelhantes as da Zona 2, e os resultados que estejam contidos nesta região mostram a necessidade de cuidados especiais para a pouca aplicabilidade de EVS.
- **Zona 4** Além deste intervalo situar-se da linha de vácuo mínimo, as distâncias normalizadas são muito grandes para serem supridas pela pequena capacidade de pressão negativa (inferior a 0,1%). Os resultados que estejam aqui contidos indicam que o EVS não possui aplicabilidade para recuperação do solo contaminado.

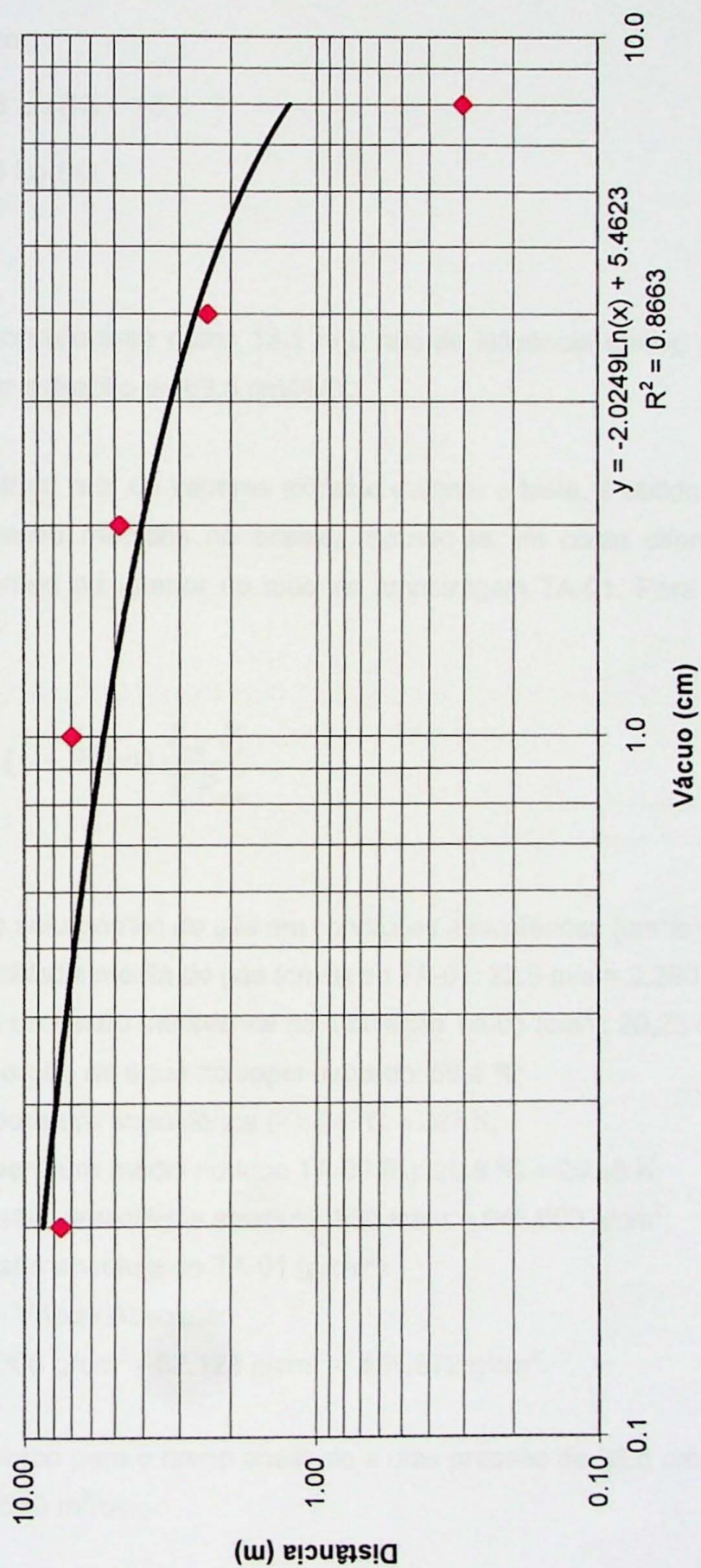
Conforme pode ser observado na **Figura 9.23.**, todos os pontos estão locados na Zona 1, pouco acima da curva teórica apresentada no presente trabalho, indicando condições favoráveis a utilização da tecnologia de EVS na remediação do site.

A estimativa do raio de influência para o dreno de extração (D), foi realizada a partir da regressão logarítmica da projeção das medidas de vácuo estabilizadas nos poços de monitoramento *versus* suas respectivas distâncias do D (**Figura 9.24.**).

O máximo raio de influência é aquele onde o vácuo gerado pelo dreno de extração é mínimo. Considera-se como vácuo mínimo, o valor de 0,1 % do vácuo gerado no ponto de extração, que para este caso é 0,06 cm/H<sub>2</sub>O. Desta forma, este raio de influência é obtido pela intersecção da regressão logarítmica com o valor de  $Y = 0,06$  cm.



Figura 9.24. - Estimativa do Raio de Influência do D





Assim, substituindo-se Y na regressão logarítmica obtida temos:

$$Y = - 6,08 \ln (X) + 15,7$$

$$p/ y = 0,06 \text{ cm}$$

$$0,06 = - 6,08 \ln (X) + 15,7$$

$$15,64 = 6,08 \ln (X)$$

$$x = 13,1 \text{ m};$$

Desta forma, considera-se como 13,1 m o raio de influência efetivo para o dreno ensaiado a uma pressão de extração de 63,5 cm/H<sub>2</sub>O.

O fluxo volumétrico real de vapores extraído durante o teste, é obtido através da correção dos valores de pressão medidos no ensaio, levando-se em conta diferenças de temperatura e umidade existentes no interior do tubo de amostragem TA-01. Para tal, utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q = V_s A_s (1 - B_{wo}) \frac{T_{ref} P_s}{T_s P_{atm}}$$

onde:

Q = fluxo volumétrico do gás em condições atmosféricas (cm<sup>3</sup>/s);

V<sub>s</sub> = velocidade média do gás (cm/s) no TA-01: 22,9 m/s = 2.290 cm/s;

A<sub>s</sub> = área de seção transversal da tubulação TA-01 (cm<sup>2</sup>): 20,25 cm<sup>2</sup>;

B<sub>wo</sub> = proporção de água no vapor extraído: 59,4 %;

T<sub>ref</sub> = temperatura atmosférica (K): 24 °C = 297 K;

T<sub>s</sub> = temperatura média no tubo TA-01 (K): 20,8 °C = 293,8 K;

P<sub>atm</sub> = pressão atmosférica absoluta: 930 mbar = 948.000 g/cm<sup>2</sup>;

P<sub>s</sub> = pressão absoluta no TA-01 (g/cm<sup>2</sup>):

P<sub>atm</sub> - Vácuo Absoluto:

$$948.000 \text{ g/cm}^2 - 62.128 \text{ g/cm}^2 = 885.872 \text{ g/cm}^2.$$

O fluxo volumétrico para o dreno ensaiado a uma pressão de 63,5 cm/H<sub>2</sub>O, é de 17.960 cm<sup>3</sup>/s, equivalente a 1.550 m<sup>3</sup>/dia.



Para o cálculo da permeabilidade utilizou-se os dados representativos do período de equilíbrio, de acordo com a seguinte equação:

$$k = \left[ \frac{Q_{\mu}}{H\pi} \right] \frac{In(R_w / R_i)}{P_w \left[ 1 - (P_{mw} / P_w)^2 \right]}$$

- k = permeabilidade do solo ao ar (cm²);
- μ = viscosidade do ar:  
= 1,8 x 10<sup>-4</sup> g/cm;
- P<sub>w</sub> = pressão absoluta no poço de extração: 885.872 g/cm²;
- P<sub>mw</sub> = pressão absoluta no poço de monitoramento (g/cm²);
- R<sub>w</sub> = raio do poço de extração (cm): 2,54 cm;
- R<sub>i</sub> = distância do poço de monitoramento (cm);
- H = comprimento do filtro (cm): 200 cm;
- Q = fluxo volumétrico (cm³/s): 17.960 cm³/s.

Aplicando-se a pressão absoluta para cada poço de monitoramento, obtém-se a permeabilidade ao ar para cada um deles, como descrito na **Tabela 9.22**

| TABELA 9.22. – VALORES DE PERMEABILIDADE AO AR |                         |                                |                        |                         |
|------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|
| POÇO                                           | DISTÂNCIA DO EV<br>(cm) | VÁCUO<br>(cm/H <sub>2</sub> O) | PRESSÃO<br>(g/cm.sec²) | K<br>(cm²)              |
| EV                                             | 0                       | 22,86                          | 925.619                | 1,29 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-01                                           | 90                      | 16,51                          | 931.836                | 1,92 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-02                                           | 200                     | 9,65                           | 938.552                | 2,04 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-03                                           | 450                     | 6,60                           | 941.538                | 2,29 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-04                                           | 807                     | 0,25                           | 947.745                | 2,28 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-05                                           | 90                      | 19,05                          | 929.349                | 2,03 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-06                                           | 200                     | 13,72                          | 934.567                | 2,21 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-07                                           | 450                     | 6,60                           | 941.538                | 2,29 x 10 <sup>-6</sup> |
| M-08                                           | 907                     | 0,71                           | 947.304                | 2,35 x 10 <sup>-6</sup> |
| Média                                          | -                       | -                              | -                      | 2,08 x 10 <sup>-6</sup> |



Para avaliar a aplicabilidade do AS, optou-se pela análise dos parâmetros físicos (elevação do nível d'água e teores de oxigênio dissolvido nas águas subterrâneas), pois o monitoramento das taxas de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e VOC não apresentaram variações significativas devido a elevada presença de contaminantes no substrato.

Os melhores resultados e a melhor condição operacional foram obtidas a uma pressão de injeção de ar de 60 KPa e vazão de 120 L/hora. A **Tabela 9.23.** mostra a elevação do nível d'água nos poços de monitoramento, e a **Tabela 9.24.** os valores de oxigênio dissolvido (OD), ambos após o período de estabilização (24 horas).

| TABELA 9.23. – ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE FREÁTICA – 60 Kpa, 120 L/hora |                          |                               |              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------|
| DISTÂNCIA (m) / POÇO                                                | NÍVEL D'ÁGUA INICIAL (m) | NÍVEL D'ÁGUA ESTABILIZADO (m) | ELEVAÇÃO (m) |
| 0,00 (AS)                                                           | -                        | -                             | 0,05*        |
| 0,80 (M-07)                                                         | 3,71                     | 3,67                          | 0,04         |
| 1,70 (M-06)                                                         | 3,69                     | 3,67                          | 0,02         |
| 2,70 (M-05)                                                         | 3,70                     | 3,69                          | 0,01         |
| 4,89 (M-08)                                                         | 3,65                     | 3,65                          | 0,00         |

\* - Valor Estimado

| TABELA 9.24. – VARIAÇÃO DOS TEORES DE OD – 60 KPa, 120 L/hora |                   |                 |                  |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| DISTÂNCIA (m) / POÇO                                          | OD INICIAL (mg/L) | OD FINAL (mg/L) | DIFERENÇA (mg/L) |
| 0,80 (M-07)                                                   | 0,45 – 20° C      | 1,16 – 20° C    | 0,71             |
| 1,70 (M-06)                                                   | 0,41 – 20° C      | 1,16 – 20° C    | 0,75             |
| 2,70 (M-05)                                                   | 0,55 – 20° C      | 1,16 – 20° C    | 0,61             |
| 4,89 (M-08)                                                   | 0,50 – 20° C      | 0,55 – 20° C    | 0,05             |

Pode-se observar através destas tabelas, que para este ensaio o raio de influência do ar injetado é de aproximadamente 4,0 metros. Estas condições além de provocar uma boa oxigenação do meio, não promove uma elevação significativa da superfície freática .

Para o dimensionamento final foi realizada então uma modelagem matemática. Não iremos nos aprofundar neste tema uma vez que fugiríamos de nossos objetivos iniciais mostrando apenas alguns aspectos importantes e o resultado final do modelamento. O intuito da modelagem matemática tridimensional da zona insaturada é dimensionar o “lay out” do sistema de remediação em larga escala, tendo como base a extrapolação das características obtidas no ensaio piloto para toda a área do modelo.



Com o modelamento pode-se obter o comportamento dos pontos de extração em condições diversas (pressão, vazão, permeabilidade, presença de cobertura, variação do nível d'água, etc.), assim dimensionando-se o número de pontos de extração, raios de influência, vazão de extração, taxas e concentrações dos compostos removidos.

Utilizou-se o *software* Visual MODFLOW versão 2.60 para simular a circulação de ar através do solo imposta pela ação do EVS em larga escala, e o *software* AIR FLOW versão 2.10 que possibilita definir as taxas de decaimento e a massa removida dos contaminantes presentes nos poros do solo, considerando as pressões de vapor, pontos de ebulição e solubilidade dos compostos modelados.

Através da modelagem matemática os poços de extração de vapores foram locados de modo a se obter a melhor abrangência e rendimento para o sistema, levando-se em conta a distribuição espacial das plumas de contaminação de solo e águas subterrâneas apresentadas no trabalho de Avaliação de Risco a Exposição de Hidrocarbonetos.

O volume total de vapores a ser extraído do subsolo através do sistema EVS será de aproximadamente 9.500 m<sup>3</sup>/dia para os 6 drenos operando simultaneamente. Com base nas características físico-químicas dos contaminantes orgânicos presentes no solo (benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno), estimou-se que a taxa inicial de remoção dos compostos é de aproximadamente 10 kg/dia, e que ao longo da operação decairá gradualmente.

Considerando-se as concentrações de BTXE existentes no solo, é possível estimar o tempo de remoção destes compostos adsorvidos nas condições estabelecidas pela modelagem realizada.

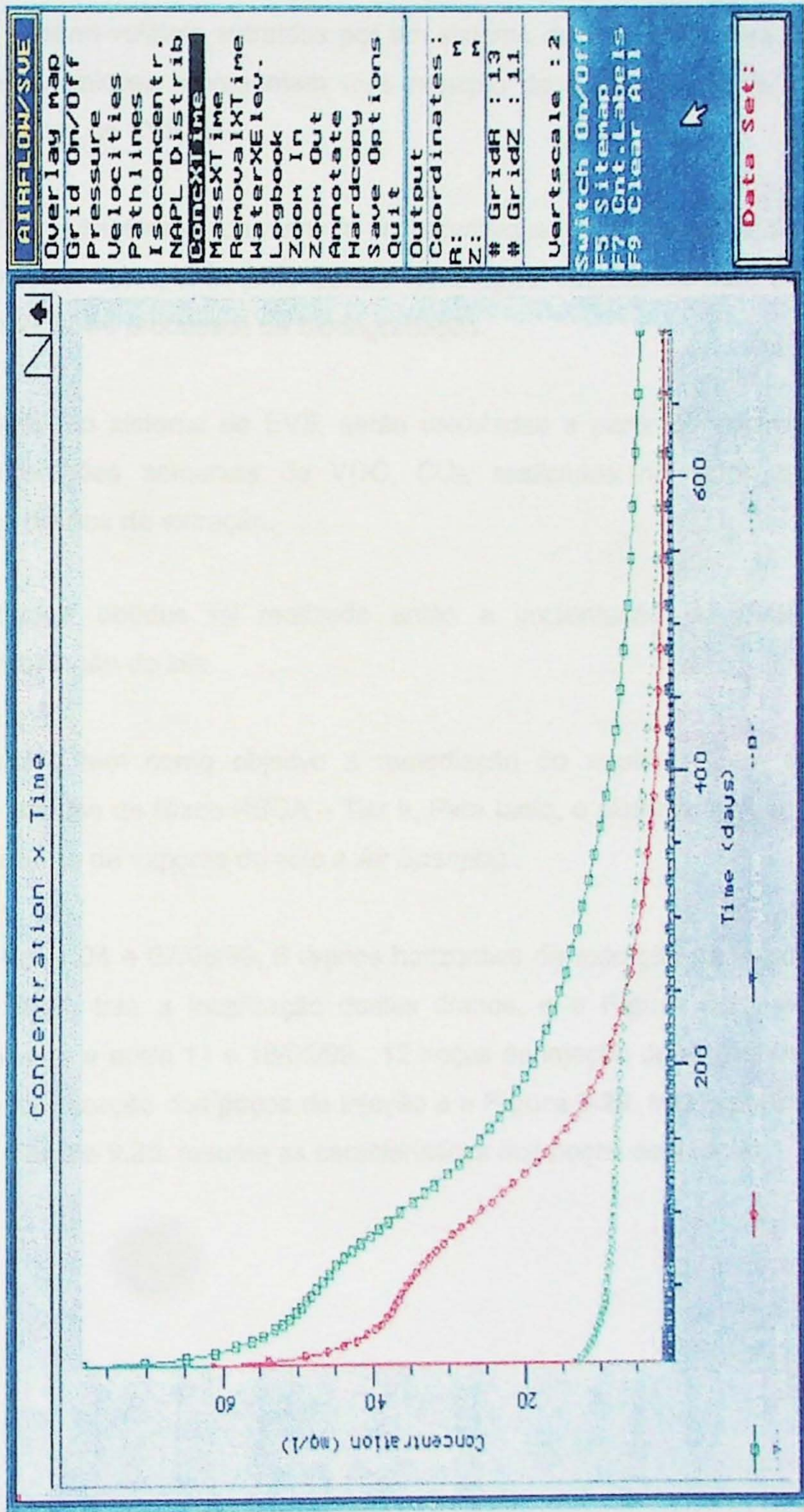
Utilizando-se o *software* AIRFLOW, que considera o decaimento das concentrações apenas por processo advectivo (arraste mecânico), foi produzido o gráfico da evolução das concentração x tempo de operação do EVS (**Figura 9.25.**).

Ativando-se o sistema, as taxas de remoção que inicialmente seriam da ordem de 80 ppm de BTXE se reduziriam a 20 ppm após duzentos dias de operação, e a 10 ppm após 400 dias.

Os resultados obtidos a partir do *software* AIR FLOW (**Figura 9.25.**), mostram que para um período de 200 dias a ação do sistema EVS reduzirá de 80 para 20 ppm os teores de VOC extraídos do solo, e que em 400 dias estes teores estariam na ordem de 10 ppm. Estes



Figura 9.25. - Gráfico da Evolução X Tempo





resultados são conservativos, pois o modelo leva em conta somente a remoção dos contaminantes pelo processo advectivo, descartando a ação do AS e da biodegradação.

Dasch *et al* (1997), estimam através de resultados práticos que para 59 Kg de contaminantes orgânicos voláteis e semi-voláteis extraídos por um sistema de EVS/AS, cerca de 28 Kg são biodegradados. Estes valores representam uma redução da ordem de 30 % no tempo de operação de um sistema de EVS/AS.

Desta forma, é possível se estimar de maneira conservativa as taxas de remoção pelo sistema de EVS, e até mesmo o comportamento destas tecnologias integradas, mas é praticamente impossível se quantificar os processos de biodegradação.

As taxas de remoção do sistema de EVS, serão calculadas a partir do volume de vapores extraídos, e de medições semanais de VOC, CO<sub>2</sub>, realizadas na saída do sistema e individualmente nos drenos de extração.

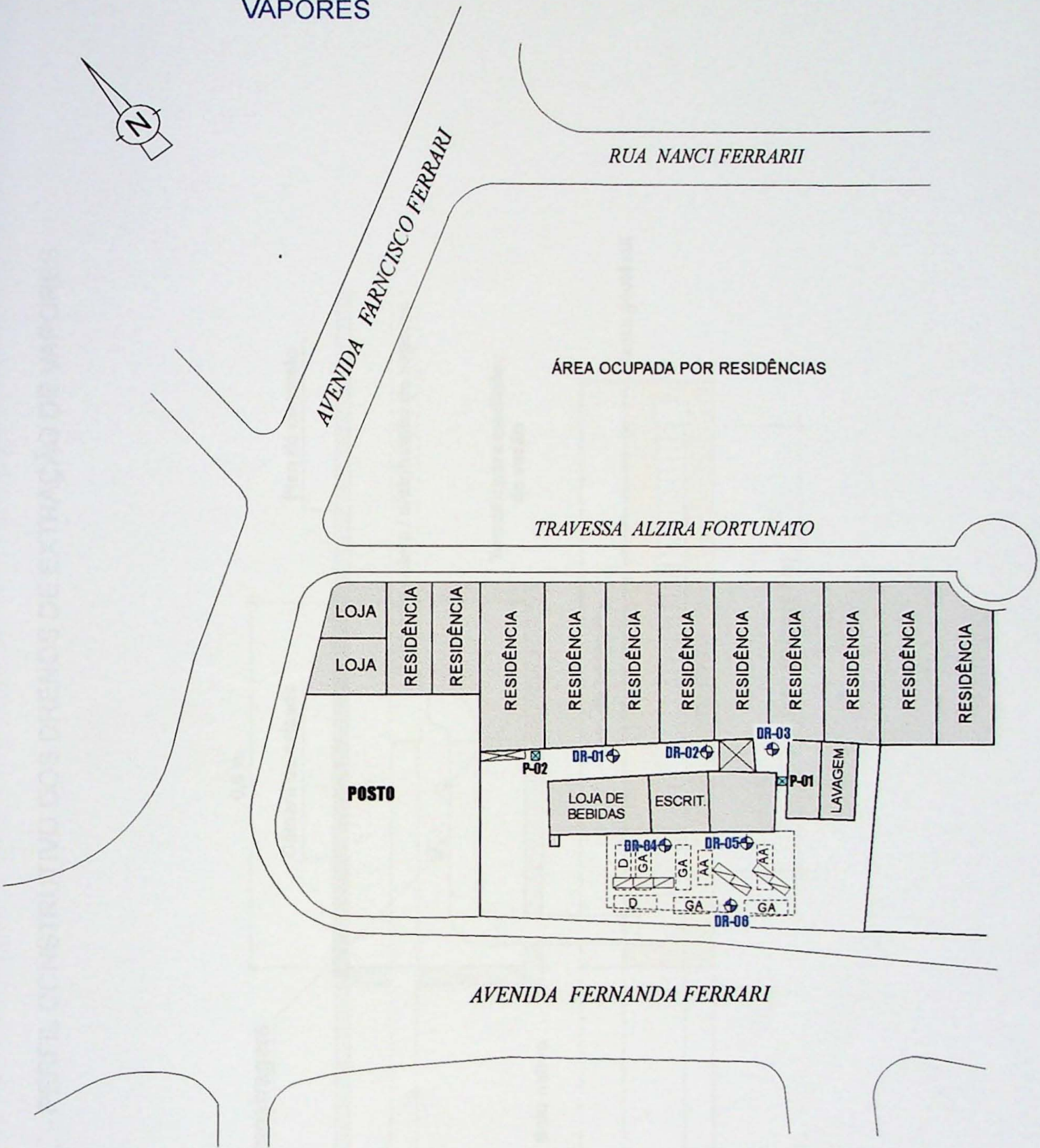
A partir destes dados obtidos foi realizada então a implantação do Sistema EVS/AS possibilitando a remediação do site.

O sistema implantado tem como objetivo a remediação do aquífero local até os níveis determinados pela Análise de Risco RBCA – Tier II. Para tanto, o sistema faz uso das técnicas de extração e tratamento de vapores do solo e *Air Sparging*..

Foram instalados, entre 04 e 07/05/99, 6 drenos horizontais de extração de vapores (DR-01 a DR-06). A **Figura 9.26.** traz a localização destes drenos, e a **Figura 9.27.** ilustra o perfil construtivo dos mesmos e entre 11 e 18/05/99, 12 poços de injeção de ar (AS-01 a AS-12). A **Figura 9.28.** traz a localização dos poços de injeção e a **Figura 9.29.** traz o perfil construtivo e litológico destes. A **Tabela 9.25.** resume as características dos poços de injeção.



Figura 9.26.. - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS DRENOS DE EXTRAÇÃO DE VAPORES



LEGENDA

-  Ilha de abastecimento
-  Tanque de combustível
-  Poço raso de abastecimento
-  Drenos de extração de vapores

0 10 20 m



Figura 9.27.. - PERFIL CONSTRUTIVO DOS DRENOS DE EXTRAÇÃO DE VAPORES

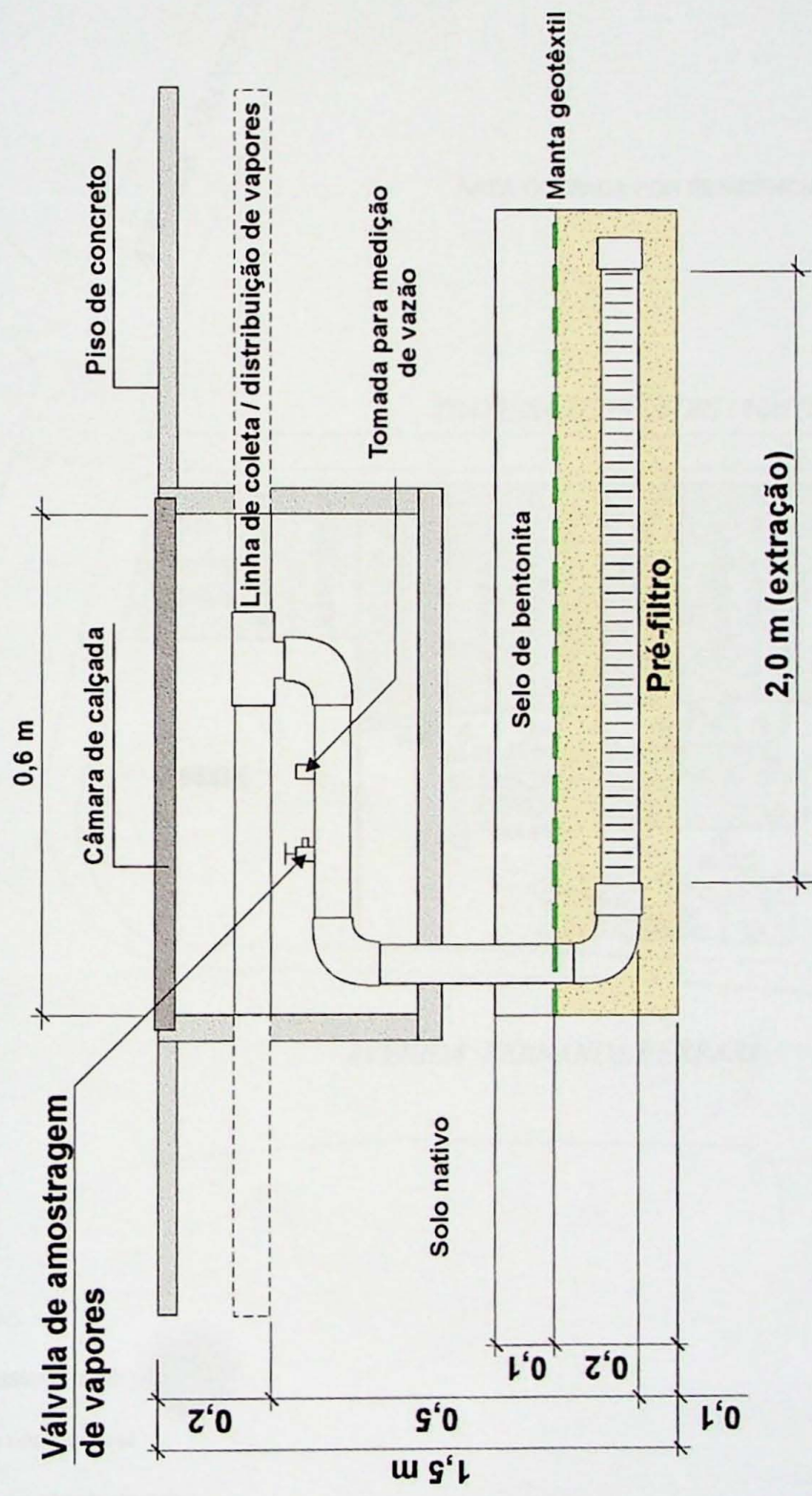
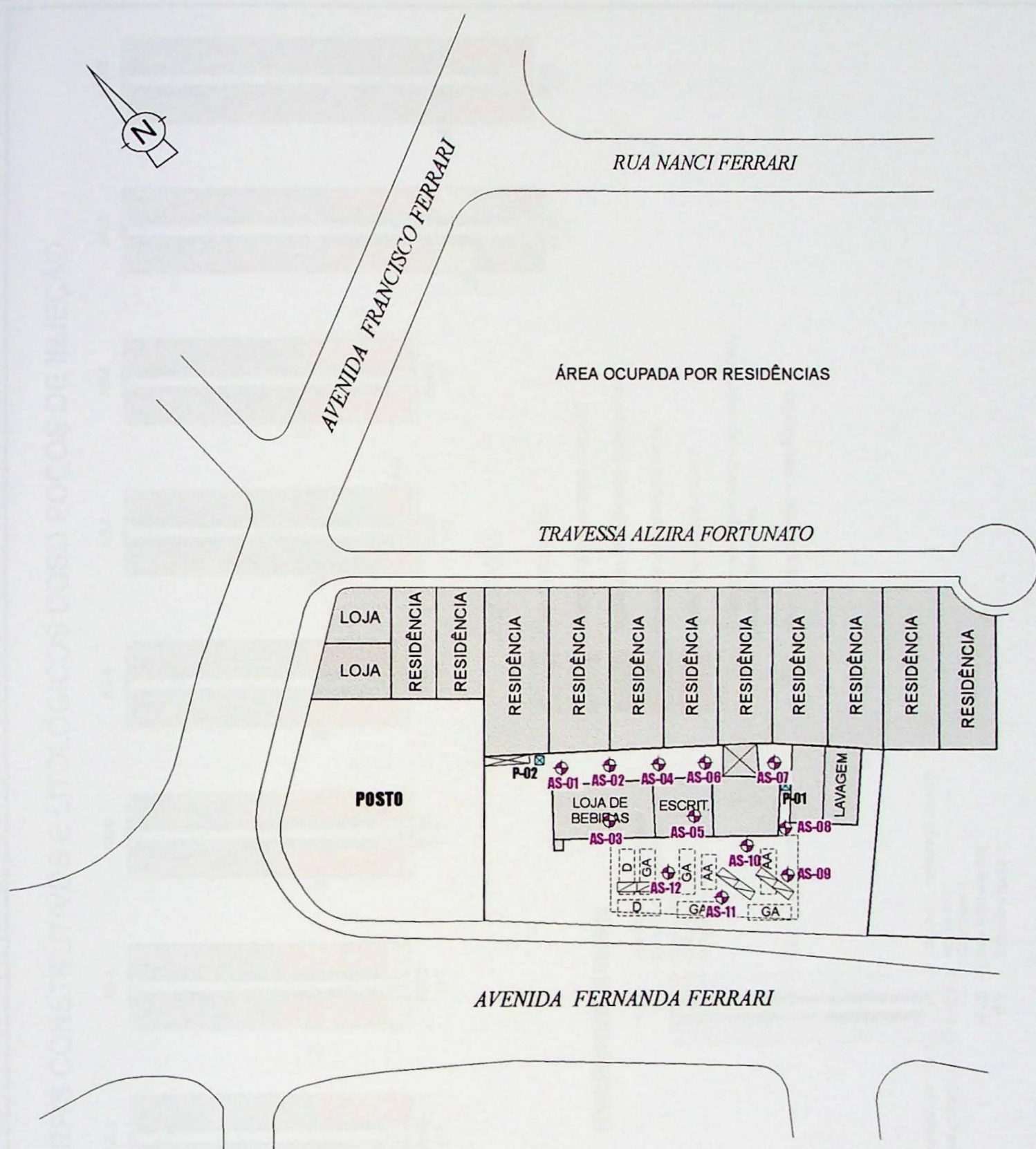




Figura 9.28.. - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE AIR SPARGING

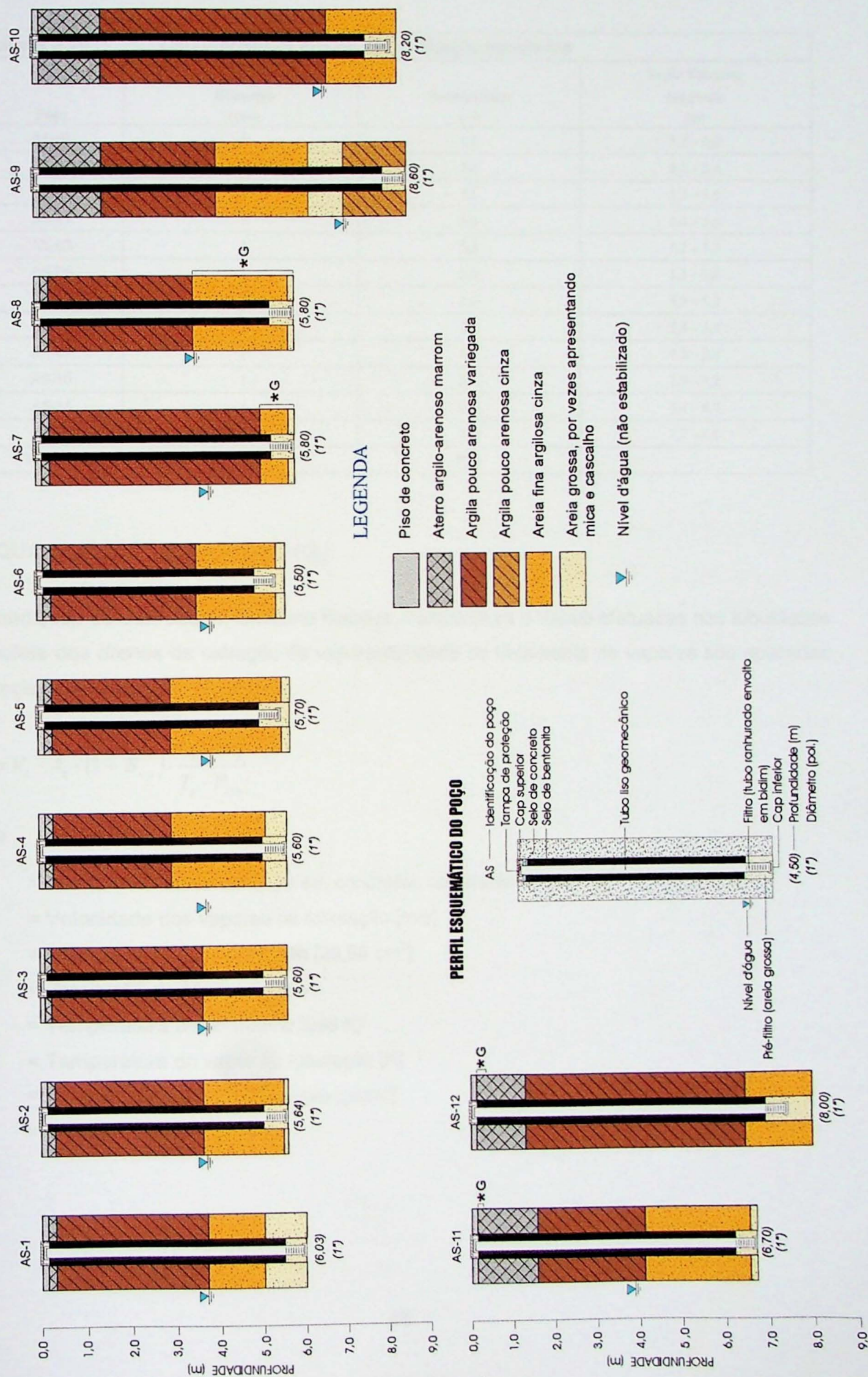


LEGENDA

- Ilha de abastecimento
- Tanque de combustível
- Poço raso de abastecimento
- Poços de injeção de ar



Figura 9.29.. - PERFIS CONSTRUTIVOS E LITOLÓGICOS DOS POÇOS DE INJEÇÃO





| Tabela 9.25 Características dos poços de injeção instalados |                   |                     |                                     |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Poço                                                        | Diâmetro<br>(pol) | Profundidade<br>(m) | Seção Filtrante<br>Intervalo<br>(m) |
| AS-01                                                       | 1                 | 6,0                 | 5,7 – 6,0                           |
| AS-02                                                       | 1                 | 5,6                 | 5,3 – 5,6                           |
| AS-03                                                       | 1                 | 5,6                 | 5,3 – 5,6                           |
| AS-04                                                       | 1                 | 5,6                 | 5,3 – 5,6                           |
| AS-05                                                       | 1                 | 5,5                 | 5,2 – 5,5                           |
| AS-06                                                       | 1                 | 5,6                 | 5,3 – 5,6                           |
| AS-07                                                       | 1                 | 5,8                 | 5,5 – 5,8                           |
| AS-08                                                       | 1                 | 5,9                 | 5,6 – 5,9                           |
| AS-09                                                       | 1                 | 8,6                 | 8,3 – 8,6                           |
| AS-10                                                       | 1                 | 8,2                 | 7,9 – 8,2                           |
| AS-11                                                       | 1                 | 6,7                 | 6,4 – 6,7                           |
| AS-12                                                       | 1                 | 8,0                 | 7,7 – 8,0                           |
| TOTAL                                                       |                   | 77,1                |                                     |

• **QUANTIFICAÇÃO DO FLUXO ( $Q_g$ )**

As medições de Velocidade, Umidade Relativa, Temperatura e Vácuo efetuadas nas tubulações de coleta dos drenos de extração de vapores/unidade de tratamento de vapores são aplicadas na seguinte expressão matemática

$$Q_g = V_s \cdot A_s \cdot (1 - B_{wo}) \cdot \frac{T_{ref} \cdot P_s}{T_s \cdot P_{atm}}$$

onde

- $Q_g$  = Fluxo volumétrico absoluto em condições de referência [cm³/s]
- $V_s$  = Velocidade dos vapores na tubulação [m/s]
- $A_s$  = Área seccional da tubulação [20,96 cm²]
- $B_{wo}$  = Proporção de água no vapor
- $T_{ref}$  = Temperatura de referência [298 K]
- $T_s$  = Temperatura do vapor na tubulação [K]
- $P_s$  = Pressão absoluta na tubulação [g/cm²]
- $P_{atm}$  = Pressão atmosférica



- **ESTIMATIVA DE CONTAMINANTES VOLATILIZADOS ( $T_{ev}$ )**

Os teores de VOC's obtidos nas leituras periódicas são utilizados para a estimativa de contaminantes volatilizados através da aplicação na seguinte expressão matemática:

$$T_{ev} = \frac{VOC \cdot M_{ref}}{0,0224} \cdot Q_g \quad \text{onde:}$$

$T_{ev}$  = Taxa de volatilização de contaminantes [g/dia]

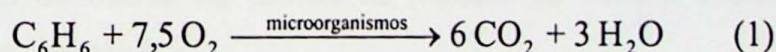
$VOC$  = Teor de VOC's medido na tubulação de coleta [ppmv]

$M_{ref}$  = Massa molar do Isobutileno - composto de referência [56 g/mol]

$Q_g$  = Fluxo Volumétrico [m<sup>3</sup>/dia]

- **ESTIMATIVA DA MASSA DE CARBONO TRANSFORMADA (AÇÃO BIOLÓGICA)**

A seguir é apresentada a alternativa teórica aplicada para quantificação da massa de carbono orgânico transformada em CO<sub>2</sub> como um indicativo da biodegradação aeróbia. Através da medição dos teores de CO<sub>2</sub> realizadas nas tubulações dos drenos de extração de vapores é possível estimar a massa de contaminantes metabolizada aerobicamente por microorganismos presentes no solo local. A reação de biodegradação (adotando-se o benzeno como composto de referência) utilizada para o presente cálculo é simples:



Assumindo o teor normal de CO<sub>2</sub> no ar atmosférico como 0,0%, as medições realizadas nas tubulações dos drenos de extração ditam a quantidade percentual de CO<sub>2</sub> gerada pelo processo de biodegradação aeróbia. Este valor (convertido a fator), combinado ao fluxo volumétrico de extração de cada poço, fornece o volume de CO<sub>2</sub> no vapor extraído.



Aplicando o valor de volume de CO<sub>2</sub> liberado na equação geral dos gases,

$$PV = nRT \quad \Rightarrow \quad n_{CO_2} = \frac{P_s V_{CO_2}}{R T_s}$$

Onde

$n_{CO_2}$  = Produção molar de CO<sub>2</sub> [L/dia]

$P_s$  = Pressão absoluta na tubulação [atm]

$V_{CO_2}$  = Produção volumétrica de CO<sub>2</sub> [L/dia]

$R$  = Constante dos gases (0,082 atm . L / mol . K)

$T_s$  = Temperatura dos vapores na tubulação de coleta [K]

Obtém-se a produção molar diária de CO<sub>2</sub>. Aplicando-se este valor na equação (1) e efetuando-se o balanço estequiométrico, obtém-se o consumo molar diário do contaminante. Considerando que 1 mol de benzeno possui massa igual a 78 g, estimou-se a massa de carbono orgânico transformada (T<sub>eb</sub>) dos contaminantes através da multiplicação destes.

A presença de atividade biológica no solo local pode ser comprovada através dos resultados analíticos de parâmetros biológicos nas amostras de solo coletadas, encontradas na **Tabela 9.26** Observa-se que houve um aumento bastante significativo da quantidade de bactérias em relação as outras campanhas existentes desde o início da operação, indicando a ocorrência de fatores favoráveis ao crescimento da microbiota nativa.

• **PERFORMANCE DO SISTEMA DE EVS**

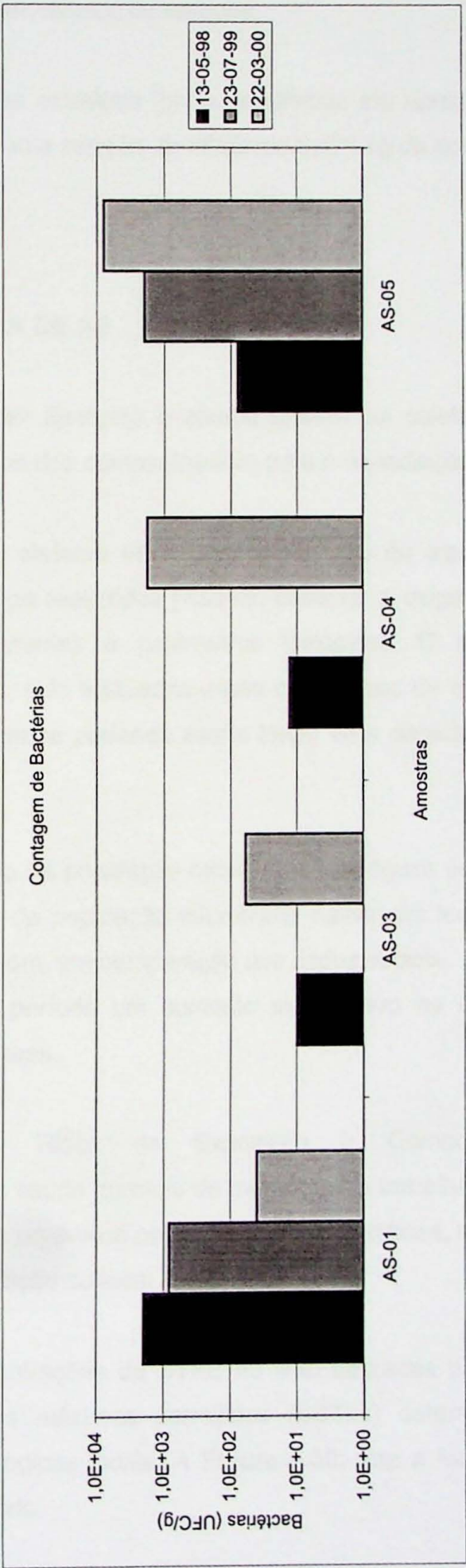
Através da aplicação os dados de campo no modelo de cálculo exposto, foram obtidos os resultados listados na **Tabela 9.27**.

| Tabela 9.27. Estimativa de produção do sistema |                                  |                                  |                                    |
|------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Dreno                                          | Volume de Vapores Extraídos (m³) | Massa Volatilizada Estimada (kg) | Massa de Carbono Transformada (kg) |
| DR-01                                          | 27055                            | 2,1                              | 64                                 |
| DR-02                                          | 12461                            | 0                                | 43                                 |
| DR-03                                          | 25228                            | 35                               | 224                                |
| DR-04                                          | 13717                            | 5,2                              | 16                                 |
| DR-05                                          | 7050                             | 76                               | 126                                |
| DR-06                                          | 19635                            | 4,7                              | 50                                 |
| TOTAL                                          | 105146                           | 123,3                            | 523                                |

Observa-se que, a partir da utilização do modelo de cálculo exposto, houve uma extração de aproximadamente 105000 m³ de vapores do solo local, e provocou a volatilização de



| Tabela 9.26. Resultados analíticos biológicos das amostras de solo |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parâmetro                                                          | Unidade | AS-01    |          |          | AS-03    |          |          | AS-04    |          |          | AS-05    |          |          |
|                                                                    |         | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 |
| Contagem de Bactérias                                              | ufc/g   | 2,0E+03  | 8,3E+02  | 4,0E+01  | 1,0E+01  | <10      | 6,0E+01  | 1,3E+01  | <10      | 1,8E+03  | 8,0E+01  | 2,0E+03  | 8,0E+03  |
| Contagem de Fungos                                                 | ufc/g   | 0,0E+00  | <10      | 0,0E+00  | 0,0E+00  | <10      | 0,0E+00  | 0,0E+00  | <10      | 0,0E+00  | 0,0E+00  | <10      | 0,0E+00  |





aproximadamente 123 kg de contaminantes, além da transformação de 523 kg de contaminantes (ref. benzeno) em dióxido de carbono.

Os 123,3 kg de contaminantes extraídos foram adsorvidos em aproximadamente 700 kg de carvão ativado, apresentando uma relação de eficiência 0,176 kg de contaminante/kg de carvão ativado (17,6% em massa)

## PERFORMANCE DO SISTEMA DE AS

A eficiência do Sistema de *Air Sparging* é aferida através da coleta de amostras de água subterrânea e análises químicas dos compostos-alvo para a remediação.

Entretanto, a performance do sistema de AS na oxigenação do aquífero pode ser avaliada através das medições de campo realizadas (visando observar a oxigenação do aquífero) e de resultados analíticos de nutrientes e parâmetros biológicos. O sistema de AS operou normalmente no atual período, sido efetuadas assim campanhas de monitoramento de campo visando avaliar a sua performance podendo assim traçar uma caracterização do meio biótico local.

A **Tabela 9.28.** traz a evolução da população microbiana nas águas subterrâneas locais. Pode ser observada uma redução da população microbiana nativa em todos os pontos coletados para a campanha de amostragem, em comparação aos dados iniciais.

É esperado para o próximo período um aumento significativo na quantidade de bactérias presentes nas águas subterrâneas.

O Estudo “Avaliação de Risco de Exposição a Compostos Hidrocarbonetos” avaliou a existência de risco à saúde humana de moradores e trabalhadores locais, em função da presença de contaminantes orgânicos no solo e água subterrânea, respeitadas as condições do modelo conceitual de exposição do local (MCEL).

A **Tabela 9.29.** traz as concentrações de BTXE no solo utilizadas pelo estudo, comparando estes dados com os valores máximos permitidos (SSTLs) determinados em função de especificidades físicas e geológicas locais. A **Figura 9.30.** traz a localização dos pontos de amostragem coletados no estudo.



| Resultados analíticos biológicos das amostras de água subterrânea |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parâmetro                                                         | Unidade | PM-05    |          |          | PM-06    |          |          | PM-10    |          |          | PM-15    |          |          |
|                                                                   |         | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 | 13-05-98 | 23-07-99 | 22-03-00 |
| Contagem de Bactérias                                             | ufc/g   | 4,10E+04 | 5,50E+04 | 6,40E+05 | 2,80E+06 | 4,20E+03 | 6,40E+03 | 1,20E+06 | 3,10E+04 | 8,00E+03 | 1,50E+05 | 5,30E+05 | 1,60E+05 |
| Contagem de Fungos                                                | ufc/g   | 2,00E+01 | <10      | 8,90E+02 | 3,00E+01 | <10      | 1,50E+01 | 0,00E+00 | <10      | ausente  | 3,00E+01 | <10      | 1,00E+02 |

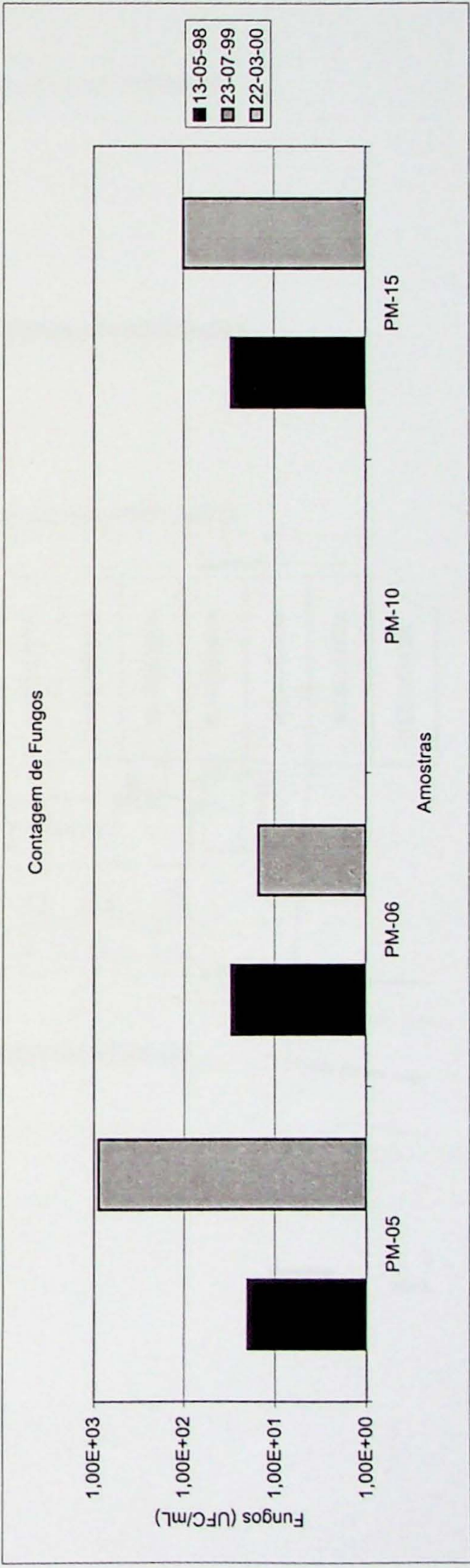
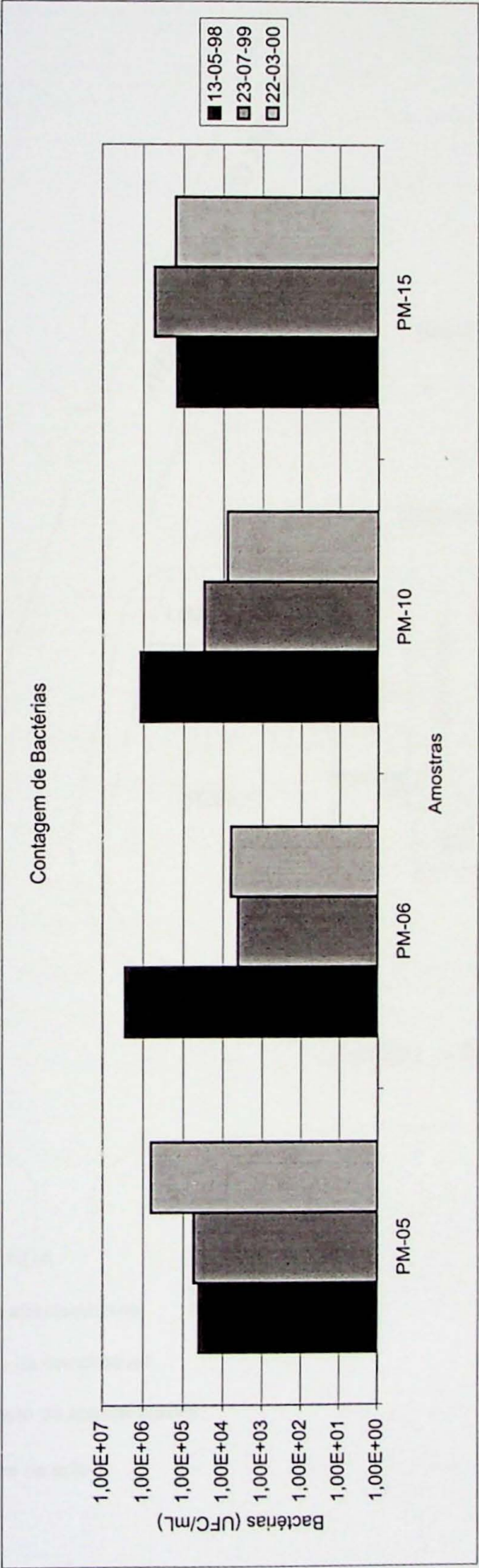
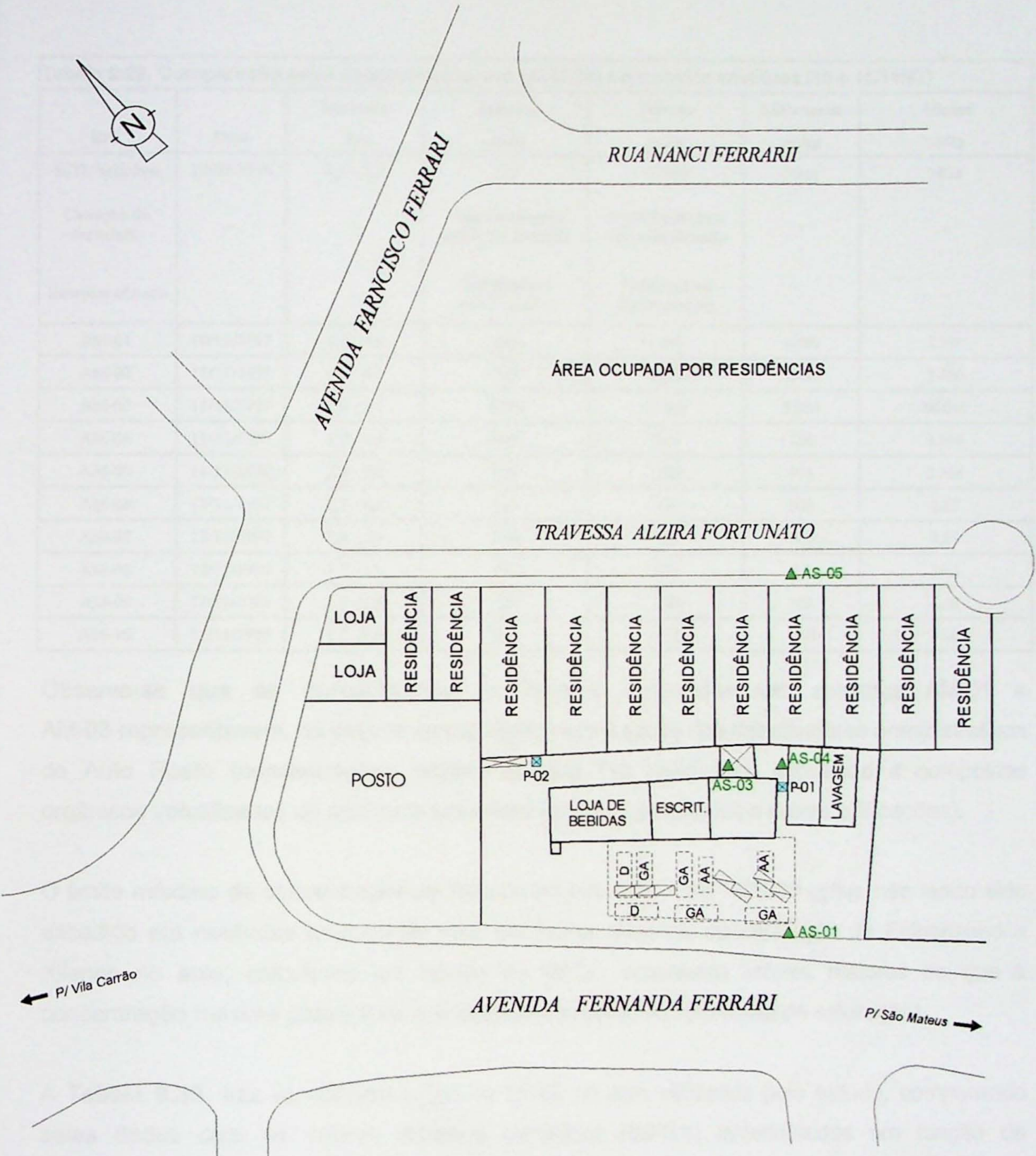




Figura 9.30.. - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLO



LEGENDA

- GCAC Ilha de abastecimento
- GA Tanque de combustível
- P-01 Poço raso de abastecimento
- AM-01 Amostra de solo

0 10 20 m



**Tabela 9.29. Comparação entre concentrações alvo (27/07/98) e resultados analíticos (10 e 11/11/97)**

| Ref.                    | Data       | Intervalo<br>(m) | Benzeno<br>µg/kg                         | Tolueno<br>µg/kg                         | Etilbenzeno<br>µg/kg | Xilenos<br>µg/kg |
|-------------------------|------------|------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|------------------|
| SSTL aplicável          | 27/07/1998 | 0,5 – 3,5        | 110                                      | 130000                                   | >Res                 | >Res             |
| Caminho de<br>exposição | -          | -                | Volatilização para<br>ambientes fechados | Volatilização para<br>ambientes fechados | -                    | -                |
| Receptor afetado        | -          | -                | Trabalhadores<br>administrativos         | Trabalhadores<br>administrativos         | -                    | -                |
| AM-01                   | 10/11/1997 | 0,9 - 1,0        | 254                                      | 1.600                                    | 1.160                | 7.370            |
| AM-02                   | 11/11/1997 | 4,4 - 4,5        | ND                                       | 1.390                                    | 1.230                | 7.460            |
| AM-03                   | 11/11/1997 | 1,9 - 2,1        | 1.710                                    | 16.900                                   | 9.920                | 66.000           |
| AM-04                   | 11/11/1997 | 1,9 - 2,0        | 24,1                                     | 72,5                                     | 259                  | 1.966            |
| AM-05                   | 11/11/1997 | 2,8 - 3,0        | ND                                       | 1.520                                    | 904                  | 3.368            |
| AM-06                   | 12/11/1997 | 3,9 - 4,0        | ND                                       | 1,8                                      | ND                   | 2,63             |
| AM-07                   | 12/11/1997 | 2,8 - 3,0        | 1,56                                     | 3,27                                     | ND                   | 2,97             |
| AM-08                   | 12/11/1997 | 1,7 - 1,8        | ND                                       | ND                                       | 3,3                  | 16,3             |
| AM-09                   | 12/11/1997 | 1,8 - 2,0        | ND                                       | 1,48                                     | ND                   | 1,48             |
| AM-10                   | 11/11/1997 | 2,7 - 3,0        | 90,9                                     | 67,3                                     | 79,8                 | 714              |

Observa-se que as concentrações de Benzeno detectadas nas amostras AM-01 e AM-03 representavam, na data de amostragem, risco à saúde dos trabalhadores administrativos do Auto Posto (concentrações maiores do que 110 µg/kg), por exposição a compostos orgânicos volatilizados do solo para ambientes fechados (escritórios e outras edificações).

O limite máximo de concentração de Tolueno no solo local é de 130.000 µg/kg, não tendo sido excedido em nenhuma amostra de solo. Os limites máximos concentração de Etilbenzeno e Xilenos no solo, calculados em função do MECL, constituem valores maiores do que a concentração máxima possível de adsorção do composto no solo (nível de saturação).

A **Tabela 9.30.** traz as concentrações de BTXE no solo utilizadas pelo estudo, comparando estes dados com os valores máximos permitidos (SSTLs) determinados em função de especificidades físicas e hidrogeológicas locais.



| <b>Tabela 9.30. Comparação entre concentrações alvo (27/07/98) e resultados analíticos (04/07 e 21/11/97)</b> |             |                                       |                                       |                             |                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>Ref.</b>                                                                                                   | <b>Data</b> | <b>Benzeno<br/>µg/L</b>               | <b>Tolueno<br/>µg/L</b>               | <b>Etilbenzeno<br/>µg/L</b> | <b>Xilenos<br/>µg/L</b> |
| SSTL aplicável                                                                                                | 27/07/1998  | 75                                    | 86000                                 | >Sol                        | >Sol                    |
| Caminho de exposição                                                                                          | -           | Volatilização para ambientes fechados | Volatilização para ambientes fechados | -                           | -                       |
| Receptor afetado                                                                                              | -           | Trabalhadores administrativos         | Trabalhadores administrativos         | -                           | -                       |
| PM-03                                                                                                         | 04/07/1997  | 6.430                                 | 11.000                                | 1.480                       | 7.850                   |
| PM-03 (réplica)                                                                                               | 04/07/1997  | 3.840                                 | 13.500                                | 1.730                       | 11.070                  |
| PM-04                                                                                                         | 04/07/1997  | 3.610                                 | 6.140                                 | 603                         | 4.680                   |
| PM-05                                                                                                         | 04/07/1997  | 5.850                                 | 11.000                                | 1.370                       | 9.740                   |
| PM-06                                                                                                         | 04/07/1997  | 6.800                                 | 12.100                                | 1.650                       | 9.040                   |
| PM-07                                                                                                         | 04/07/1997  | ND                                    | ND                                    | ND                          | ND                      |
| PM-08                                                                                                         | 04/07/1997  | ND                                    | 13,8                                  | ND                          | 1,5                     |
| PM-09                                                                                                         | 04/07/1997  | ND                                    | ND                                    | ND                          | ND                      |
| PM-10                                                                                                         | 04/07/1997  | 5.380                                 | 8.680                                 | 1.230                       | 7.900                   |
| PM-11                                                                                                         | 21/11/1997  | 9,39                                  | 96,2                                  | 13,8                        | 40,1                    |
| PM-12                                                                                                         | 21/11/1997  | 37,7                                  | 93,9                                  | 23,8                        | 90,4                    |
| PM-13                                                                                                         | 21/11/1997  | 129                                   | 1.100                                 | 393                         | 2.073                   |
| PM-14                                                                                                         | 21/11/1997  | ND                                    | ND                                    | ND                          | 1,36                    |
| PM-15                                                                                                         | 21/11/1997  | 80,5                                  | 17,9                                  | 2,07                        | 19,9                    |
| PM-16                                                                                                         | 21/11/1997  | 2.930                                 | 1.110                                 | 163                         | 524                     |
| P-01                                                                                                          | 04/07/1997  | 1.450                                 | 2.960                                 | 447                         | 2.775                   |
| P-02                                                                                                          | 21/11/1997  | 59,4                                  | 1,61                                  | 6,80                        | 6,33                    |

As concentrações de benzeno dissolvidas nas amostras de água subterrânea coletadas nos PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-10, PM-13, PM-15, PM-16 e P-01 representavam, na data de amostragem, risco à saúde dos trabalhadores administrativos do Auto Posto (por estarem acima de 75 µg/L), através da exposição destes a compostos orgânicos volatilizados das águas subterrâneas para ambientes fechados (escritórios, banheiros e outras edificações).

O limite máximo de concentração de Tolueno nas águas subterrâneas locais é de 86.000 ug/L, não tendo sido excedido em nenhuma amostra de água subterrânea. Os limites máximos concentração de Etilbenzeno e Xilenos no solo, calculados em função do MECL, constituem valores maiores do que o limite de solubilidade do composto em água, a 20° C (152 mg/L e 198 mg/L, respectivamente).

Desta forma, assume-se como níveis-alvo para a remediação do substrato local, as concentrações máximas de benzeno de 110 µg/kg no solo e 75 µg/L nas águas subterrâneas, em qualquer ponto do site.



Para avaliar a evolução das concentrações de contaminantes no solo e águas subterrâneas ao longo do tempo de operação do sistema, foi adotado um universo amostral composto por 4 pontos de amostragem de solo e 4 pontos de amostragem de águas subterrâneas.

Estes pontos foram locados de maneira a obter-se 1) um ponto à montante da contaminação, 2) dois pontos localizados na área de atuação do sistema e próximos a pontos excedentes aos SSTL e 3) um ponto à jusante, controlando a dispersão da contaminação.

A **Tabela 9.31.** lista as concentrações de compostos orgânicos presentes nas amostras de solo obtidos nas seguintes campanhas de amostragem:

- Novembro/97      referente à execução do Estudo de Análise de Risco (SP/P602/R604/98);
- Julho/99            referente à campanha inicial da operação do Sistema de Remediação; e
- Março/00            referente à 1ª campanha trimestral de monitoramento analítico do Sistema de Remediação

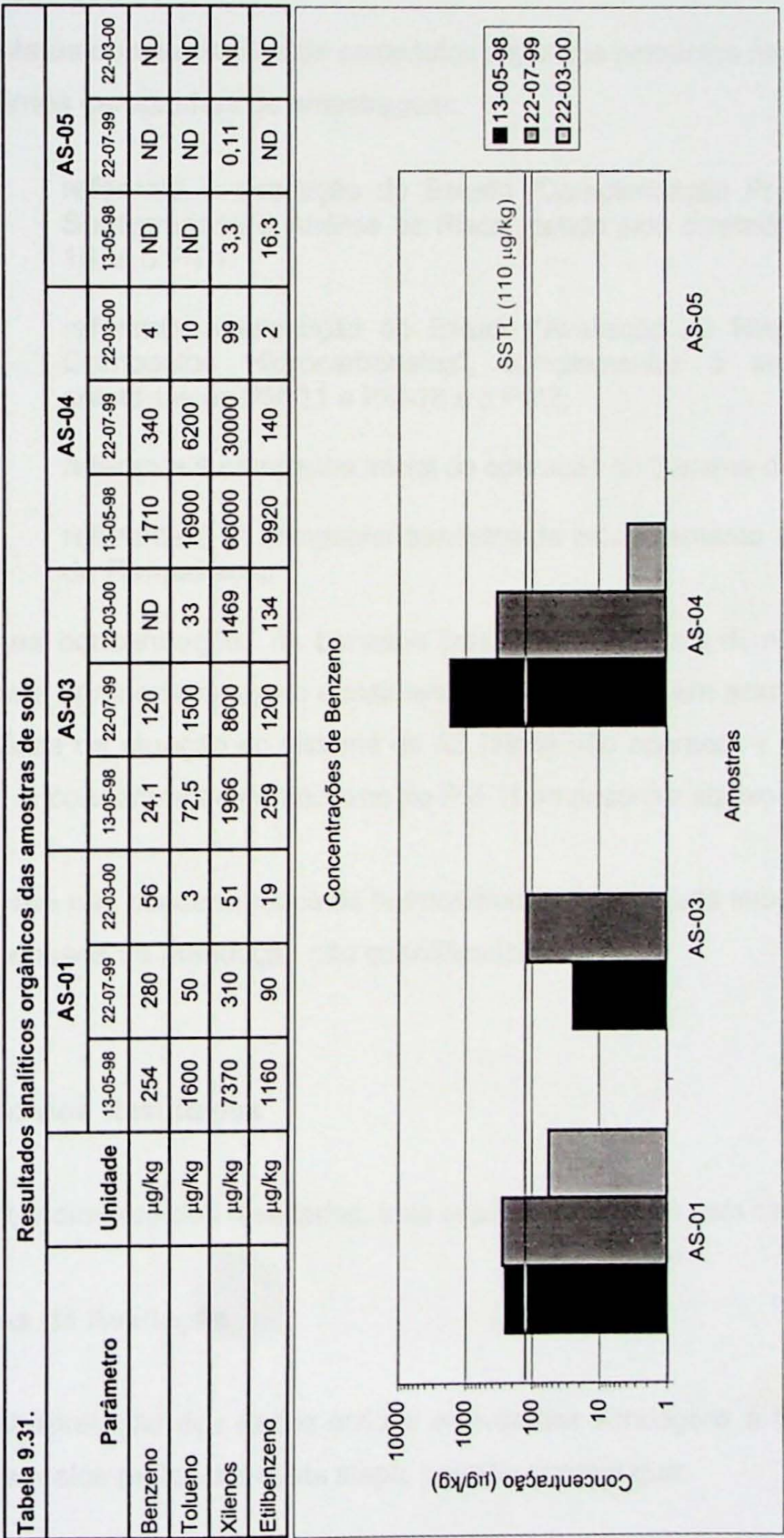
De maneira a referenciar a campanha de amostragem de Novembro/97, foi adotada a seguinte relação de representatividade entre as amostras em função da proximidade dos pontos de coleta:

| Identificação – Nov/97 | Referência - Jul/99 e Mar/00 |
|------------------------|------------------------------|
| AM-01                  | AS-01                        |
| AM-04                  | AS-03                        |
| AM-03                  | AS-04                        |
| AM-06                  | AS-05                        |

Observa-se que as concentrações de benzeno, após apresentarem ligeira elevação no período de Novembro/97 a Julho/98, atualmente situam-se abaixo do SSTL definido em 27/07/98. Pode ser observado o valor máximo de 56 mg/kg na AS-01, coletada a montante. Os pontos localizados na área de atuação do sistema (AS-03 e AS-04) apresentaram ausência ou teores muito reduzidos de benzeno. Os demais compostos (tolueno, xilenos e etilbenzeno) também apresentaram considerável decaimento, encontrados atualmente em concentrações de até 1469 µg/kg. O decaimento observado pode ser atribuído aos seguintes fatores:

1. Operação do sistema de EVS de Novembro/99 a Março/00, que provocou a volatilização/adsorção em carvão ativado de estimados 60 kg de hidrocarbonetos (entre eles o benzeno) de acordo com o modelo de cálculo adotado;







2. A ocorrência de processos biológicos aeróbios de degradação de compostos orgânicos (confirmados pela presença de CO<sub>2</sub> nos vapores extraídos), sendo estimado o montante de 1.000 kg de hidrocarbonetos degradados de acordo com o modelo de cálculo adotado.

A **Tabela 9.32.** lista as concentrações de compostos orgânicos presentes nas amostras de água obtidos nas seguintes campanhas de amostragem:

- Julho/97                    referente à execução do Estudo “Caracterização Preliminar das Águas Subterrâneas e Análise de Risco”, tendo sido coletados os PM-03 a PM-10, e o P-01;
- Novembro/97            referente à execução do Estudo “Avaliação de Risco de Exposição a Compostos Hidrocarbonetos”, complementar à anterior, tendo sido coletados os PM-11 a PM-16 e o P-02;
- Julho/99                    referente à campanha inicial da operação do Sistema de Remediação; e
- Março/00                    referente à 1ª campanha trimestral de monitoramento analítico do Sistema de Remediação

Observa-se que as concentrações de benzeno (assim como as dos demais compostos) nas águas subterrâneas apresentam ligeiro decaimento, mas permanecem acima do SSTL definido em 27/07/98 na área de atuação do sistema de AS (ainda não operado) e a jusante (Travessa Alzira Fortunato). A concentração de benzeno do PM-15 se encontra abaixo do SSTL.

O ligeiro decaimento nas concentrações de hidrocarbonetos nas águas subterrâneas se deve à ocorrência de processos de atenuação não quantificados.

## **10. Apresentação dos Resultados**

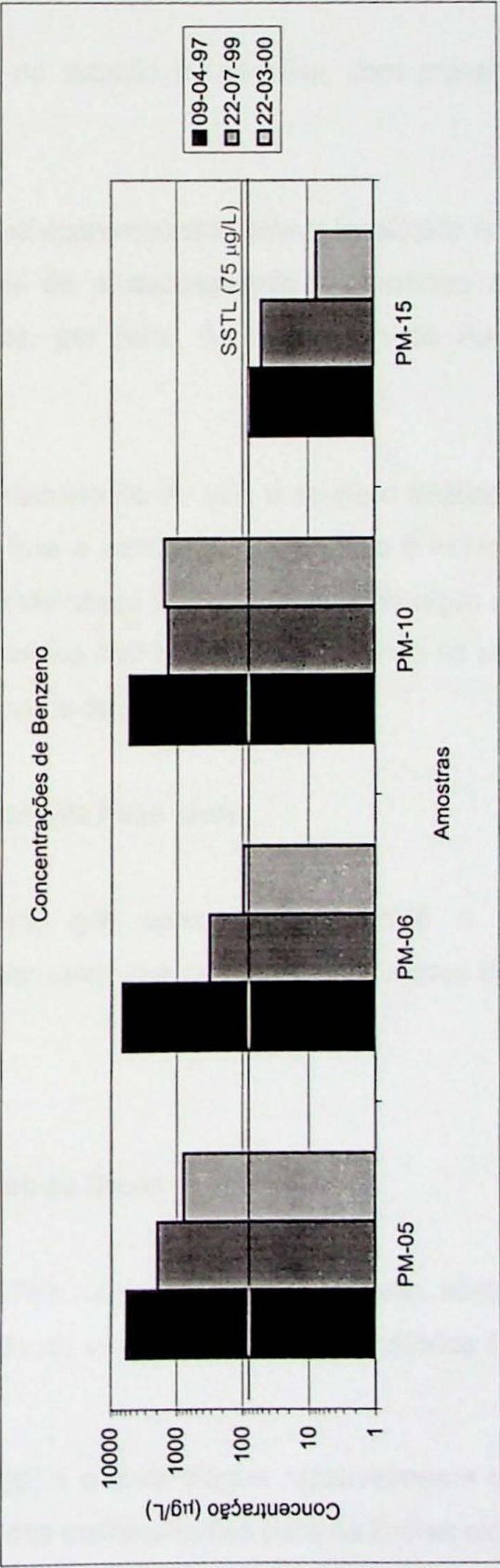
Para o melhor entendimento dos resultados, este capítulo será dividido em cinco sub-itens.

### **10.1 – Resultados da Avaliação**

A integração e interpretação dos dados obtidos através das sondagens a trado, dos poços de monitoramento e ensaios realizados nesta etapa, permitiu concluir que:



| Tabela 9.32. Resultados analíticos orgânicos das amostras de água subterrânea |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parâmetro                                                                     | Unidade | PM-05    |          |          | PM-06    |          |          | PM-10    |          |          | PM-15    |          |          |
|                                                                               |         | 09-04-97 | 22-07-99 | 22-03-00 | 09-04-97 | 22-07-99 | 22-03-00 | 09-04-97 | 22-07-99 | 22-03-00 | 21-11-97 | 22-07-99 | 22-03-00 |
| Benzeno                                                                       | µg/L    | 5850     | 2000     | 790      | 6800     | 320      | 97       | 5380     | 1400     | 1590     | 80,50    | 51,00    | 7,4      |
| Tolueno                                                                       | µg/L    | 11000    | 8200     | 4190     | 12100    | 4400     | 1250     | 8680     | 1200     | 1280     | 17,90    | 9,0      | 0,28     |
| Xilenos                                                                       | µg/L    | 9740     | 12000    | 8090     | 9040     | 6800     | 9680     | 7900     | 830      | 1001     | 19,90    | 12,00    | 2,14     |
| Etilbenzeno                                                                   | µg/L    | 1370     | 290      | 689      | 1650     | 930      | 165      | 1230     | 140      | 143      | 2,07     | 2,8      | nd       |





- O lençol freático encontra-se a uma profundidade de que varia de 4,00 a 1,00 metros, com sentido geral de fluxo de sul para norte (em direção à Travessa Alzira Fortunato, rumo ao Rio do Vina).
- A velocidade das águas subterrâneas é estimada em 19 metros/ano na área do Auto-Posto.
- O principal contaminante presente no subsolo é gasolina, com presença de fase livre sobrenadante ao lençol freático.
- A fonte de contaminação por gasolina aparentemente estava localizada em uma das linhas que leva o combustível do tanque de armazenamento subterrâneo até a bomba de distribuição. Teriam sido registradas, por parte do proprietário do Auto Posto, perdas significativas de combustível.

As investigações indicam que ocorreu contaminação do solo e aquífero freático por gasolina. A pluma de presença de gasolina em fase livre e com presença no solo é estimada em torno de 1.300 m<sup>2</sup>, ocupando uma faixa que se estende desde as bombas de distribuição até as residências vizinhas ao Auto Posto localizadas na Travessa Alzira Fortunato, podendo se alongar por sob as residências do outro lado da travessa, por cerca de mais 150 m<sup>2</sup>.

## **10.2. Resultados da Operação de Remoção de Fase Livre**

A operação de remoção de fase livre, que operou de Março/96 à Julho/98, retirou aproximadamente 1100 litros de combustível sendo que nos 7 primeiros meses da operação foram retirados 90% deste montante.

## **10.3 Resultados da Investigação e Análise de Risco**

- O solo encontra-se impactado por BTEX na porção central do posto, abrangendo a região dos tanques subterrâneos em direção ao setor de lavagem e escritórios atingindo parte da área residencial limitrofe ao posto.
- As condições do solo (argilo-arenoso) e o nível d'água razoavelmente raso favorecem o processo de infiltração e transporte dos contaminantes para os limites externos do site em questão.



- A direção do fluxo das águas subterrâneas ocorre de sudoeste para nordeste, em sentido ao Rio do Vina (área de descarga), cujas águas são destinadas aos usos menos exigentes - Classe 4.
- De acordo com o monitoramento atualmente efetuado nos poços, verifica-se que estes não apresentam fase livre de hidrocarbonetos.
- As águas subterrâneas na área em estudo encontram-se impactadas por hidrocarbonetos, sendo que nos poços de monitoramento localizados fora dos limites do posto (PM-6, PM-11, PM-12 e PM-13), foram detectadas concentrações significativas de BTEX na fase dissolvida. As águas provenientes dos poços rasos existentes na área do Posto TF-2001 (P-01 e 02) também apresentam concentrações significativas de BTXE, cujas águas são utilizadas no setor de lavagem de automóveis. A pluma de contaminação nas águas subterrâneas se direciona no sentido do fluxo subterrâneo, abrangendo a área residencial à jusante.

A utilização das águas subterrâneas pela população local é improvável pois a área é servida por abastecimento público e não se tem histórico da utilização de águas rasas na região. A montante do posto existe um grande cemitério, o qual provavelmente contribui para a alteração da qualidade das águas, tornando-a imprópria para o consumo humano.

- A média das concentrações de Benzeno obtidas no solo ultrapassa os valores máximos calculados para o site nas condições de lixiviação (contato dermal e ingestão) com relação aos residentes e trabalhadores locais.
- A concentração média de Benzeno na água supera os limites estabelecidos para o site, considerando-se que as concentrações mais elevadas foram detectadas nos poços de monitoramento PM-03, PM-04, PM-06, PM-10 e PM-16. A concentração máxima calculada para benzeno foi baseada na condição de ingestão das águas por residentes e trabalhadores locais, além da inalação de vapores por residentes em ambientes fechados.

#### **10.4. Ensaio Piloto de Extração dos Vapores do Solo e “Air Sparging” – Projeto Conceitual de Remediação**

Conclui-se que as tecnologias de Extração dos Vapores do Solo e “*Air Sparging*” são aplicáveis no processo de remediação do solo e águas subterrâneas impactados no Auto Posto TF-2001



A implantação deste sistema, conjuntamente com a recirculação das águas impactada no aquífero (sistema de bombeamento), potencializarão os processos naturais de biodegradação, otimizando o tempo de remediação do *site*.

### **10.5 – Implantação e Operação do Sistema de Remediação.**

A implantação e operação do sistema de remediação do Auto Posto TF-2001 permitiu chegar aos seguintes resultados:

De acordo com o modelo de cálculo exposto, foram extraídos ~90.000 m<sup>3</sup> de vapores do solo em 71 dias (corridos) de operação do Sistema de EVS, entre 19/11/99 e 03/03/00. Este volume de vapores removeu a massa de ~60 kg de hidrocarbonetos captados através de volatilização, e propiciou a transformação de ~1.000 kg de hidrocarbonetos em CO<sub>2</sub> (mineralização);

O solo local apresenta boas condições para a ocorrência de processos biológicos aeróbios de degradação de contaminantes, tendo sido observada elevação na população bacteriana;

Os contaminantes volatilizados do solo foram adsorvidos em ~700 kg de carvão ativado, apresentando um rendimento de ~8,5 % em massa;

As concentrações de compostos orgânicos no solo apresentaram drástica redução em Março/00, após a operação do sistema de EVS. As concentrações de benzeno no solo já se encontram abaixo do SSTL definido em Julho/98, de 110 g/kg.

As concentrações de compostos orgânicos nas águas subterrâneas apresentam estabilidade ou pequena redução em relação a Maio/98 (campanha de amostragem inicial);

As águas subterrâneas constituem meio anaeróbio, tendo sido observados indícios de atividade de atenuação de contaminantes. Em geral, as concentrações de benzeno dissolvidas ainda encontram-se acima do SSTL.



## 11. Conclusões

Este trabalho possibilitou a visualização de uma sequência de eventos ao longo de cinco anos. Neste período ocorreram significativas mudanças nas técnicas de sondagens passando de trados manuais para trados mecanizados. Cabe ressaltar que em determinadas situações o emprego de sondagens manuais ou automáticas portáteis são mais indicadas, pela segurança, uma vez que é comum em postos de serviços e áreas externas existirem pontos de difícil acesso para equipamentos maiores.

O emprego de equipamentos portáteis para a quantificação dos compostos químicos em campo (PID, FID, Landtech, Interface Meter, Peagâmetro, Condutivímetro) tornaram uma ferramenta indispensável nas diferentes etapas (Avaliação, Remediação e Monitoramento).

A normalização de várias atividades como instalação de poços e amostragens de água e solo, entre outras, possibilitam uma maior garantia na representatividade dos dados analíticos, fundamentais tanto para a Análise de Risco (RBCA), como para o dimensionamento do sistema de remediação.

A remoção de fase livre deve ser priorizada, em virtude da possibilidade de geração de explosividade em ambientes semi-confinados como por exemplo, garagens subterrâneas, poços de visita de concessionárias (telefone, gás, água entre outros). A execução de ensaios de bombeamento auxiliam no dimensionamento da rede de poços, aumentando a eficiência da remoção do produto sobre o lençol freático. O emprego de técnicas como a extração multifásica (MPE), mostra-se atualmente como uma alternativa viável nesta fase do processo.

Na retirada da fase livre bem como em todas as etapas a seguir é importante que a(s) fonte(s) do(s) vazamento(s) estejam devidamente solucionadas, ou seja, não existem mais contribuições, somente a extensão já mapeada. O acompanhamento do rendimento do produto retirado e as espessuras medidas nos diferentes poços são fundamentais para a tomada de decisão quanto a paralização do sistema. No caso avaliado foi recomendada a paralização, a qual seguiu por um período muito além do necessário, pois envolvia pareceres técnicos, os quais muitas vezes são demorados pela burocracia, uma vez que o caso envolvia a Promotoria Pública.

A Análise de Risco, realizada após a avaliação, deveria ser feita concomitantemente a mesma, uma vez que otimizaria as ações necessárias para a remediação da área caso fosse detectada



a necessidade da remediação, além de apresentar uma melhor caracterização da situação geral do site, das rotas dos contaminantes e das pessoas envolvidas (frentistas, funcionários e vizinhos)

O ensaio piloto do sistema de remediação, no caso SVE/AS é recomendado, possibilitando a simulação em *software* de diversos arranjos, contribuindo para uma maior eficiência bem como redução dos custos.

A implantação do sistema de remediação, atualmente em operação, mostrou-se funcional, possibilitando o acompanhamento da evolução da recuperação do local impactado, outro fator é a existência de uma forte atividade microbiológica de degradação dos compostos orgânicos provenientes de combustíveis, isto ocorre ao longo de todo o ano, em regiões de clima tropical, diferente de países com invernos marcantes.

A participação do aluno como estagiário em diversas partes do processo como coleta de amostras de solo e água, monitoramento do nível d'água, do sistema de remediação, das sondagens, da instalação de poços e demais atividades trouxe uma experiência de campo e de escritório que serão importantíssimas no decorrer da sua vida profissional.

São Paulo, 12 dezembro de 2001



Prof. Dr. Alberto Pacheco  
(Orientador)

Geólogo Rogério Farias  
(Co-Orientador)

Marcos Foltran Ferrari  
(Aluno)



## 11. BIBLIOGRAFIA

- CETESB - 1988 - Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, 1ª ed., São Paulo, CETESB, 150 pp.
- Clean Enviroment Equipment – 1998 – Equipment for Groundwater Remediation and Leachete Extraction.
- Csd-Geoklock - 2000 – Relatório da Implantação e Operação de Remediação.
- Csd-Geoklock - 1998 – Relatório de Avaliação de Risco de Exposição a Hidrocarbonetos
- Csd-Geoklock - 1999 – Relatório do Ensaio Piloto de Extração dos Vapores do Solo e "Air Sparging"
- Csd-Geoklock - 1996 – Relatório da Avaliação da Presença de Combustíveis no Solo e Lençol Frático
- Freeze R.A. & Cherry, J.A. - 1979 - Groundwater, 1ª ed., New Jersey, Pretince Hall, 604 pp.
- Guidorizi, H. – 1973 – Um Curso de Cálculo – Vol. II – Ed. Guanabara.
- Waterloo Hydrogeologic, Inc., 1997. Soil Vapour Extraction and Air Sparging Manual.
- Suthersan, Suthan S., 1997. Remediation Engineering. Lewis Publishers.
- Leeson et. al, 1997. Soil Bioventing – Principles and Practice. Lewis Publishers
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997. NBR 13786 – Seleção de Equipamentos e Sistemas para Instalações Subterrâneas de Combustíveis em Postos de Serviço.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997. NBR 13895 – Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1986. NBR 9603 – Sondagem a Trado
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1994. NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997. NBR 13784 – Detecção de Vazamentos em Postos de Serviço.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1987. NBR 10007 – Amostragem de Resíduos.
- American Society for Testing and Materials, 1995. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Designation E 1739-95.



- American Society for Testing and Materials, 1998. Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action. Designation PS 104 - 98.
- Bruno, R. C., 1983. Sources of Indoor Radon in Houses: A Review. Air Pollution Control Association.
- Fetter, C. W. 1994 - Applied Hydrogeology, 3<sup>a</sup> ed, New Jersey, Prentice Hall. 691 p.
- Freeze, R. A. & Cherry, 1979. Groundwater. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 604p.
- Feenstra, S. D.; Mackay, M. and Cherry, J. A., 1991. A Method of Assessing Residual NAPL Based on Organic Chemical Concentrations in Soil samples. Groundwater Monitoring Review: 128-136.
- Finotti, A. R. (1997). Estudo de Aplicabilidade do Modelo da Ação Corretiva Baseada no Risco (RBCA) em Contaminações Subterrâneas com Gasolina e Etanol. UFSC, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (Dissertação de Mestrado). Brasil, Santa Catarina, Florianópolis:112.
- Howard, P. et al., 1991. Handbook of Environmental Degradation Rates. Lewis Publishers Inc., Chelsea, MI.
- IBGE, 1996-1997. Pesquisa de Padrão de Vida. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- IBGE, 1997. Brasil em Números. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Volume 5.
- Lyman, W. J., Reehl, W. F. and Rosenblatt, D. H. 1990. Handbook of Chemical Property Estimation Methods. McGraw-Hill. New York.
- Thibodeaux, L. J. and Hwang, S. T., 1982. Land Farming of Petroleum Wastes - Modeling the Air Emissions Problem. Environmental Progress. 1(1):42-46.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1985. Rapid Assessment of Exposure to Particulate Emissions from Surface Contaminated Sites. Office of Health and Environmental Assessment. EPA/600/8-85/002.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988. Superfund Exposure Assessment Manual. EPA/640/1-88/001.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1989A. Exposure Factors Handbook. Office of Health and Environmental. U.S. EPA/600/8-89/043.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1989B. Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. I. Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-89/002.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1991. Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: "Standard Default Exposure Factors". OSWER Directive 9285.6-03.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1992. Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications. Office of Health and Environmental Assessment. EPA/600/8-91/011B.



U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1994A. Integrated Risk Information System (IRIS). On-line, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH.

U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1994B. National Primary Drinking Water Standards. Office of Water. EPA/810/F-94/001A.

Bertolo R.A. – 1966 – Relações entre Rios e o Aquífero Sedimentar da Bacia de São Paulo em área de exploração Intensiva de água subterrânea. Diss. Mestrado. IG-USP

Waterloo Hydrogeologic, Inc – 1994 – Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causado por Vazamentos de Combustíveis Líquidos – Relatórios 1 à 6.

Pacheco A. – 2000 – Cemitério e Meio Ambiente. Livre Docência. Igc-USP



**SE MIL VIDAS TIVESSE  
MIL VEZES SERIA GEÓLOGO  
E SEIS MIL VEZES FARIA G.A.**

***(Adaptado de BURRONES, Capítulo IV, Vers 17)***



