

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Teste Piloto da Remediação por Redução Química
In Situ em Área Impactada por Compostos
Orgânicos Clorados**

Paulo Cesar da Silva Casado

**Orientador: Prof. Dr. Reginaldo A. Bertolo
Co-orientadora: Geóloga Alaine Santos da Cunha**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/43)**

**SÃO PAULO
2008**

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências (IGc-USP)

**Teste Piloto da Remediação por Redução Química *In Situ*
em Área Impactada por Compostos Orgânicos Clorados**

Paulo Cesar da Silva Casado



Orientador: Prof. Dr. Reginaldo A. Bertolo

Co-orientador: Geóloga Alaine Santos da Cunha

**Monografia do Trabalho de Formatura
(TF/08-43)**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025554

São Paulo

2008

TF
C334
PCS.T



Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus e à minha família pelo suporte em todos os momentos pelos quais tenho passado, nos quais eles se fazem sempre presentes.

Depois, ao orientador Prof. Reginaldo Bertolo e à co-orientadora Alaine Cunha pelo apoio, paciência, e dedicação que me foram prestadas perante a execução do presente trabalho. Também aos amigos do LAMO pela receptividade, e dentre eles à Mariana Carpinelli pelos auxílios prestados.

À ERM pela disponibilização dos dados e recursos que possibilitaram a execução dessa monografia, assim como pela ajuda dos competentes profissionais e amigos que lá se encontram.

Ao distante, porém presente amigo Paulo Lima que sempre motivou e se mostrou interessado nos estágios da minha formação.

Ao Instituto de Geociências pelo diversos recursos oferecidos, além da convivência com amigos, funcionários e excelentes professores que têm contribuído com o avanço da Geologia em função de um país melhor.

Finalmente, agradeço a todos que participaram de alguma maneira e possibilitaram que este trabalho se concretizasse.

Resumo

Com a crescente preocupação da população e órgãos competentes a respeito das questões ambientais, têm sido descobertas com cada vez mais freqüência áreas contaminadas relacionadas a atividades industriais. Uma vez em contato com o sistema aquífero da região, as contaminações podem trazer prejuízos à água subterrânea e consequentemente a população abastecida pela mesma.

O presente trabalho consiste na avaliação do teste piloto de remediação por redução química *in situ* em uma área contaminada por compostos orgânicos clorados na região do município de Limeira, no estado de São Paulo. O teste consiste na injeção do produto polissulfeto de cálcio (CaS_5) no aquífero. Este produto potencializa a capacidade redutiva do meio através da produção de ferro bivalente a partir do ferro trivalente presente no material do aquífero estudado. O ferro bivalente produzido, juntamente com aquele já disponível no meio, atua na degradação dos principais contaminantes presentes na área.

Para a avaliação dos resultados foram programadas análises da água subterrânea antes, e após a injeção do produto, de forma a ser possível fazer correlações entre a situação inicial e o desempenho das reações ao longo do monitoramento até onze meses depois. As análises envolveram dados de parâmetros físico-químicos coletados em campo, assim como resultados laboratoriais dos principais parâmetros indicadores da ação do agente redutor.

Os dados obtidos permitiram notar que apenas para parte dos poços envolvidos houve acesso do polissulfeto de cálcio, provavelmente devido à heterogeneidade do meio. Dentre os poços que tiveram acesso ao produto, se observou que não houve redução significativa dos contaminantes quando feita a comparação com os resultados dos testes laboratório. Para esses poços, a produção de ferro bivalente atingiu concentrações significativas apenas no final do monitoramento, e mesmo quando da presença deste, notou-se que a reação de degradação esperada não ocorreu.

Com base nas interpretações realizadas, foi possível concluir que o teste piloto da remediação química *in situ* não apresentou resultados satisfatórios, uma vez que não foi observada degradação significativa dos principais contaminantes da área de estudo. Desta maneira ainda serão necessários outros estudos para avaliar uma melhor abordagem para a remediação do local.

Abstract

With the growing concern of the population and government institutions with respect to environmental issues, more attentions have been given to find contaminated areas associated to industrial activities. Once contaminants get in contact with the aquifer system, they can compromise the groundwater quality and consequently affect those who use the groundwater as a source of drinking water.

The present work involves the evaluation of an in situ chemical reduction remedial pilot test performed in a chlorinated solvents contaminated area, located in Limeira, State of São Paulo. The test consists in the injection of a calcium polysulfide (CaS_5) solution in the local aquifer. This product tends to increase the reduction capacity of the target media based on the production of ferrous iron (bivalent iron) generated from the reduction of the natural existing trivalent iron. The produced and the pre-existing ferrous iron will act in the degradation of the local contaminants.

Groundwater analyses were performed prior and after the injection of the product in order to obtain a better evaluation of the data. To achieve the proposed objectives, a groundwater baseline sampling was performed followed by the implementation of several other sampling rounds along a period of eleven months. Field-based measurements of the groundwater physical-chemical parameters and laboratory compound-specific analytical results of the system performance were included during these monitoring programs.

The results have shown that the calcium polysulfide have reached only some of the tested wells, probably due to local heterogeneities. In those wells where the product was found, no significant contaminant reduction was observed based on the laboratory analytical tests. For these wells, even though the concentrations of ferrous iron have increased during the last few groundwater monitoring sampling rounds, the expected contaminant degradation was not observed.

According to the data interpretation, it was possible to conclude that the in situ chemical reduction remedial pilot test has not shown satisfactory results, since any significant degradation of the main contaminants was observed within the studied area. Based on that, other studies are considered to be necessary to better define a suitable remediation technology for area.

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUÇÃO	7
2. METAS E OBJETIVOS	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 COMPOSTOS ORGÂNICOS CLORADOS.....	8
3.2 CONCEITOS SOBRE DEGRADAÇÃO E A REDUÇÃO QUÍMICA IN SITU (ISCR).....	9
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO REGIONAL	11
3.3.1 <i>Aspectos Fisioclimáticos</i>	11
3.3.2 <i>Geologia</i>	13
3.3.3 <i>Hidrogeologia</i>	14
4. ÁREA DE ESTUDO.....	15
4.1 HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO DA ÁREA.....	15
4.1.1 <i>Resumo das Atividades Realizadas na Área de Estudo</i>	15
4.1.2 <i>Etapas da Investigação</i>	15
4.1.3 <i>Produtos encontrados nas campanhas de investigação</i>	18
4.1.4 <i>Alternativas de Remediação</i>	19
4.2 GEOLOGIA LOCAL.....	21
4.3 HIDROGEOLOGIA LOCAL.....	23
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1 INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE INJEÇÃO E MONITORAMENTO	27
5.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL	29
5.3 PREPARAÇÃO E INJEÇÃO DO AGENTE REDUTOR.....	30
5.3 MONITORAMENTO INICIAL.....	32
5.4 MONITORAMENTO DE DESEMPENHO	33
5.5 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	33
6. RESULTADOS OBTIDOS.....	34
6.1 SUMÁRIO DOS DADOS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	34
6.2 SUMÁRIO DAS ANÁLISES QUÍMICAS.....	38
6.2.1 <i>Compostos orgânicos clorados voláteis (VOCs)</i>	38
6.2.2 <i>Demais parâmetros analisados</i>	39
7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	41
8. CONCLUSÕES	48
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS	52
ANEXO I – PERFIS CONSTRUTIVOS.....	
ANEXO II – ANÁLISES QUÍMICAS.....	

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de localização da área de estudo	7
Figura 02: Principais compostos e possíveis seqüências de degradação	9
Figura 03: Mapa geológico da área de estudo.....	13
Figura 04: Limite do Aqüífero Tubarão na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.....	15
Figura 05: Localização das APC's e poços instalados ao longo das investigações.....	17
Figura 06: Resultados dos ensaios de microcosmos para 1,1 DCA.....	21
Figura 07: Seções geológicas	22
Figura 08: Possíveis áreas de recarga e descarga.....	24
Figura 09: Seção hidrogeológica e principais plumas de contaminantes.....	26
Figura 10: Detalhe da área do teste piloto	28
Figura 11: Procedimento de Preparo da solução.....	31
Figura 12: Configuração da Área de Injeção	32
Figura 13: Comparação dos parâmetros analisados ao longo dos monitoramentos (Conj. RW-02) ...	42
Figura 14: Comparação dos parâmetros analisados ao longo dos monitoramentos (Conj. RW-04) ...	44
Figura 15: Principais compostos obtidos ao longo dos monitoramentos (conj. RW-02)	45
Figura 16: Comparação concentrações de ferro dissolvido e sulfato ao longo dos monitoramentos ..	47

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 01: Descrição das Áreas Potencialmente Contaminadas (APCs)	16
Tabela 02: Plano de amostragem da caracterização inicial	30
Tabela 03: Plano de amostragem do processo de mistura	31
Tabela 04: Plano de amostragem do monitoramento inicial.....	32
Tabela 05: Plano de amostragem do monitoramento de desempenho.....	33
Tabela 06: Parâmetros físico-químicos nos tanques de injeção	34
Tabela 07: Valores de pH ao longo do monitoramento	35
Tabela 08: Valores de potencial de oxi-redução ao longo do monitoramento.....	36
Tabela 09: Valores de condutividade elétrica ao longo do monitoramento.....	37
Tabela 10: Valores das concentrações de VOCs totais ao longo do monitoramento	38
Tabela 11: Valores de ferro bivalente dissolvido e sulfato ao longo do monitoramento.....	40
Tabela 12: Valores de Alcalinidade e RedEq ao longo do monitoramento	41
Tabela 13: Proporção molar de ferro bivalente dissolvido e 1,1 DCA comparado a VOC's totais.....	48

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento contínuo do número de relatos de casos de contaminação do solo e água subterrânea, principalmente em áreas com predomínio de atividade industrial, torna-se necessário o estudo de novas alternativas de remediação mais viáveis e efetivas. O estudo realizado avaliou a eficácia de uma recente prática de remediação através da redução química (ISCR – *In Situ Chemical Reduction*) em uma área impactada por compostos orgânicos clorados, localizada numa planta industrial no município de Limeira, SP (Figura 01).

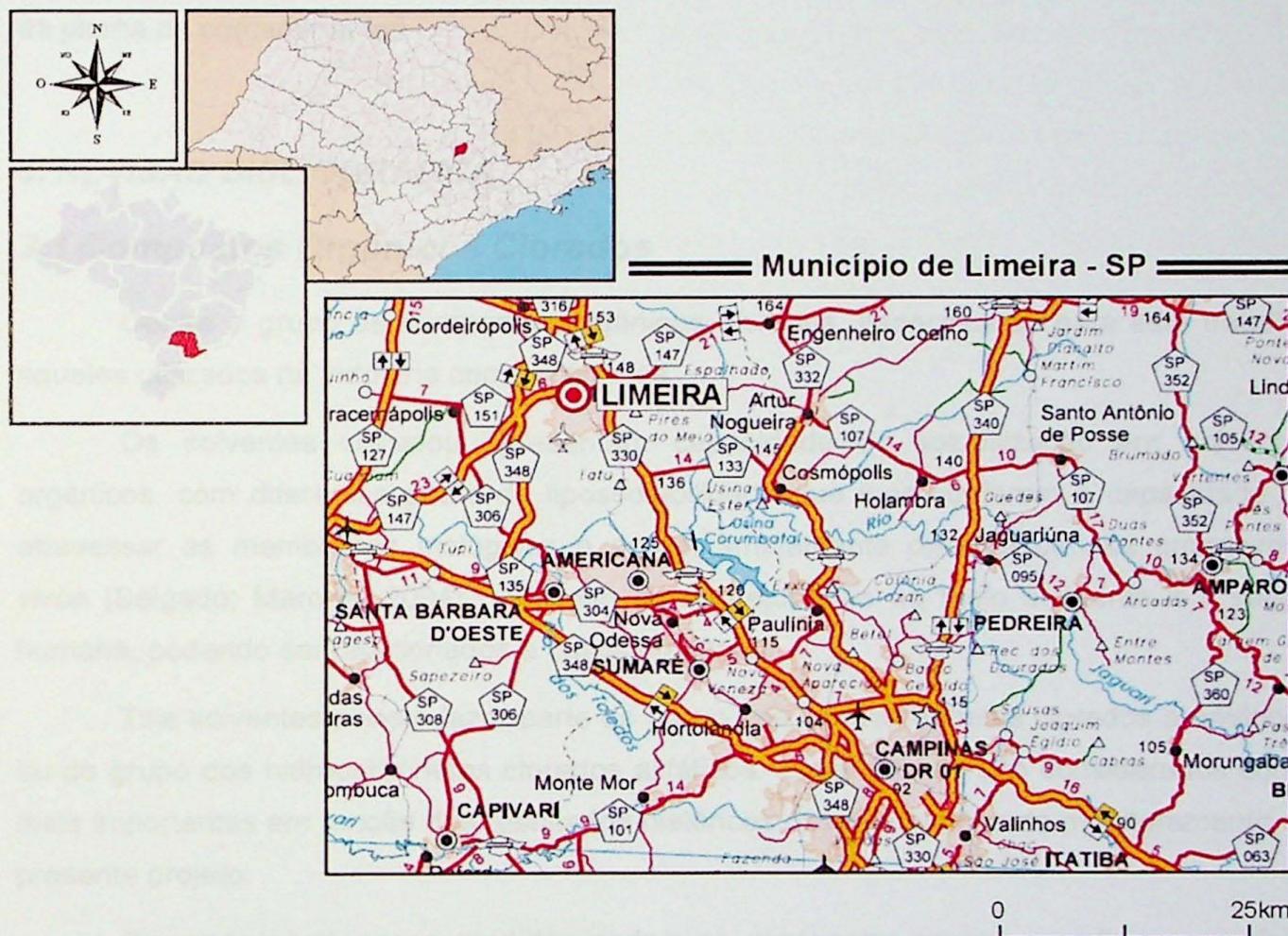


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo

A injeção do produto redutor foi feita em uma escala reduzida caracterizando um teste piloto na área onde se acredita localizar o centro da pluma de contaminação. A partir da injeção foram feitas análises químicas periódicas de água subterrânea com o intuito de avaliar o decaimento das concentrações dos contaminantes no aquífero. De acordo com os resultados obtidos, o teste piloto poderia viabilizar a remediação da área numa escala mais abrangente.

2. METAS E OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia da metodologia de remediação por redução química *in situ* (ISCR) numa área impactada por compostos orgânicos clorados.

A avaliação da metodologia envolve a comparação da situação inicial da área com os dados obtidos a partir do teste piloto. O método testado envolve a decloração dos contaminantes através da potencialização de um meio redutor proporcionado pela injeção do produto químico polissulfeto de cálcio (CaS_5) no aquífero contaminado. A injeção do agente redutor foi realizada numa escala reduzida onde se acredita estar localizado o centro da pluma de contaminantes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Compostos Orgânicos Clorados

Dentre o grupo de compostos orgânicos clorados, especifica-se para este trabalho aqueles utilizados na indústria como solventes.

Os solventes clorados apresentam capacidade de solubilização em solventes orgânicos, com diferentes graus de lipossolubilidade que lhes conferem a capacidade de atravessar as membranas biológicas e serem amplamente distribuídos nos organismos vivos (Salgado; Marona, 2004). São em geral prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana, podendo ser relacionados a casos de câncer.

Tais solventes podem fazer parte do grupo dos hidrocarbonetos clorados aromáticos ou do grupo dos hidrocarbonetos clorados alifáticos. Estes últimos são considerados como mais importantes em função dos resultados históricos das campanhas de monitoramento do presente projeto.

De modo geral, esses produtos podem se apresentar em subsuperfície como fase livre, fase dissolvida na água subterrânea, associados ao material geológico da área e também como fase de vapor associada à zona não saturada.

Os produtos mais complexos, antropogênicos, tendem a sofrer transformações de degradação ao longo do seu tempo de residência no meio ambiente. A degradação pode ocorrer em função de atividades biológicas, ou apenas através de reações químicas que não envolvem organismos vivos. Alguns projetos de remediação para áreas impactadas por esses compostos, assim como o proposto para esse trabalho, tem como objetivo acentuar as características que tornam possível o processo de degradação.

3.2 Conceitos Sobre Degradação e a Redução Química *In Situ* (ISCR)

Quando se estabelece a condição de contaminação por compostos orgânicos clorados, é necessária a avaliação de alternativas para remediação do local. Estas estão estreitamente vinculadas ao comportamento dos contaminantes em função das características da área de interesse.

Os compostos podem apresentar diferentes formas de degradação. Essas formas de degradação podem estar vinculadas a atividades biológicas de microorganismos (bióticas), ou por processos estreitamente químicos de natureza abiótica. De modo geral o processo de degradação mais observado durante a atenuação natural tem sido mediado por atividades biológicas, com decloração redutiva seqüencial (Tiedje; Mohn 1992 e Vogel; McCarthy, 1987, apud Brown, 2006). Este tipo processo natural cria uma seqüência de compostos pela perda de íons cloreto, transformando um composto de maior complexibilidade (composto pai) em uma série de outros produtos mais simples (compostos filhos). A **figura 02** ilustra os principais compostos, assim como possíveis ordens de degradação observadas.

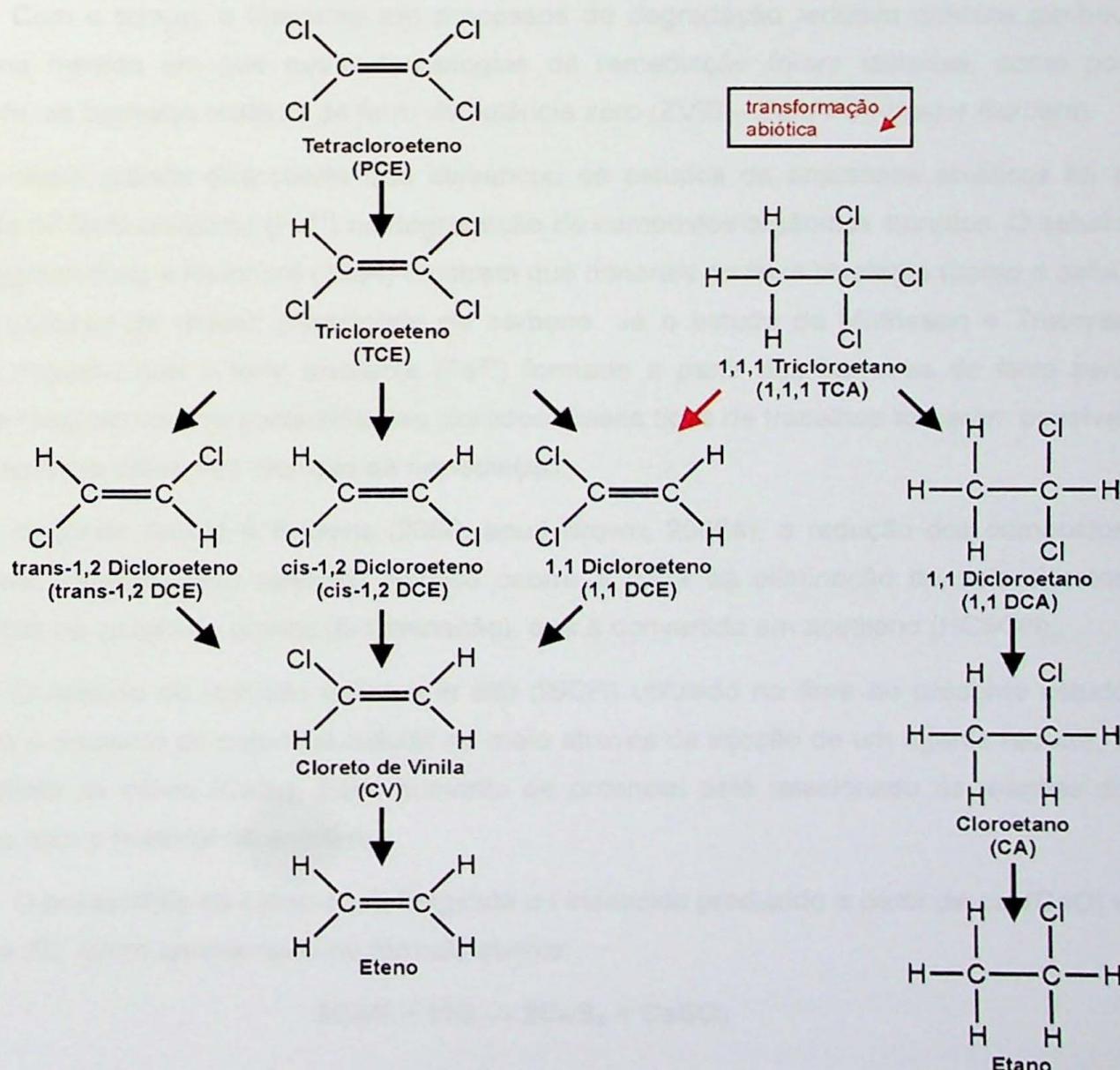


Figura 02: Principais compostos e possíveis seqüências de degradação

Apesar disso, Vogel, Criddle e McCarthy (1987, apud Brown, 2006) identificaram uma variedade de processos bióticos e abióticos atuantes na degradação de compostos orgânicos clorados alifáticos. Pode-se citar processos de degradação estritamente abióticos como dehidrohalogenação (perda de cloreto e de hidrogênio adjacente formando uma ligação entre carbonos) e hidrólise (com a substituição do cloreto por uma hidroxila). Outros processos podem ser ativados pela ação de microorganismos ou através de agentes químicos redutores. Dentre eles pode-se citar a hidrogenólise (substituição de um cloreto por um hidrogênio), β -eliminação (perda de dois cloretos formando uma ligação entre carbonos), e “coupling” (acoplamento - perda de cloretos em duas moléculas inicialmente separadas que posteriormente vêm a se unir por meio da formação de uma ligação entre carbonos).

Para Vogel (1987) embora a degradação desses compostos possa vir a ocorrer por redução química abiótica, a velocidade lenta dos processos redutivos mantém a degradação biótica como principal agente redutor.

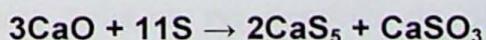
Com o tempo, o interesse em processos de degradação redutiva química ganhou força na medida em que novas tecnologias de remediação foram testadas, como por exemplo, as barreiras reativas de ferro de valência zero (ZVIB – Zero Iron Valent Barriers).

Outra grande descoberta que alavancou os estudos de processos abióticos foi a atuação do ferro bivalente (Fe^{2+}) na degradação de compostos orgânicos clorados. O estudo de Kriegman-King e Reinhard (1994) mostram que minerais de ferro bivalente (como a pirita) foram capazes de reduzir tetracloreto de carbono. Já o estudo de Matheson e Tratnyek (1994) mostrou que o ferro bivalente (Fe^{2+}) formado a partir das barreiras de ferro zero valente reagiam com os contaminantes clorados. Esses tipos de trabalhos tornaram possível a aplicação de diferentes técnicas de remediação.

Segundo Arnold & Roberts (2000, apud Brown, 2006a), a redução dos compostos orgânicos clorados pelo caminho abiótico ocorre a partir da eliminação de dois cloretos presentes na cadeia de etenos (β -eliminação), que é convertida em acetileno ($HC\equiv CH$).

O método de redução química *in situ* (ISCR) utilizado na área do presente estudo envolve o aumento do potencial redutor do meio através da injeção de um agente redutor, o polissulfeto de cálcio (CaS_5). Esse aumento de potencial está relacionado às reações do produto com o material do aquífero.

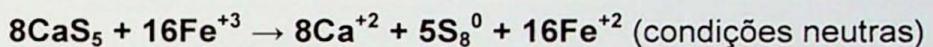
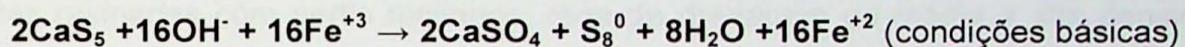
O polissulfeto de cálcio é um fungicida ou inseticida produzido a partir de cal (CaO) e enxofre (S), como apresentado na fórmula abaixo:



O produto gerado a partir da junção do enxofre e cal gera como produto tanto o polissulfeto de cálcio (2CaS_5), quanto o sulfito de cálcio (CaSO_3), e segundo Brown (2004; 2005a), ambos contribuem na produção do ferro bivalente a partir da redução do ferro trivalente.

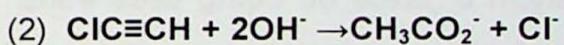
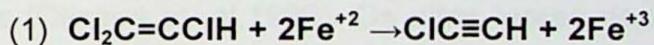
Uma vez injetado, acredita-se que o polissulfeto de cálcio tenha efeito no material geológico de acordo com as reações ocorridas nos testes realizados por Brown (2004; 2005^a). Estas reações mostram que o agente redutor (CaS_5) proporciona a redução do ferro trivalente (Fe^{3+}) presente em subsuperfície sob a forma de óxidos e hidróxidos, para o ferro bivalente (Fe^{2+}), tanto em condições básicas, como neutras.

Reações do polissulfeto de cálcio:



Espera-se que o ferro bivalente produzido atue na degradação dos compostos orgânicos voláteis através da β -eliminação (eliminação de dois cloretos por vez). Esse ferro bivalente recentemente formado é somado ao ferro naturalmente presente na área e potencializa a capacidade redutiva do meio de forma a tornar mais propícia a degradação. Abaixo é apresentada a redução do composto tricloroeteno para cloroacetileno (1), sendo este último hidrolisado para a formação de acetato e íons cloreto (2):

Reações de degradação do tricloroeteno:



O comportamento do ferro bivalente durante o processo de degradação elimina os cloretos da composição química dos compostos orgânicos clorados sem a acumulação de produtos da degradação seqüenciada (com eliminação de apenas um cloreto).

3.3 Caracterização do Meio Físico Regional

3.3.1 Aspectos Fisioclimáticos

Relevo

O município de Limeira situa-se no domínio da depressão periférica, faixa de aproximadamente 50 km de largura e direção SW-NE, localizada entre as cuestas basálticas e as rochas pré-cambrianas do Planalto Atlântico. De acordo com o Mapa geomorfológico

do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a região de Limeira apresenta as seguintes unidades de relevo:

Relevo colinoso com predomínio de baixas declividades (0 a 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m. Fazem parte desse relevo colinas amplas onde predominam interflúvios com área superior a 4km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, redes de drenagem de baixa densidade e planícies aluviais interiores restritas;

Relevo de morrotes com predomínio de declividades médias a altas (superiores a 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m. Fazem parte desse relevo morrotes alongados e espiões com presença de interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, rede de drenagem de média a alta densidade e vales fechados.

Clima

De acordo com a classificação de W. Köppen, o clima da região pode ser classificado como quente de inverno seco (Cwa), apresentando temperaturas médias acima de 22° C, no mês mais quente, e abaixo de 18° C no mês mais frio. Nos meses mais secos, os índices médios de chuva podem ficar abaixo de 30mm (Rocha; Fernandes, 2005).

Solos

De modo geral a região de Limeira faz parte da área onde são encontrados os grupos de Latossolos Vermelhos, configurados por solos minerais, não hidromórficos com horizontes B latossólicos (Oliveira et. al, 1999). Os altos teores de Fe₂O₃ conferem a esses solos cores avermelhadas. Entre esse grupo de solos, o município de Limeira apresenta duas unidades principais. Faz parte da sua maior porção, mais a leste, o solo do tipo Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, com horizonte A moderado, textura muito argilosa e relevo suave ondulado (LEd1). Já numa proporção menor, na região extremo oeste do município é encontrado o solo do tipo Latossolo Vermelho-Escuro + Latossolo Roxo eutrófico, com horizonte A moderado, textura argilosa à muito argilosa de relevo suave ondulado (LEd7).

Hidrografia

O município de Limeira fica na porção centro-leste do Estado de São Paulo, e pertence a bacia hidrográfica do rio Piracicaba. A bacia do Rio Piracicaba apresenta um desnível topográfico de cerca de 1.400 metros em uma extensão da ordem de 370 km, desde suas cabeceiras na serra da Mantiqueira, no Estado de Minas Gerais, até sua foz no Rio Tietê.

Os principais cursos d'água pertencentes a esta bacia hidrográfica são os rios Atibaia, Jaguari, Corumbataí, Piracicaba e Camanducaia.

3.3.2 Geologia

Localizada nas proximidades do município de Limeira no Estado de São Paulo, a área de estudo situa-se na borda leste da Bacia do Paraná. Esta bacia intracratônica apresenta formação ligada a subsidência na plataforma Sul-Americana a partir do Siluriano/Devoniano inferior, atingindo extensão máxima entre o Carbonífero Superior e o Permiano. Fazem parte das unidades próximas a área de estudo as formações Corumbataí, Iratí, Tatuí e Grupo Itararé (Figura 03). Também são presentes depósitos aluviais quaternários, coberturas cenozóicas indiferenciadas e rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral.

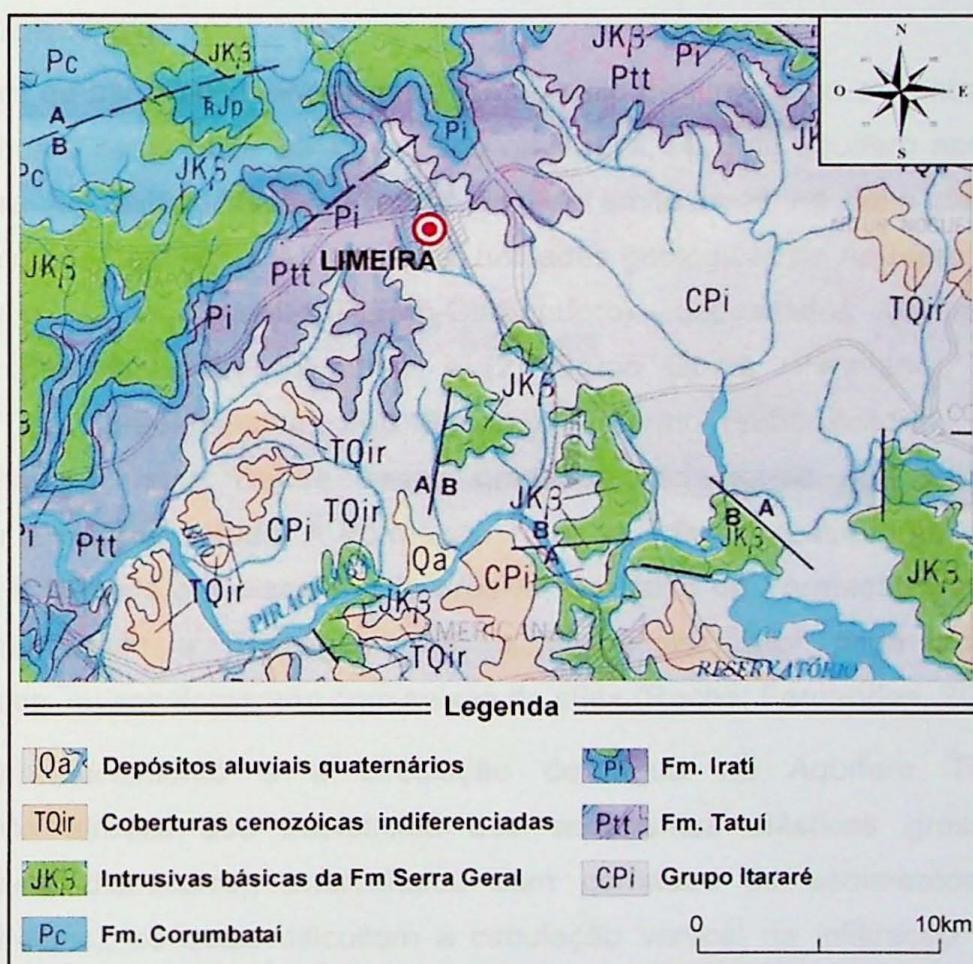


Figura 03: Mapa geológico da área de estudo.
(IPT, 1981)

Dentre as unidades presentes no mapa, acredita-se que a área de estudo esteja relacionada com a Formação Tatuí. Situada estratigraficamente acima do Grupo Itararé e abaixo da Formação Iratí, a Formação Tatuí é predominantemente constituída de siltitos com presença de camadas subordinadas de arenitos, calcários, folhelho e sílex. Apresenta maior espessura no sul do estado (cerca de 130m) e decresce de nordeste para

norte, em direção à borda da bacia sedimentar. Tanto Soares (1972b, apud IPT, 1981) como Barbosa & Gomes (1958, apud IPT, 1981) reconheceram a presença de dois membros na formação.

O membro superior é composto predominantemente de siltitos, com cores cinza esverdeada, amarela esverdeada e verde. Ocorrem com freqüência intercalações de arenito fino, maciço, com pequenas concreções calcárias. Também podem ocorrer bancos calcários, conglomerados com seixos angulosos a arredondados de quartzo e sílex (IPT, 1981). Já o membro inferior é também constituído de siltitos, porém de cor marrom-arroxeada, às vezes brancos, finamente laminados. Ocorrem localmente arenitos finos com estratificação plano-paralela, assim como camadas delgadas de calcário (cor arroxeadas) e sílex.

3.3.3 Hidrogeologia

Dentro da bacia do rio Piracicaba, o município de Limeira se encontra no contexto do Aqüífero Tubarão como pode ser observado na **figura 04**. Este aqüífero apresenta aumento de espessura no sentido oeste, a partir do seu limite leste na linha de contato com o embasamento pré-cambriano. As principais unidades geológicas do Aqüífero Tubarão são: (1) Grupo Itararé e Aquidauana (Permo-Carbonífero), depositados em ambiente glacial continental com ingressões marinhas; e (2) Grupo Guatá (Permiano), que contém as formações Tatuí (predominante), Rio Bonito e Palermo (subordinadas), depositados em ambiente marinho raso. Dentre essas unidades, acredita-se que a Formação Tatuí comporte a área de estudo. A Formação Tatuí se encontra estratigraficamente acima do Grupo Itararé, limitado por discordância erosiva, e abaixo da Formação Iratí. Próximo deste limite superior, com a Formação Iratí, a Formação Tatuí pode apresentar arenito conglomerático, ou conglomerado com seixos de sílex (Rocha; Fernandes, 2005).

O armazenamento e a circulação de água no Aqüífero Tubarão ocorrem principalmente através dos interstícios dos sedimentos clásticos grosseiros (arenitos, conglomerados, diamictitos), intercalados com camadas de sedimentos finos (lamitos, argilitos, folhelhos), os quais dificultam a circulação vertical na infiltração e percolação da água, provocando uma situação de anisotropia com permeabilidade vertical inferior à horizontal. A interdigitação das camadas de granulometrias diferentes acentua a heterogeneidade do aqüífero. No aqüífero das rochas sedimentares finas (folhelhos, siltitos, argilitos e arenitos finos), a presença de sistemas de fraturamento atua como um diferencial na capacidade de acumulação e circulação de água (Barbosa; Almeida, 1949, apud IPT, 1981).



Figura 04: Limite do Aquífero Tubarão na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.
(Ferraz; Mortatti, 2003)

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 Histórico da Contaminação da Área

4.1.1 Resumo das Atividades Realizadas na Área de Estudo

A área de estudo compreende o local de atividade de uma fábrica de artigos automotivos. Esta se encontra numa região de domínio misto no que se refere à atividade industrial e a presença de terrenos residenciais.

Dentre as atividades da planta pode-se destacar, de acordo com interesse do projeto, processos como revestimento de metais, destilação de solventes, lavagem de peças metálicas e outros. De acordo com ERM (2003) os solventes utilizados originalmente na produção da fábrica eram principalmente o tetracloroeteno (PCE), tricloroeteno (TCE) e 1,1,1 tricloroetano (1,1,1-TCA). A partir de 1993 as operações de desengraxate de peças não mais utilizaram solventes clorados, porém a parte destes produtos que atingiu o solo e água subterrânea sofreu transformações gerando diferentes tipos de contaminantes.

4.1.2 Etapas da Investigação

Com base nas operações realizadas na planta foi possível um mapeamento de áreas potencialmente contaminadas (APCs), direcionando desta forma as atividades de investigação. A **tabela 01** e a **figura 05** trazem um breve descritivo das atividades de cada área, assim como sua respectiva localização na planta. As campanhas de investigação realizadas ao longo dos últimos anos (ERM 2003; ERM 2004; ERM 2005; ERM 2007) identificaram produtos de degradação em fase dissolvida na água subterrânea.

Tabela 01: Descrição das Áreas Potencialmente Contaminadas (APCs)

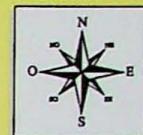
Área	Descrição
APC-1	Antigo Posto de Gasolina e antigo Tanque Enterrado
APC-2	Antigo desengraxante a vapor
APC-3	Antiga Área de Armazenamento de Lodo
APC-4	Antiga Unidade de Armazenamento de Metal Revestido e Destilação de Solvente
APC-5	Antigo Tanque Enterrado de Óleo Diesel
APC-6	Antiga área de fundição
APC-7	Antiga área de revestimento de Ni/Cr
APC-8	Banho de Zinco – ALA IV
APC-9	Banho de Zinco –ALA I

Desde o início das atividades de investigação foram instalados poços de monitoramento na área com a finalidade de verificar quais locais estavam impactados e consequentemente delimitar a extensão da pluma de contaminação. A **figura 05** mostra a evolução das atividades de investigação através da instalação dos poços de monitoramento. Embora não tenha sido possível encontrar os dados construtivos dos poços instalados em 1997 (MW-01 ao MW-11), pode se conferir a distribuição dos mesmos na figura. Também estão situados na planta os poços de injeção utilizados para esse teste-piloto (RW-02 e RW-04).

Em 2002, foi realizada uma investigação complementar com a instalação de seis poços de monitoramento (MW-12 ao MW-17), distribuídos tanto a montante como a jusante do local onde se encontrava um antigo tanque de estocagem de solventes, denominado como APC-4. Os poços de monitoramento apresentam profundidade entre 15,20 e 17,20m (MW-14 e MW-12 respectivamente). As seções filtrantes dos poços de monitoramento se encontram predominantemente alocados na camada de alteração de rocha com predominância de silte arenoso.

Em 2003, mais doze poços de monitoramento foram instalados (MW-18 ao MW-29). Estes foram distribuídos ao longo das APCs 01, 02, 04, 05 e 06, assim como também na porção leste fora dos limites da planta, no sentido do fluxo da água subterrânea. A instalação foi feita em profundidades entre 14,13 e 29,30m (MW-28 e MW-25 respectivamente), com seção filtrante preferencialmente nas unidades de solo natural e alteração de rocha, porém também foi atingida a unidade do arenito, numa porção onde se acredita ocorrer uma elevação dessa litologia (região do MW-27).

ÁREA DO TESTE PILOTO



ESCALA 1:500

Figura 05: Localização das APCs e poços instalados ao longo das investigações

PROJETO

Trabalho de Formatura - TF/08 - 43

FIG 05

LEGENDA

ÁREA POTENCIALMENTE CONTAMINADA (APC)	
RW-02	
MW-01	
MW-13	
MW-18	
MW-201	
MW-21	
MW-22	
MW-23	
MW-24	
MW-25	
MW-26	
MW-27	
MW-28	
MW-29	
MW-101	
MW-102	
MW-103	
MW-104	
MW-105	
MW-106	
MW-107	
MW-108	
MW-109	
MW-110	
MW-111	
MW-112	
MW-14	
MW-15	
MW-16	
MW-17	
MW-18	
MW-19	
MW-20	
MW-21	
MW-22	
MW-23	
MW-24	
MW-25	
MW-26	
MW-27	
MW-28	
MW-29	
MW-301	
MW-302	
MW-303	
MW-304	
MW-305	
MW-306	
MW-307	
MW-308	
MW-309	
MW-310	
MW-311	
MW-312	
MW-313	
MW-314	
MW-315	
MW-316	
MW-317	
MW-318	
MW-319	
MW-320	
MW-321	
MW-322	
MW-323	
MW-324	
MW-325	
MW-326	
MW-327	
MW-328	
MW-329	
MW-330	
MW-331	
MW-332	
MW-333	
MW-334	
MW-335	
MW-336	
MW-337	
MW-338	
MW-339	
MW-340	
MW-341	
MW-342	
MW-343	
MW-344	
MW-345	
MW-346	
MW-347	
MW-348	
MW-349	
MW-350	
MW-351	
MW-352	
MW-353	
MW-354	
MW-355	
MW-356	
MW-357	
MW-358	
MW-359	
MW-360	
MW-361	
MW-362	
MW-363	
MW-364	
MW-365	
MW-366	
MW-367	
MW-368	
MW-369	
MW-370	
MW-371	
MW-372	
MW-373	
MW-374	
MW-375	
MW-376	
MW-377	
MW-378	
MW-379	
MW-380	
MW-381	
MW-382	
MW-383	
MW-384	
MW-385	
MW-386	
MW-387	
MW-388	
MW-389	
MW-390	
MW-391	
MW-392	
MW-393	
MW-394	
MW-395	
MW-396	
MW-397	
MW-398	
MW-399	
MW-400	
MW-401	
MW-402	
MW-403	
MW-404	
MW-405	
MW-406	
MW-407	
MW-408	
MW-409	
MW-410	
MW-411	
MW-412	
MW-413	
MW-414	
MW-415	
MW-416	
MW-417	
MW-418	
MW-419	
MW-420	
MW-421	
MW-422	
MW-423	
MW-424	
MW-425	
MW-426	
MW-427	
MW-428	
MW-429	
MW-430	
MW-431	
MW-432	
MW-433	
MW-434	
MW-435	
MW-436	
MW-437	
MW-438	
MW-439	
MW-440	<img alt="Red circle with a cross symbol representing

Em 2004, oito poços de monitoramento adicionais (MW-101 ao MW-108) foram construídos e distribuídos na porção sudeste da área de estudo, com alguns deles ultrapassando os limites da planta no sentido do fluxo da água subterrânea (leste à sudeste). Também foram instalados dois poços de injeção próximos a APC-4 pra avaliação do comportamento do aquífero através de testes de injeção de água (RW-01 e RW-02). Estes foram instalados com profundidades de aproximadamente 20,0m e com seção filtrante alocada nas unidades de alteração de rocha. Os poços de monitoramento foram instalados em profundidades entre 9,2 e 24,0m (MW-102 e MW-103 respectivamente) com a seção filtrante predominantemente nas unidades de alteração de rocha, exceto pelo MW-105 cujo filtro se encontra na unidade do arenito (com profundidade de 26,0m), e pelo MW-108, cuja seção filtrante encontra se na unidade de solo natural.

Avançando com a investigação da área, em 2005 foram instalados mais quatro poços de monitoramento na área à jusante da APC-4 (MW-109 a MW-112), após o limite sudeste da planta. Os poços atingiram profundidades entre 14,3 e 26,0m (MW-112 e MW-111 respectivamente), e as seções filtrantes foram alocadas nas unidades de alteração de rocha, exceto pelo MW-109, cuja seção filtrante encontra-se na unidade do arenito. Também foi em 2005 que foram instalados mais dois novos poços de injeção, RW-03 e RW-04, com profundidades próximas a 17,0m, com seção filtrante na unidade de alteração de rocha.

Em 2006, uma investigação adicional condicionou a instalação de mais seis poços de monitoramento (MW-201 ao MW-206). Dois desses poços foram alocados próximos às APCs 2 e 8 (MW-201 e MW-202) na área interna da planta, enquanto que os demais se situaram na área jusante da APC-4, fora dos limites da planta. Os poços apresentam profundidades entre 6,0 e 16,0m (MW-205, MW-206 e MW-201 respectivamente) com filtros instalados nas unidades de solo natural e alteração de rocha.

Em 2007, como parte das atividades relacionadas com o teste piloto da remediação, foram instalados mais seis poços de monitoramento (MW-301 ao MW-306), distribuídos em dois conjuntos de três poços alocados a jusante dos poços de injeção RW-02 e RW-04. Os dados construtivos desses poços estão representados no **Anexo I** deste relatório.

4.1.3 Produtos encontrados nas campanhas de investigação

Ao longo das campanhas de amostragem de água subterrânea foram se delimitando as áreas fontes de contaminação e a proporção do impacto relacionado à água subterrânea. Resultados históricos de monitoramento mostraram a presença de produtos como tetracloroeteno (PCE), tricloroeteno (TCE), cis-1,2- dicloroeteno (cis-1,2 DCE), trans-1,2 dicloroeteno (trans-1,2 DCE), 1,1-dicloroeteno (1,1-DCE), 1,1-dicloroetano (1,1-DCA), e

cloreto de vinila (CV), com concentrações acima dos valores de intervenção estabelecidos pela CETESB.

4.1.4 Alternativas de Remediação

Dados os resultados encontrados nas etapas de investigação, foi necessária a consideração de medidas de remediação para abatimento da massa de contaminante presente na porção mais impactada da planta (a APC-4) para níveis aceitáveis. Para a implementação de um método de remediação foram considerados certos critérios como eficácia, implementabilidade técnica, restrições de tempo, aceitação do órgão ambiental e custos.

Numa avaliação preliminar, foram cogitadas três possíveis tecnologias para o abatimento da massa residual: extração de água e vapor de solo (*Dual Phase*), injeção de ar no solo (*Air Sparging*) com extração de vapor do solo, ou tratamento biológico *In Situ*. Dentre essas alternativas, o tratamento biológico *in situ* apresentou numa avaliação inicial para a época, uma maior vantagem em termos de custo quando comparado aos demais.

Para se chegar a alternativa mais promissora, ao longo das atividades na área foram realizados testes de injeção, caracterização bioquímica do aquífero raso, e testes de tratabilidade em função dos contaminantes da área.

Testes de Injeção

Em 2004, para o melhor direcionamento quanto às alternativas de remediação, foram realizados testes de injeção de água nos poços instalados com a finalidade de estudar o comportamento do aquífero frente a injeção de líquidos. Estes testes afirmaram a viabilidade da injeção de produtos na área, sejam eles biológicos ou químicos (tratamento *in situ*). O teste basicamente envolveu a injeção de água do sistema público nos poços de injeção presentes na época (RW-01 e RW-02), seguida da avaliação das alterações do nível d'água dos poços vizinhos, próximos à APC-4. Os melhores resultados foram apresentados no poço RW-02, sendo que este apresentou vazão média de 940 litros/h (vazão inicial de 847 litros/h e vazão final de 1097 litros/h), o que viria garantir boas condições para injeção de produtos.

Teste de Tratabilidade (2004)

Os primeiros testes realizados envolveram a coleta de amostras de solo saturado em três profundidades distintas coletadas durante a instalação dos poços de injeção RW-01 e RW-02, próximos a APC-4.

Os ensaios realizados visavam possibilitar a aplicação de tecnologias de remediação com injeção de substrato de carbono dissolvido, porém apresentaram baixas concentrações

de Carbono Orgânico Total (TOC <100 mg/Kg) e Demanda Química de Oxigênio (DQO <10 mg/Kg). No entanto, os resultados dos ensaios não foram conclusivos e testes de bancada adicionais e medições de compostos inorgânicos no campo seriam necessários para evidenciar qual abordagem (químico ou biológico) seria o mais eficaz para tratar as áreas impactadas.

Caracterização Bioquímica do Aqüífero

Como citado anteriormente foi constatada a viabilidade da aplicação de técnicas de injeção de soluções aquosas para a remediação da APC-4. Porém, não foi definida a melhor abordagem de remediação por injeção: redução ou oxidação química *in situ* ou bioremederação (injeção de fonte de carbono).

Como contribuição para identificação da melhor abordagem de remediação da área impactada, utilizou-se os resultados da caracterização bioquímica da água subterrânea do aqüífero obtidos a partir da amostragem dos poços de monitoramento MW-12 a MW-16, MW-22, MW-23, MW-26, MW-28 e MW-104. De acordo com o processo de triagem para avaliar a probabilidade de biodegradação identificaram-se evidências de ocorrência de biodegradação anaeróbica na APC-4. A análise dos resultados da caracterização bioquímica em tal área indicou ambiente predominantemente anóxico.

Estes resultados indicaram que a área, apesar dos fortes indícios de ocorrência de biodegradação, não apresentava condições ideais para a biodegradação anaeróbica, sugerindo que uma nova alternativa de remediação precisava ser considerada.

Teste de Tratabilidade ISCR (2005 e 2006)

Dessa forma, a metodologia de remediação por redução química *in situ* surgiu como uma possível alternativa para aplicação na área de estudo. Assim, foram realizados testes voltados para a presença de ferro no material geológico da área. Inicialmente foram obtidas informações relacionadas ao teor de ferro trivalente e ferro total presentes no solo saturado coletado durante a instalação dos poços de injeção RW-03 e RW-04. Os resultados de tais análises indicaram a possibilidade da aplicação do /SCR, e novos testes foram realizados na porção central da área mais impactada, a APC-4.

Após a avaliação da quantidade de ferro trivalente citada na etapa anterior, um novo teste foi realizado para quantificar o ferro bivalente já presente no aqüífero, o que veio identificar que o próprio meio contribuiria para a degradação. Outra análise foi realizada em relação à seleção do melhor produto a ser utilizado. Amostras de solo saturado foram tratadas por diferentes produtos durante um período de 20 dias, e evidenciaram o melhor desempenho de dois possíveis agentes redutores, o polissulfeto de cálcio (CaS_5) e o sulfeto de sódio (Na_2S). Após essa etapa foi realizado um ensaio de microcosmos que envolveu o uso dos agentes redutores de melhor desempenho identificados na fase anterior. Estes

produtos foram adicionados aos microcosmos preparados a partir da homogeneização das amostras retiradas próximas à área de estudo com a água destilada contendo concentrações conhecidas de compostos de interesse (compostos orgânicos clorados). Dentre os produtos, o polissulfeto de cálcio apresentou uma maior taxa de degradação dos contaminantes. A **figura 06** ilustra os resultados da degradação do contaminante 1,1 DCA.

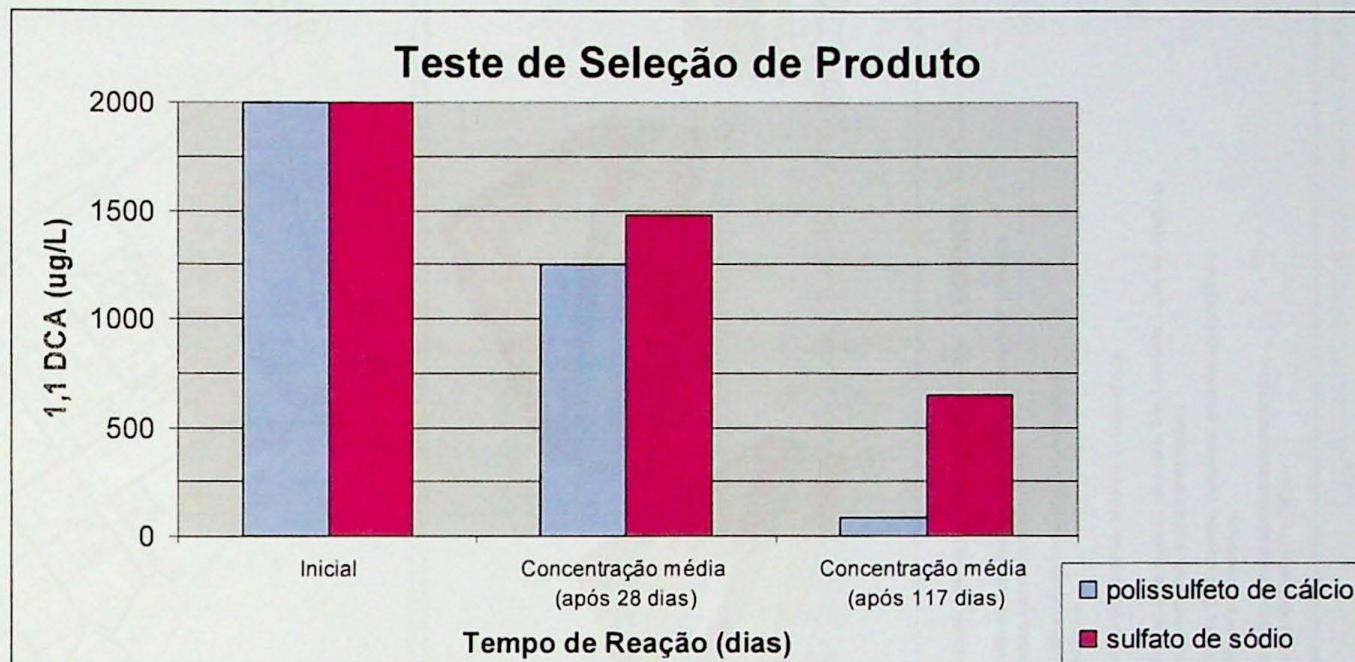


Figura 06: Resultados dos ensaios de microcosmos para 1,1 DCA

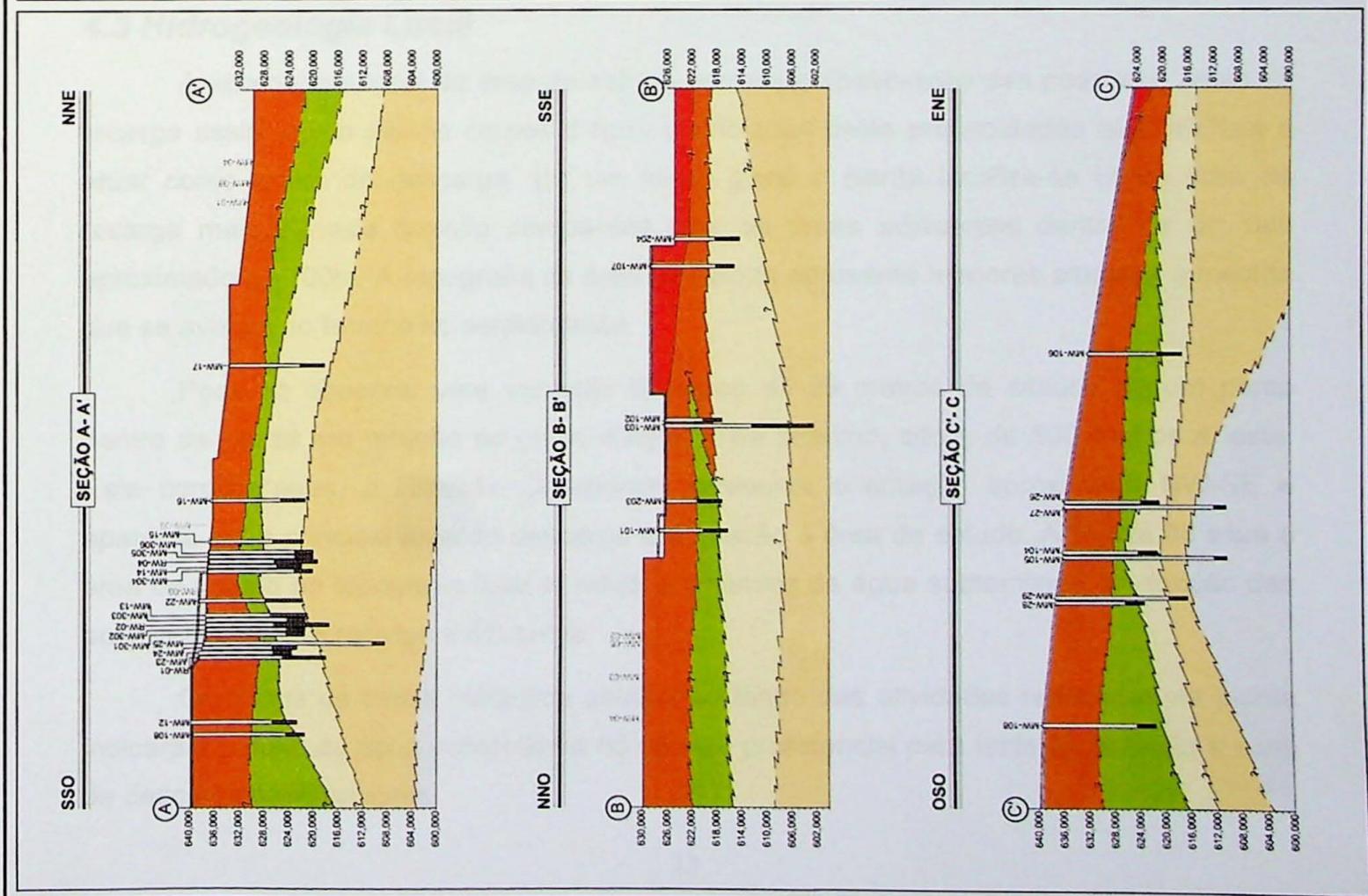
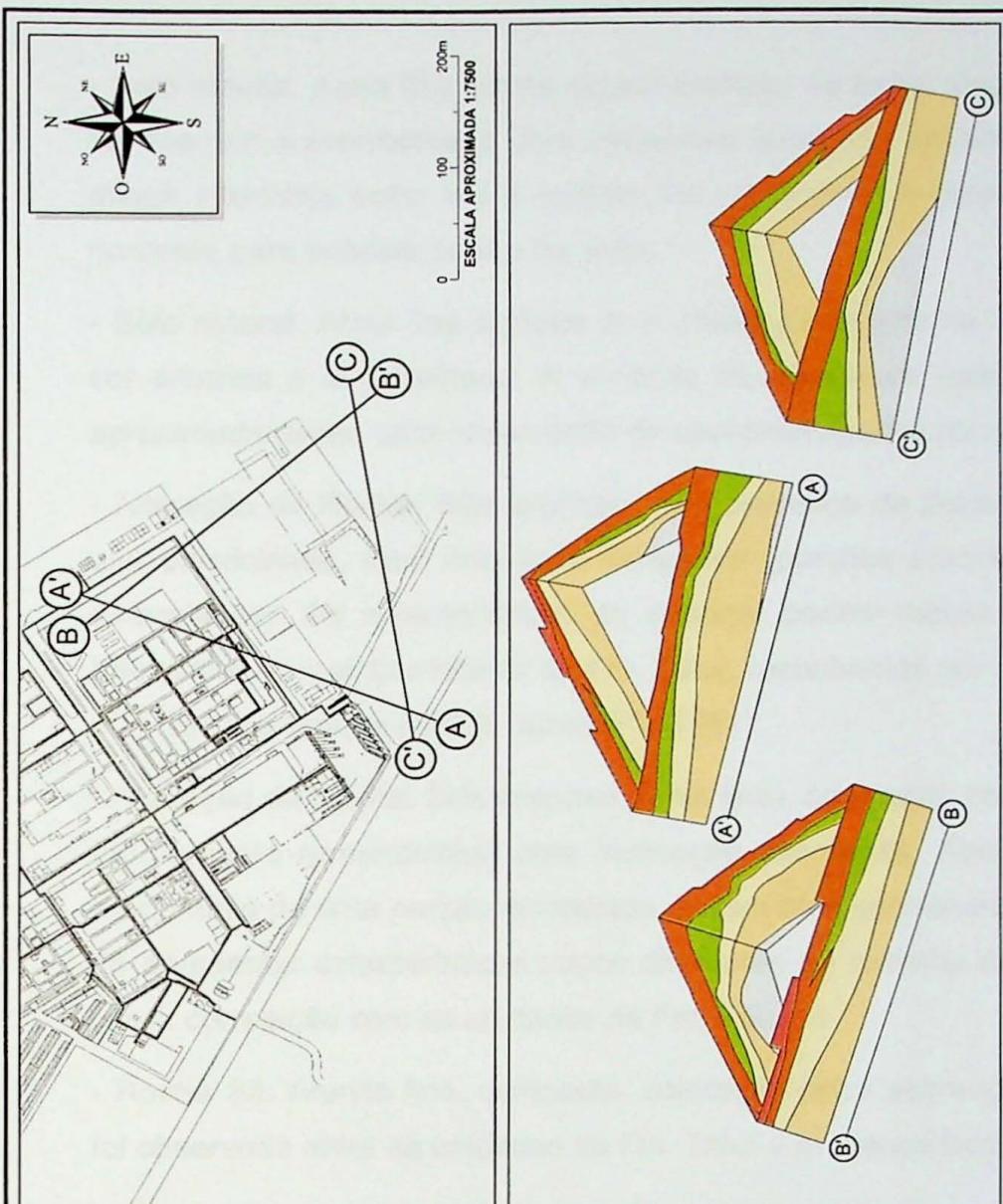
Dado o conjunto de informações obtidas ao longo das etapas dos testes de tratabilidade, foi possível selecionar entre as opções disponíveis o agente redutor polissulfeto de cálcio para a realização do teste piloto. Assim, os resultados obtidos a partir dos testes comprovaram a viabilidade da execução do teste piloto em função da metodologia da Redução Química *In Situ* (ISCR), descrita no presente trabalho.

4.2 Geologia Local

A descrição geológica local foi baseada na correlação da descrição de poços instalados nas campanhas de investigação anteriormente realizadas.

Essas informações locais reunidas permitiram a tentativa de correlação da geologia regional com a local. A **figura 07** representa a sobreposição das unidades encontradas através de seções geológicas com cortes próximos à área do teste. De modo geral, foi possível observar na área do teste piloto a sobreposição em subsuperfície, do topo para a base, dos materiais descritos a seguir:

- Aterro: predomínio de argila silto-arenosa, com variações mais siltosas e arenosas, observam-se localmente entulho e raízes, e apresenta cor marrom a vermelho. Este material foi observado na porção sudeste da planta;



- Solo natural: Areia fina siltosa pouco argilosa, de baixa plasticidade e umidade, apresenta cor marrom a avermelhada. Sua espessura apresenta variações ao longo da área podendo atingir intervalos entre 4 e 8 metros. De modo geral a diminuição da espessura se dá de noroeste para sudeste dentro da área;
- Solo natural: Areia fina argilosa com presença de silte na matriz, com baixa plasticidade, cor amarela a avermelhada. A variação de espessura está inferida entre 4 e 12 metros aproximadamente, com observação de descontinuidades na camada;
- Alteração de Rocha: Silte argiloso, com presença de areia fina, estruturas de laminação, alta plasticidade, com coloração variegada (porções brancas, roxas, vermelhas, e cinza amareladas). As características do material podem indicar correlação com as litologias referentes ao membro inferior da Fm. Tatuí, reconhecida por Barbosa & Gomes (1958, apud IPT, 1981) e Soares (1972b, apud IPT, 1981);
- Alteração de Rocha: Silte arenoso (areia fina), compacto, com presença local de planos de fraturamento (preenchidos) com inclinação acentuada. Apresenta coloração variada com predomínio de uma porção amarelada, porém com ocorrência de zonas de cor roxa. Apesar de apresentar características pouco diferentes do material sobrejacente, também pode ser inferir correlação com as unidades da Fm. Tatuí; e
- Rocha Sã: Arenito fino, compacto, coloração cinza esbranquiçado a amarelado. Também foi observada entre as unidades da Fm. Tatuí a presença local de arenitos finos (IPT, 1981).

4.3 Hidrogeologia Local

A abordagem local da área de estudo permite a observação das possíveis áreas de recarga assim como alguns corpos d'água distribuídos pelas proximidades que venham a atuar como locais de descarga. De um modo geral a planta localiza-se numa área de recarga mais elevada quando comparada com as áreas adjacentes dentro de um raio aproximado de 700m. A topografia da área de estudo apresenta menores altitudes à medida que se avança no terreno no sentido leste.

Pode se observar uma variação de cerca de 25 metros de altitude de um ponto dentro da planta em relação ao corpo d'água mais próximo, cerca de 500 metros a leste. Este corpo d'água, o Ribeirão Creedence apresenta orientação aproximada NW-SE e aparenta ser a principal área de descarga em relação à área de estudo. A **figura 08** situa a área de estudo na topografia local e indica a dinâmica da água subterrânea em função das possíveis áreas de recarga e descarga.

Os dados de carga hidráulica obtidos ao longo das atividades realizadas na planta indicaram o fluxo da água subterrânea no sentido preferencial para leste em direção à zona de descarga mais próxima.

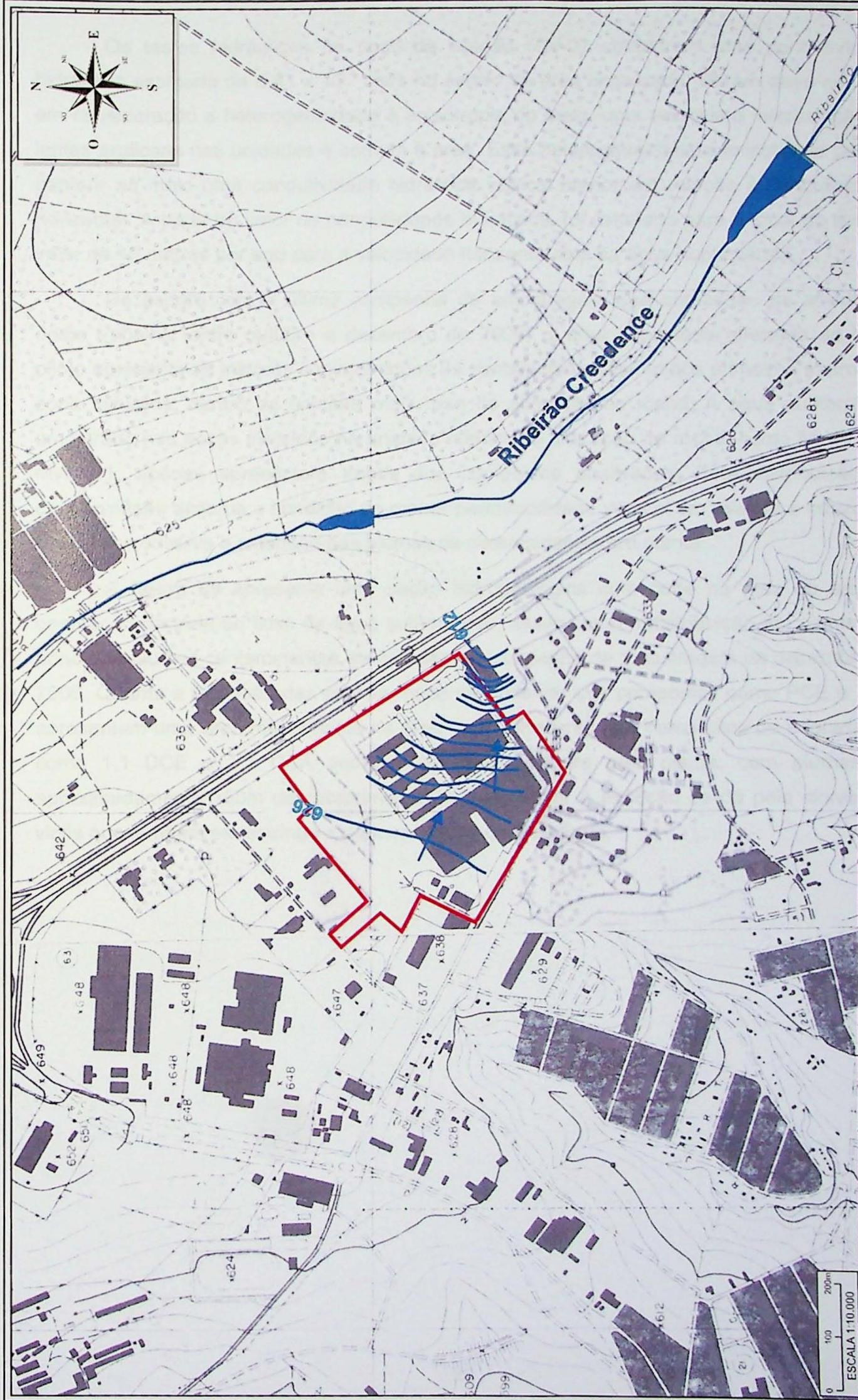


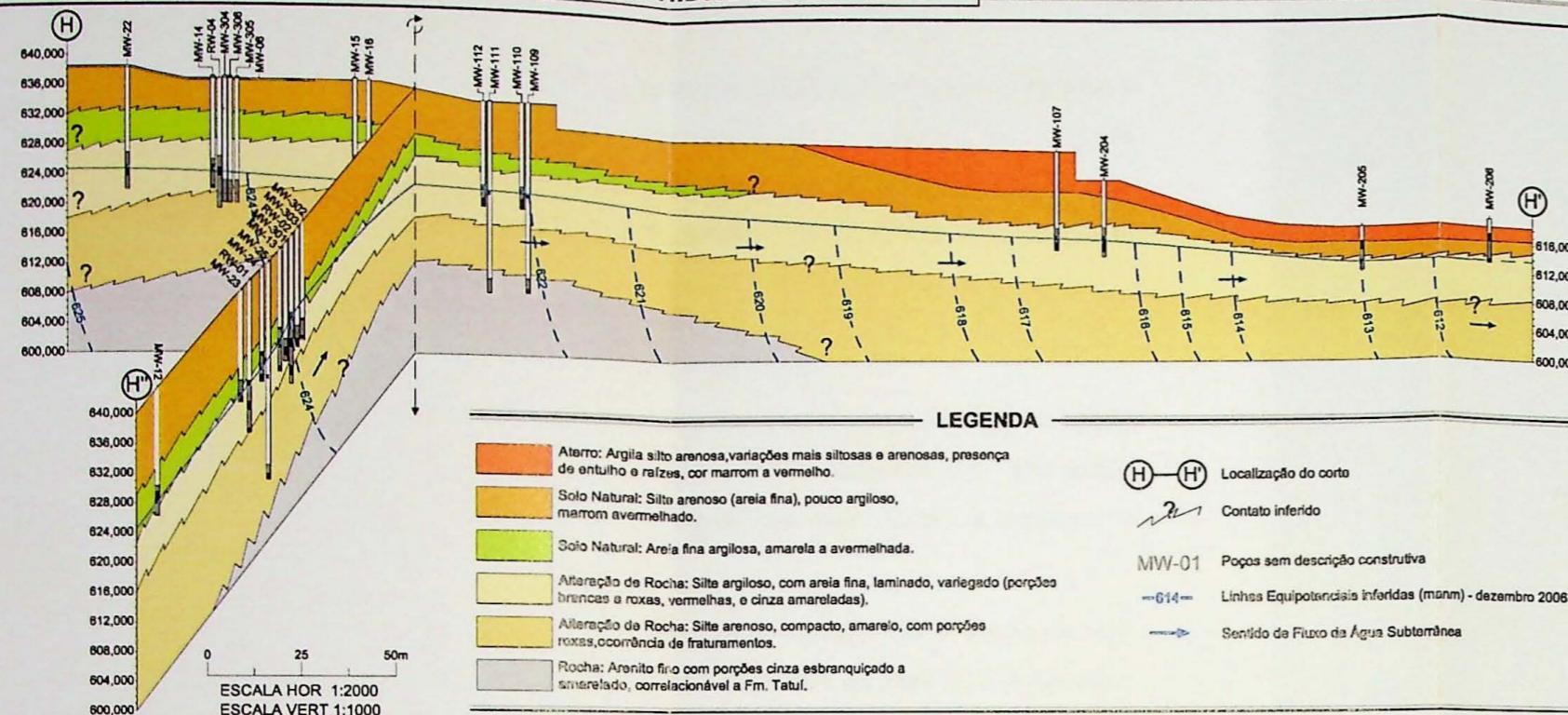
FIG 08
Figura 08: Possíveis áreas de recarga e descarga
Trabalho de Formatura - TF/08 - 43

Os testes hidráulicos no poço de injeção RW-02 conferiram uma condutividade hidráulica estimada de $6,81 \times 10^{-4}$ cm/s no centro da área impactada. Porém deve-se levar em consideração a heterogeneidade e anisotropia do meio, uma vez que a intercalação de lentes argilosas nas unidades é comum à área. Essa heterogeneidade e anisotropia podem conferir ao meio uma condutividade hidráulica vertical menor em relação à condutividade horizontal. A partir do valor de condutividade hidráulica, foi estimado para o local do teste o valor de 16 metros por ano para a velocidade horizontal real da água subterrânea.

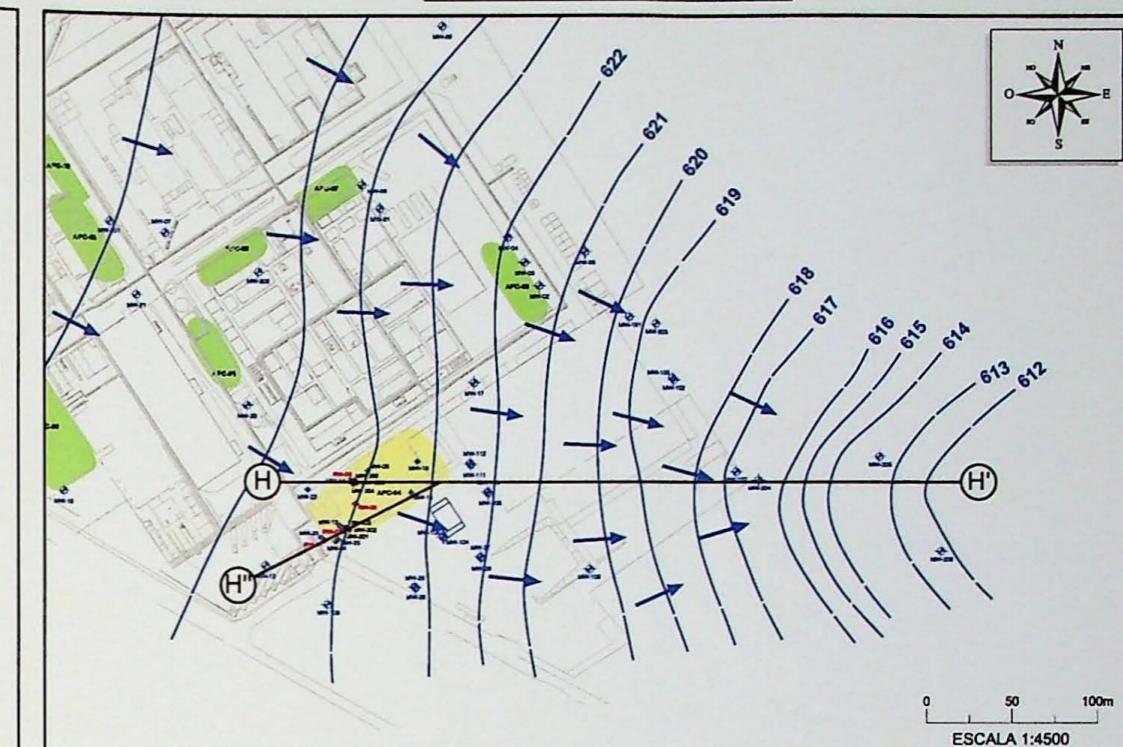
De acordo com a última campanha de amostragem que antecedeu as atividades deste trabalho (entre outubro e dezembro de 2006), a área impactada referente ao teste piloto apresenta as maiores concentrações de contaminante restrito aos primeiros metros da zona saturada, dentro da unidade mais rasa de alteração de rocha. A água subterrânea amostrada nos poços inseridos na unidade inferior de alteração de rocha, como MW-109 e MW-111, apenas apresentam traços dos compostos analisados. Esta distribuição da contaminação acentua a condição de menor permeabilidade vertical em relação à horizontal quando se observa a extensão das plumas de contaminantes em planta.

A **figura 09** apresenta uma seção hidrogeológica com corte na área do teste e orientação paralela ao fluxo da água subterrânea, assim como a distribuição em planta das principais plumas contaminantes delimitadas na campanha de amostragem de dezembro de 2006. Quanto à extensão das plumas, pode se observar que compostos como PCE e TCE apresentam uma área mais restrita na área fonte, enquanto que compostos de degradação como 1,1 DCE e 1,1 DCA ocorrem em maior difusão pela planta, com plumas de aproximadamente 150m de comprimento no maior eixo. A exceção se dá pelo cloreto de vinila que também se restringe a poucos metros da área fonte.

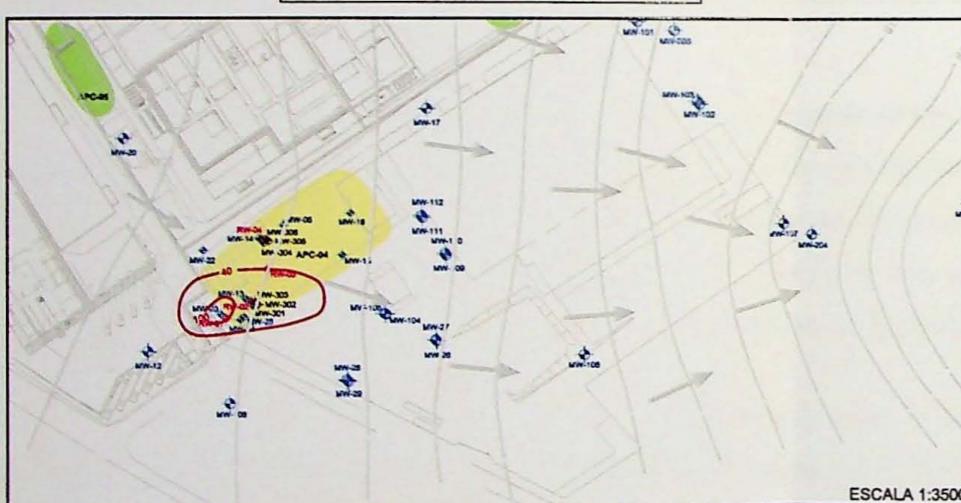
SEÇÃO HIDROGEOLÓGICA H-H'



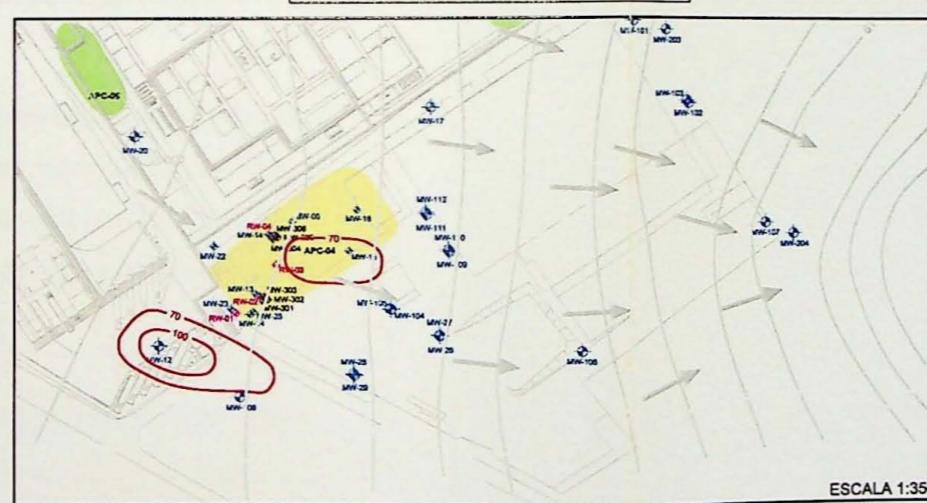
SEÇÃO H-H' EM PLANTA



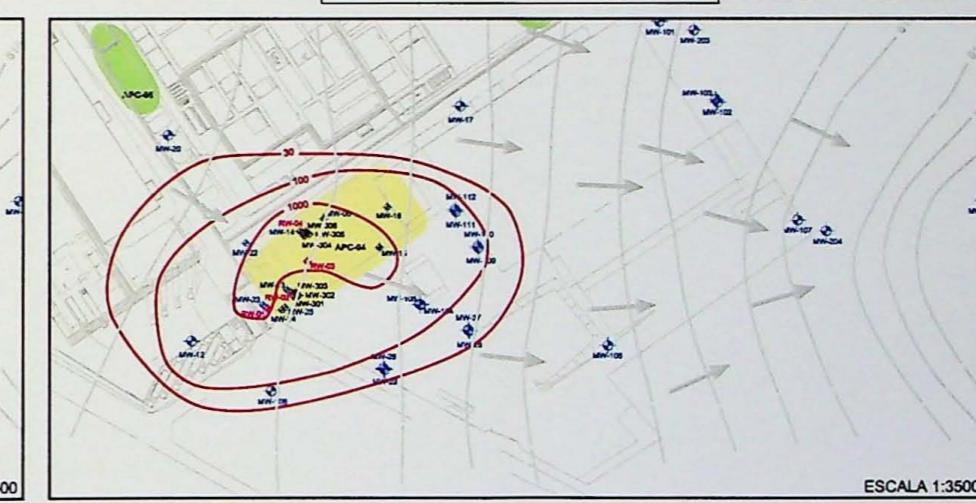
ÁREA DA PLUMA - PCE



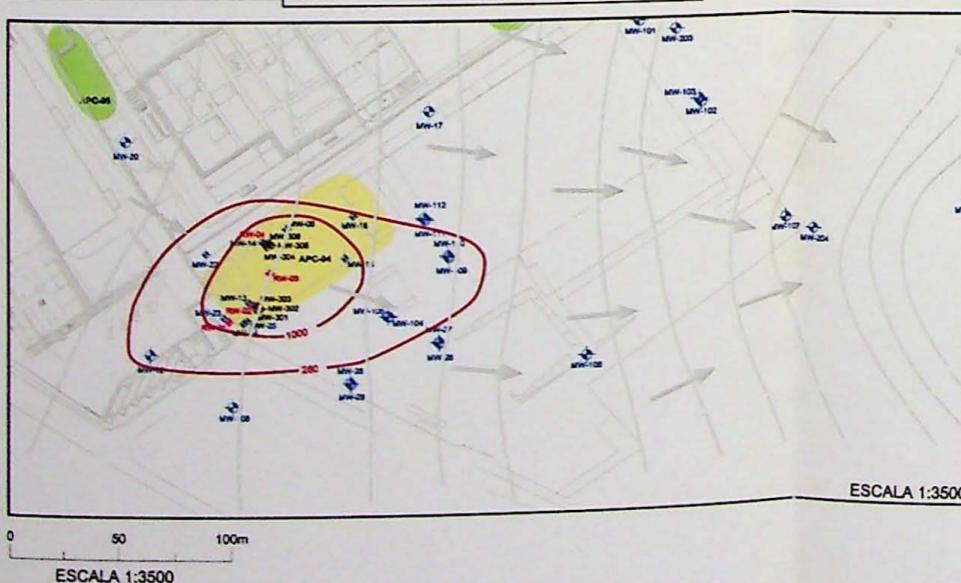
ÁREA DA PLUMA - TCE



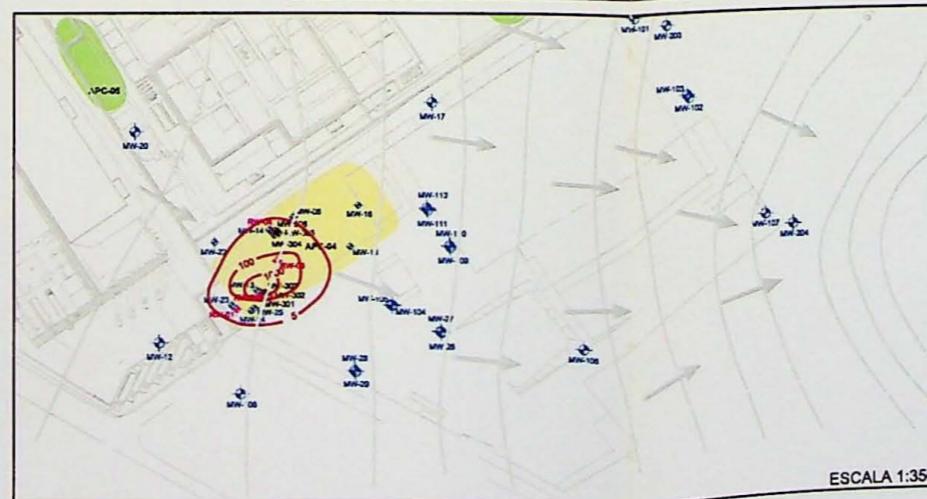
ÁREA DA PLUMA - 1,1 DCE



ÁREA DA PLUMA - 1,1DCA



ÁREA DA PLUMA - CV



LEGENDA

- ÁREA POTENCIALMENTE CONTAMINADA (APC)
- RW-02 (POÇO DE INJEÇÃO DO TESTE PILOTO)
- MW-30 (POÇO DE MONITORAMENTO DO TESTE PILOTO)
- MW-13 (POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE)
- Localização do corte
- Linhas Equipotenciais (manm) - dezembro 2006
- Sentido de Fluxo da Água Subterrânea
- 614 - Linhas de Isoconcentração dos contaminantes (ug/L)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A execução do teste-piloto envolveu etapas como a instalação de poços de injeção e monitoramento, caracterização inicial das condições da área, a injeção do produto escolhido, monitoramento do comportamento da água subterrânea num período inicial logo após a injeção e o acompanhamento ao longo de onze meses através do monitoramento de desempenho.

5.1 *Instalação dos poços de injeção e monitoramento*

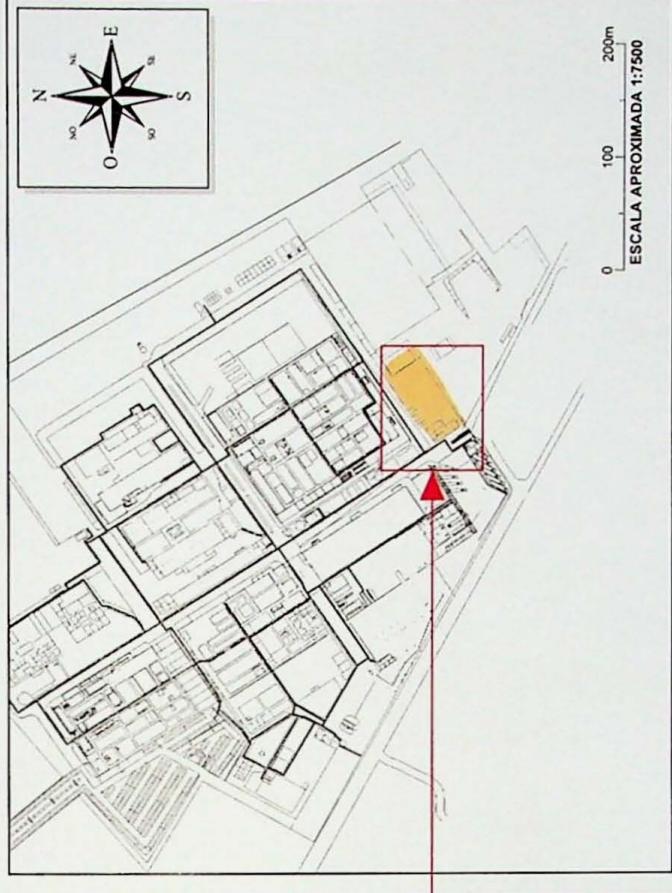
Embora os poços de injeção tenham sido instalados em etapas anteriores, em 2004 e 2005, foram fundamentais na atual atividade, assim como também em atividades precedentes, onde serviram ao propósito dos testes hidráulicos que vieram a viabilizar a alternativa de injeção de produtos.

Para a avaliação dos resultados da injeção do agente redutor na área impactada foram instalados seis poços de monitoramento, sendo três (MW-301 ao MW-303) instalados a jusante do poço de injeção RW-02 e três (MW-304 ao MW-306) instalados a jusante do RW-04. Foi na instalação desses poços em diante que se tornou efetiva a participação do aluno nas atividades envolvendo o teste piloto.

A alocação dos poços de monitoramento e a relação entre as distâncias dos poços utilizados para a injeção do produto foi realizada em função de testes de injeção de água que estimaram o raio de influência ao redor da área através da variação do nível d'água nos poços mais próximos. A localização dos poços de injeção e dos poços de monitoramento instalados nesse trabalho pode ser observada em detalhe na **figura 10**.

Os poços de monitoramento foram instalados com 2 polegadas de diâmetro, profundidade máxima de 17,0 metros e seção filtrante de 3,0 metros nas unidades de alteração de rocha. Da mesma forma, os poços de injeção utilizados apresentam 2 polegadas de diâmetro e seção filtrante nas unidades de alteração, porém com filtros de maior extensão, com 9,0 e 7,0 metros no RW-02 e RW-04 respectivamente. Os perfis construtivos dos poços de injeção, instalados anteriormente, e os poços de monitoramento instalados durante o cronograma do teste piloto podem ser observados no **Anexo I**.

A instalação dos poços foi realizada por um trado mecânico (*Hollow Stem Auger*), com diâmetro do furo de $8\frac{1}{4}$ " Os poços instalados são constituídos por tubulação de PVC geo-mecânico de duas polegadas de diâmetro. A seção construtiva dos poços de injeção apresenta características diferentes em relação aos poços de monitoramento.



LEGENDA

- ÁREA POTENCIALMENTE CONTAMINADA (APC)
- POÇO DE INJEÇÃO (TESTE PILOTO - ISCR)
- POÇO DE MONITORAMENTO (TESTE PILOTO - ISCR)
- POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE

NOTE:
PROJETO

Figura 10: Detalhe da área do teste piloto

Trabalho de Formatura - TF/08 - 43

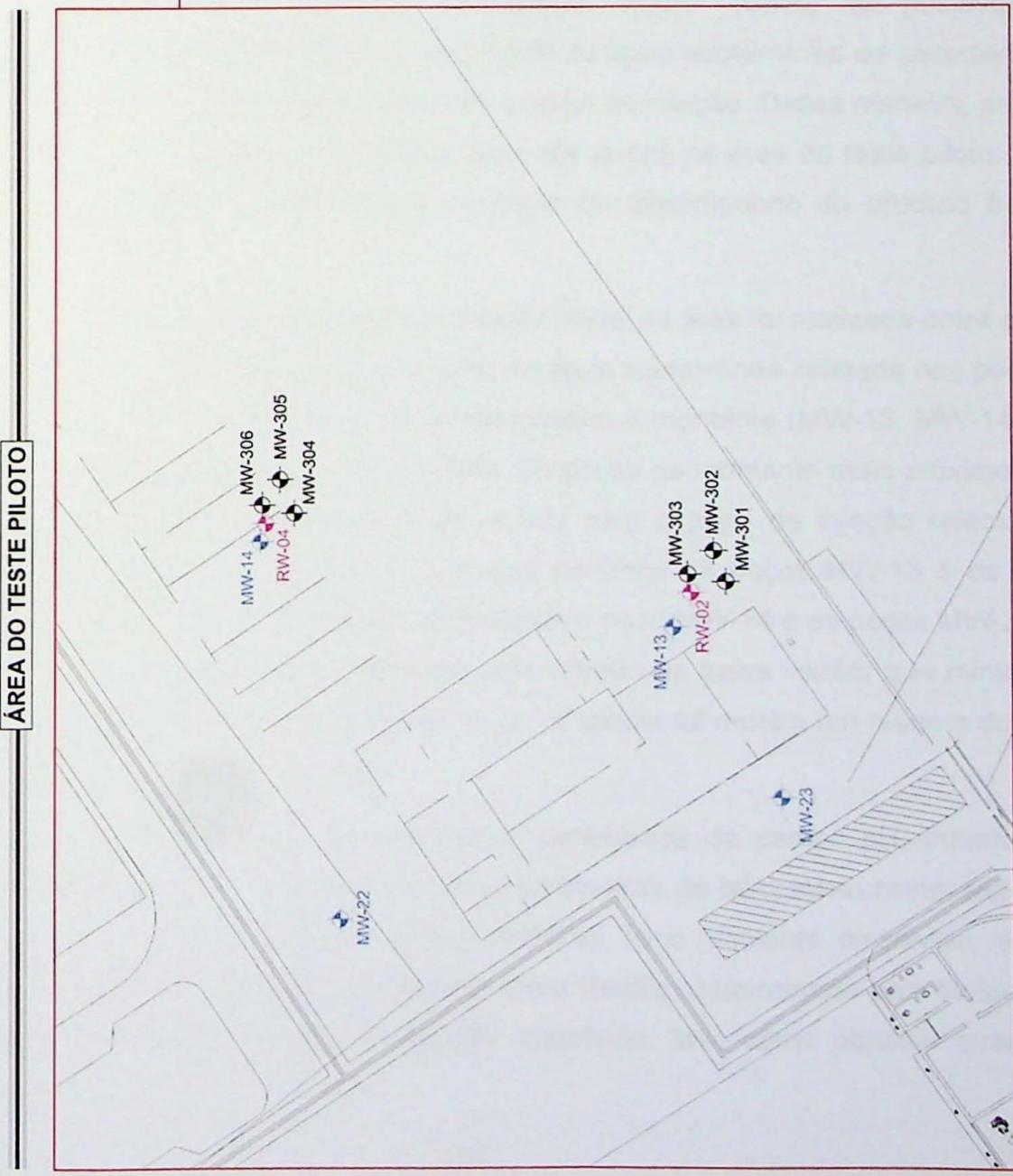


FIG 10

Para os poços de injeção, o espaço anelar entre a perfuração e a seção filtrante foi preenchido com areia selecionada até a uma altura de 0,7 metros sobre o topo da seção filtrante. Acima deste nível, o espaço anelar foi preenchido com bentonita granulada por aproximadamente 0,3 metros. Na seqüência foi adicionada uma camada de areia fina em torno de 0,5 metros, de modo a propiciar a retenção da calda aplicada logo após. Esta calda foi constituída por um mistura de cimento (95%) e bentonita (5%) até o topo do perfil. Por fim o acabamento foi feito com concreto e tampa de proteção.

Na instalação dos poços de monitoramento a seção construtiva segue as mesmas especificações citadas anteriormente, com a exceção da inexistência da camada de areia fina, e a utilização da calda de bentonita em substituição da mistura de cimento aplicada nos poços de injeção. Depois da instalação, todos os poços foram desenvolvidos com mangueiras descartáveis de polietileno de $\frac{1}{2}$ polegada de diâmetro, até que a redução da turbidez na água fosse visível.

5.2 Caracterização Inicial

O acompanhamento da ação do agente redutor (CaS_5) foi possível pela comparação dos resultados obtidos na amostragem de água subterrânea da caracterização inicial, e ao longo de períodos específicos após a etapa de injeção. Dessa maneira, antes da injeção do produto foi realizada a coleta de água dos poços na área do teste piloto. Essas amostras serviram como referência para avaliação do desempenho do produto frente à situação inicial da área.

A amostragem que caracterizou a situação inicial da área foi realizada entre os dias 13 e 15 de março de 2007, e envolveu a análise da água subterrânea coletada nos poços de injeção (RW-02 e RW-04), nos poços de monitoramento a montante (MW-13, MW-14, MW-22 e MW-23) e a jusante (MW-301 ao MW-306). Os poços de montante mais próximos e os poços de jusante podem ser agrupados de acordo com o poço de injeção relacionado. Dessa forma temos o conjunto RW-02, cujo qual pertence os poços MW-13 e os poços MW-301 ao MW-303. O conjunto RW-04 compreende o poço MW-14 e os poços MW-304 ao MW-306. A coleta das amostras foi realizada pelo método de baixa vazão, que minimiza a agitação e a exposição da água subterrânea ao ar. A **tabela 02** mostra um resumo do plano de amostragem da caracterização inicial.

Foram considerados para as análises os parâmetros de campo pH, potencial de oxi-redução (ORP), condutividade elétrica. Já os parâmetros de laboratório compreenderam as análises de compostos orgânicos voláteis (VOC's), ferro bivalente dissolvido, sulfato, alcalinidade e RedEq. O parâmetro identificado como RedEq, determinado pela titulação da água subterrânea coletada com permanganato dissolvido, teve como objetivo quantificar

quão redutor o meio se apresentava. Também foram coletadas amostras duplicata, branco de equipamento e branco de campo para procedimentos de controle de qualidade.

Tabela 02: Plano de amostragem da caracterização inicial

Poço (Localização)		Metodologia de Amostragem	Parâmetros medidos em campo	Parâmetros analisados em laboratório
Poços de montante mais distante				
MW-22	Montante			
MW-23	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP, Condutividade	VOC, Ferro Dissolvido, Sulfato, Alcalinidade, RedEq
Conjunto RW-02				
MW-13	Montante			
RW-02	Injeção			
MW-301	Jusante			
MW-302	Jusante			
MW-303	Jusante			
Conjunto RW-04				
MW-14	Montante			
RW-04	Injeção			
MW-304	Jusante			
MW-305	Jusante			
MW-306	Jusante			
Amostras de Controle de Qualidade				
Branco de Equip.				
Duplicata		Baixa Vazão	pH, ORP, Condutividade	VOC, Ferro Dissolvido, Sulfato, Alcalinidade, RedEq
Branco de Campo				VOC, RedEq

* *OD = oxigênio dissolvido*

ORP = potencial de óxido redução

RedEq = equivalente de redução

5.3 Preparação e injeção do agente redutor

A preparação da mistura envolveu a água bombeada dos poços de monitoramento próximos a área, e quando estes não se mostraram propícios à extração, foi utilizada água do sistema público. A etapa de extração da água subterrânea do aquífero para os tanques de mistura ocorreu entre os dias 15 a 18 de maio de 2007 e verificou-se que esta extração não apresentou a mesma eficácia notada durante a injeção. Essa situação pode ter sido induzida por propriedades do meio, assim como diferenças entre as forças atuantes na injeção de água por gravidade (referente aos testes hidráulicos) e no bombeamento dos poços de monitoramento. A água obtida foi misturada com os galões de polissulfeto de cálcio fornecidos pelo fabricante. O produto usado foi produzido pela AGROCOMP Comércio de Insumos Ltda. e é basicamente, formado pela fervura de enxofre natural e cal hidratada. Este produto é conhecido como fertilizante foliar líquido composto de 18% de enxofre e 6% de cal e densidade igual a 1,25 g/cm³.

A água bombeada foi inicialmente dirigida a um tanque de mistura com volume de 2000 litros, onde foi misturada com o polissulfeto de cálcio. A cada 2000 litros de mistura, foram medidos os parâmetros pH, potencial de oxi-redução (ORP) e condutividade elétrica.

A medida que a solução foi preparada era feita a transferência da solução para o tanque de injeção com capacidade de 10.000 litros.

A solução foi preparada a partir da adição de 425 litros de polissulfeto de cálcio aos 9.575 litros de água bombeada para o tanque de injeção. Após o enchimento dos tanques de injeção, foram medidos os parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica e ORP) e coletada amostra para análise laboratorial de VOCs. Esta operação foi realizada para ambas as áreas de injeção em função dos poços RW-02 e RW-04. As **figuras 11 e 12** mostram a preparação da solução e a configuração da área de injeção respectivamente. A amostragem dos tanques de mistura para análise de VOC ocorreu no dia 21 de maio de 2007. A **tabela 03** ilustra os parâmetros medidos durante o processo de mistura.

No dia 21 de maio de 2007, após cada tanque ser completado com 10.000 litros de solução de agente redutor, foi iniciado o processo de injeção contínua por gravidade para cada poço de injeção com uma vazão média de 1.000 litros/h para ambas as áreas.

Tabela 03: Plano de amostragem do processo de mistura

Tanque	Medição dos parâmetros durante o processo de mistura			
	2000 L (água subterrânea)	4000 L (água subterrânea)	6000 L (água subterrânea)	10000 L (solução-água/produto)
Tanque 1 (RW-02)	pH, ORP, condutividade elétrica durante o bombeamento e VOC após a solução completa			
Tanque 2 (RW-04)				



Figura 11: Procedimento de Preparo da solução



Figura 12: Configuração da Área de Injeção

5.3 Monitoramento Inicial

Após a injeção, os poços selecionados foram monitorados para avaliar o comportamento dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea em dois períodos, sendo um logo após a injeção da solução e ao longo de sete dias. Estas coletas foram realizadas entre os dias 21 e 29 de maio de 2007, pelo método de baixa vazão. A **tabela 04** apresenta os parâmetros analisados durante esses períodos.

Tabela 04: Plano de amostragem do monitoramento inicial

Poço (Localização)	Metodologia de Amostragem	Parâmetros Analisados						
		Logo após a Injeção	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
Poços de montante mais distante								
MW-22	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP e condutividade elétrica	pH, ORP, condutividade elétrica				
MW-23	Montante							
Conjunto RW-02								
MW-13	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP e condutividade elétrica	pH, ORP, condutividade elétrica				
RW-02	Injeção							
MW-301	Jusante							
MW-302	Jusante							
MW-303	Jusante							
Conjunto RW-04								
MW-14	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP e condutividade elétrica	pH, ORP, condutividade elétrica				
RW-04	Injeção							
MW-304	Jusante							
MW-305	Jusante							
MW-306	Jusante							

5.4 Monitoramento de Desempenho

O monitoramento de desempenho do teste piloto foi realizado com amostragens após a injeção em um mês (entre os dias 4 e 6 de julho de 2007), três meses (entre os dias 4 e 6 de setembro de 2007), seis meses (entre os dias 4 e 6 de dezembro) e onze meses (entre os dias 7 e 9 de maio de 2008). Da mesma forma que as demais campanhas de monitoramento, o método utilizado para a coleta foi o de baixa vazão. Embora inicialmente fazendo parte do plano de amostragem, não foi possível a análise dos parâmetros ferro bivalente dissolvido, sulfato e alcalinidade no terceiro mês após a injeção. Como medida de controle de qualidade foram coletadas amostras duplicatas, brancos de equipamento e brancos de campo durante as campanhas de monitoramento. A **tabela 05** resume os parâmetros analisados ao longo do monitoramento de desempenho.

Tabela 05: Plano de amostragem do monitoramento de desempenho

Poço (Localização)	Metodologia de Amostragem	Parâmetros Analisados						
		Mês 1	Mês 3	Mês 6	Mês 11			
Poços de montante mais distantes								
MW-22	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP, condutividade elétrica, RedEq, VOC, ferro dissolvido, sulfato e alcalinidade					
MW-23	Montante							
Conjunto RW-02								
MW-13	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP, condutividade elétrica, RedEq, VOC, ferro dissolvido, sulfato e alcalinidade					
RW-02	Injeção							
MW-301	Jusante							
MW-302	Jusante							
MW-303	Jusante							
Conjunto RW-04								
MW-14	Montante	Baixa Vazão	pH, ORP, condutividade elétrica, RedEq, VOC, ferro dissolvido, sulfato e alcalinidade					
RW-04	Injeção							
MW-304	Jusante							
MW-305	Jusante							
MW-306	Jusante							
Amostras de Controle de Qualidade								
Branco de Equip.	Baixa Vazão	pH, ORP, condutividade elétrica, RedEq, VOC, ferro dissolvido, sulfato e alcalinidade						
Duplicata								
Branco de Campo								

5.5 Caracterização do modelo conceitual

O modelo conceitual hidrogeológico e da contaminação da área se apresentou em contínuo aprimoramento em função dos novos dados coletados ao longo das etapas do projeto. As novas informações foram utilizadas para o melhor entendimento da área, assim como possibilitar a correlação com trabalhos realizados na região. De modo geral, a reunião dessas informações foi utilizada na construção de seções geológicas, avaliação da dinâmica da água subterrânea e o comportamento dos contaminantes presentes na área.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos durante as atividades do teste piloto serão apresentados em dois segmentos principais: parâmetros físico-químicos sendo representados pelos dados de pH, potencial de oxi-redução (ORP) e condutividade elétrica; e as análises químicas de laboratório. Os dados apresentados são referentes às atividades realizadas desde a caracterização inicial até a última coleta, após os onze meses da injeção.

6.1 Sumário dos dados de parâmetros físico-químicos

Durante o processo de mistura foi realizada a medição dos parâmetros físico-químicos a cada 2000 litros de solução preparada até que todo o tanque de injeção estivesse completo. O polissulfeto de cálcio foi adicionado gradativamente ao tanque de mistura, o que proporcionou a alteração dos parâmetros analisados. Durante o preparo da solução foi observado o aumento dos valores de pH, o que tornou a solução gradativamente mais alcalina para ambas as áreas de injeção. Já o potencial de oxi-redução apresentou queda atingindo valores negativos, o que caracterizou o comportamento redutor da solução. Essas alterações anteriores ao contato com o meio aquífero se devem ao fato de que o próprio produto apresenta características alcalinas e redutoras. A condutividade elétrica aumentou de forma a exceder o limite da escala do aparelho utilizado. Para este último parâmetro, pode ter ocorrido aumento em função de reações com os sólidos em suspensão presentes na água retirada da área, fazendo com que fossem liberados íons na solução. A **tabela 06** apresenta os dados dos parâmetros físicos relativos à mistura momentos antes da injeção.

Tabela 06: Parâmetros físico-químicos nos tanques de injeção

Tanque	Parâmetros medidos durante a mistura do agente redutor		
	pH	ORP (mV)	Cond. Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
	10.000 litros	10.000 litros	10.000 litros
Tanque 01 (RW-02)	10,94	-227	>>2100
Tanque 02 (RW-04)	10,91	-226	>>2100

Estes mesmos parâmetros foram analisados durante a caracterização inicial e na avaliação de desempenho até onze meses após a injeção do agente redutor. A seguir serão apresentados separadamente os parâmetros físico-químicos obtidos ao longo das etapas.

Variação de pH

A **tabela 07** aponta a variação de pH obtida a partir da estabilização dos parâmetros ao longo das atividades de monitoramento.

Tabela 07: Valores de pH ao longo do monitoramento

Poço (Localização)	Caract Inicial	pH										Monit. de Desempenho			
		Monit. Inicial pós-injeção								mês 1	mês 3	mês 6	mês 11		
		Dia após	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias	7 dias						
	12 mar 2007	22 mai 2007	23 mai 2007	24 mai 2007	25 mai 2007	26 mai 2007	27 mai 2007	28 mai 2007	29 mai 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008		
Poços de montante mais distantes															
MW-22	Montante	5,66	4,7	5,35	5,25	5,18	5,45	5,2	5,1	5	5,43	5,87	5,1	5,59	
MW-23	Montante	5,44	5,23	5,3	5,02	5,18	5,31	5,15	4,85	4,7	5,54	5,63	5,15	5,43	
Conjunto RW-02															
MW-13	Montante	5,39	9	8,65	6,68	8,2	6,6	7,3	5,05	6,8	6,03	5,35	5,48	4,94	
RW-02	Injeção	3,92	11,43	11,09	10,78	11,25	10,3	10,87	10,84	11,04	7,76	6,7	6,3	6,7	
MW-301	Jusante	6,44	9	9,25	6,7	9,09	8,85	8,53	8,14	8,2	7,04	6,33	6,21	6,25	
MW-302	Jusante	6,95	6,05	6,11	6,2	7,11	6,4	6,21	5,95	5,6	5,97	5,99	5,46	5,24	
MW-303	Jusante	6,4	9,69	9,69	9,25	9,38	9,1	8,9	8,55	8,51	7,72	6,81	6,4	6,7	
Conjunto RW-04															
MW-14	Montante	5,19	9,2	9,11	9,38	9,32	9,2	9,01	8,55	8,28	6,63	5,93	4,93	5,4	
RW-04	Injeção	5,74	10,41	11,13	11,14	11,05	11,28	11,25	11,08	11,26	11,12	10,73	10,09	8,48	
MW-304	Jusante	6,99	6,25	5,98	6,53	6,5	6,64	6,65	6,4	6,31	6,23	5,97	5,6	5,93	
MW-305	Jusante	6,91	6,26	6,08	6,75	6,54	7,2	6,61	6,36	6,18	6,77	6,6	6,2	5,61	
MW-306	Jusante	7,09	6,12	6,05	6,61	6,55	6,53	6,61	6,38	6,2	6,52	6,54	6,08	6,1	

De maneira geral, pode se observar um aumento dos valores de pH naqueles poços onde o agente redutor teve acesso, embora haja variações de comportamento. Essa variação pode ser observada nos próprios poços de injeção, de maneira que o poço RW-04 apresenta elevados valores de pH até o final dos onze meses de monitoramento, enquanto que o RW-02 apresenta decréscimo acentuado em relação aos valores de pico já no primeiro mês de monitoramento.

Dentre os poços a montante, os que melhor responderam à variação de pH em função do agente redutor foram aqueles mais próximos aos poços de injeção (MW-13 e MW-14), de forma que o mesmo não ocorreu com os poços mais distantes (MW-22 e MW-23). Esta situação era esperada, pois estes poços foram escolhidos para monitorarem os parâmetros químicos e físico-químicos do aquífero impactado sem que houvesse qualquer chance de influência da injeção dos compostos utilizados no teste piloto.

Já nos poços de jusante, foi observado, no conjunto RW-02, que os poços MW-301 e MW-303 apresentaram maiores variações durante o monitoramento inicial após a injeção e

tenderam a estabilizar ao longo do monitoramento de desempenho. A mesma situação não ocorre com o poço MW-302 e com os poços de jusante referentes ao ponto de injeção RW-04, onde as medidas permaneceram estáveis ao longo do período do teste.

Variação do Potencial de Oxi-redução

A **tabela 08** aponta a variação do potencial de oxi-redução (ORP) obtido a partir da estabilização dos parâmetros ao longo das atividades de monitoramento.

Similar às variações ocorridas com o parâmetro pH, foi observado nos poços de injeção (RW-02 e RW-04) e nos poços a montante mais próximos (MW-13 e MW-14) uma maior variação do potencial de oxi-redução para valores negativos (com caráter redutor) durante o monitoramento inicial pós-injeção. Exceto pelo poço RW-04, nota-se uma tendência à normalização ao longo do monitoramento de desempenho.

A mesma relação ocorreu com os poços à jusante, onde os poços MW-301 e MW-303 referentes ao conjunto RW-02 apresentaram as maiores variações durante o monitoramento inicial após a injeção. Já o poço MW-302 (pertencente ao conjunto RW-02) e os poços MW-304 ao MW-306 (pertencentes ao conjunto RW-04) não apresentaram variações negativas de potencial de oxi-redução.

Tabela 08: Valores de potencial de oxi-redução ao longo do monitoramento

Poço (Localização)	Potencial de Oxi-redução (mV)													
	Caract Inicial	Monit. Inicial pós-injeção							Monit. de Desempenho					
		Day após	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias	7 dias	mês 1	mês 3	mês 6	mês 11	
		12 mar 2007	22 mai 2007	23 mai 2007	24 mai 2007	25 mai 2007	26 mai 2007	27 mai 2007	28 mai 2007	29 mai 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008
Poços de montante mais distantes														
MW-22	Montante	85	129	100	115	118	106	130	131	125	109	106	116	84
MW-23	Montante	98	102	104	131	124	115	126	137	143	102	100	116	94
Conjunto RW-02														
MW-13	Montante	104	-120	-89	38	-40	58	-3	95	50	79	110	98	119
RW-02	Injeção	180	-251	-230	-201	-228	-176	-204	-208	-219	-20	50	61	32
MW-301	Jusante	44	-111	-125	33	-101	-87	-69	-50	-48	25	57	60	57
MW-302	Jusante	14	50	50	70	13	53	67	78	90	84	80	90	104
MW-303	Jusante	47	-151	-150	-110	-116	-101	-90	-73	-69	-14	36	57	32
Conjunto RW-04														
MW-14	Montante	115	-124	-118	-120	-115	-106	-96	-73	-57	44	82	132	97
RW-04	Injeção	75	-196	-234	-224	-219	-228	-229	-219	-234	-219	-201	-163	-70
MW-304	Jusante	12	41	62	49	44	42	42	50	57	68	81	92	70
MW-305	Jusante	17	40	61	39	42	16	43	49	61	40	47	66	87
MW-306	Jusante	6	56	53	44	45	47	41	55	64	50	50	81	62

Variação de Condutividade

A **tabela 09** apresenta a variação de condutividade elétrica obtida a partir da estabilização dos parâmetros ao longo das atividades de monitoramento.

Aparentemente, para os dados de condutividade elétrica, são observados os mesmos padrões dos demais parâmetros. Dessa forma nota-se que os poços de injeção (RW-02 e RW-04), os poços de montante mais próximos (MW-13 e MW-14) e parte dos poços de jusante referentes ao conjunto RW-02 apresentam as maiores variações ao longo do monitoramento inicial após a injeção. Observa-se também um aumento mais lento e progressivo para o poço MW-302 ainda no monitoramento inicial com manutenção de valores altos ao longo dos monitoramentos de desempenho. Já para os demais poços que apresentaram indicações de acesso ao produto pelos parâmetros discutidos anteriormente, observa-se a tendência de queda de condutividade elétrica no primeiro mês após a injeção e ao longo do resto do monitoramento de desempenho, exceto pelo poço a jusante MW-302 que apresenta oscilações de valores mais altos nesse período.

Tabela 09: Valores de condutividade elétrica ao longo do monitoramento

Poço (Localização)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)													
	Caract Inicial	Monit. Inicial pós-injeção								Monit. de Desempenho				
		dia após	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias	7 dias	mês 1	mês 3	mês 6	mês 11	
	12 mar 2007	22 mai 2007	23 mai 2007	24 mai 2007	25 mai 2007	26 mai 2007	27 mai 2007	28 mai 2007	29 mai 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008	
Poços de montante mais distantes														
MW-22	Montante	120,1	130,9	120,1	132,2	130	275	209	164,1	141,3	95,7	135,3	88,2	105,1
MW-23	Montante	79,6	177,6	200,1	128	240	187	181	181,8	172,9	163,2	155,1	146,4	153,3
Conjunto RW-02														
MW-13	Montante	340	>2000	>2000	1795	>2100	1815	>2100	881	1893	1075	659	721	461
RW-02	Injeção	512	>2000	>2000	>2000	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	1842	1695	>2100	1507
MW-301	Jusante	640	>2000	>2000	943	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	1507	1120	1190	899
MW-302	Jusante	611	237	507	360	955	871	900	992	1170	1197	1251	1105	1170
MW-303	Jusante	907	>2000	>2000	>2000	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	1981	1440	1271
Conjunto RW-04														
MW-14	Montante	66,2	>2000	>2000	>2100	>2100	>2100	1808	1935	2035	680	403	350	287
RW-04	Injeção	163,1	>2000	>2000	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	1815	1599	1021	958
MW-304	Jusante	565	447	545	509	505	410	545	516	525	310	274	205	149,3
MW-305	Jusante	548	436	503	456	508	340	480	496	468	530	476	242	152,1
MW-306	Jusante	563	358	415	430	469	447	482	480	481	438	457	610	509

6.2 Sumário das Análises Químicas

As análises de laboratório serão apresentadas na forma de VOCs totais e demais parâmetros indicativos da ação do produto.

6.2.1 Compostos orgânicos clorados voláteis (VOCs)

Os resultados das análises químicas referentes à caracterização inicial e monitoramento de desempenho serão apresentados numa forma mais geral, abrangendo os poços de ambos os conjuntos de injeção do agente redutor.

A **tabela 10** mostra a soma das concentrações de compostos orgânicos clorados voláteis (VOCs totais) ao longo dos monitoramentos realizados durante o teste piloto, com agrupamento dos poços em relação à posição do poço de injeção. Estas concentrações podem ser observadas integralmente nas tabelas apresentadas no **Anexo 2**.

Tabela 10: Valores das concentrações de VOCs totais ao longo do monitoramento

Poço (Localização)	VOCs Totais (ug/L)					Decréscimo (%)	
	Caract. Inicial (mar 07)	Monitoramento de Desempenho				Caract. Inicial ao mês 11	mês 1 ao mês 11
		mês 1 (jul 07)	mês 3 (set 07)	mês 6 (dez 07)	mês 11 (mai 08)		
Poços de montante mais distantes							
MW-22	Montante	1843,7	1670,1	177,8	1614,4	1028,3	44,2% 38,4%
MW-23	Montante	3512,7	7462,7	2478,9	6931,7	5575,1	-58,7% 25,3%
Conjunto RW-02							
MW-13	Montante	942,7	1523,2	353,2	1229,1	937,3	0,6% 38,5%
RW-02	Injeção	460,2	5778,6	1680,3	2577	2702,7	-487,3% 53,2%
MW-301	Jusante	464,9	3035,5	792,3	724,8	956,1	-105,7% 68,5%
MW-302	Jusante	1134,8	650,3	293,4	752,5	520,7	54,1% 19,9%
MW-303	Jusante	2816	1519,9	2255,7	1379,5	830,6	70,5% 45,4%
Conjunto RW-04							
MW-14	Montante	3378,7	2388,6	1550,7	4802,3	2240,1	33,7% 6,2%
RW-04	Injeção	3658,3	1116,8	859,3	3596,3	1563,4	57,3% -40,0%
MW-304	Jusante	4169,9	5779,5	2005,3	4685,7	3570,3	14,4% 38,2%
MW-305	Jusante	4945,1	7757,7	2631,6	3510,2	6263,8	-26,7% 19,3%
MW-306	Jusante	3286,1	5221,1	1450,2	5114,5	5278,1	-60,6% -1,1%
Média de VOCs Totais (ug/L)							
Média conj. RW-02		1163,72	2501,5	1074,98	1332,58	1189,48	-2,2% 52,4%
Média conj. RW-04		3887,62	4452,74	1699,42	4341,8	3783,14	2,7% 15,0%
Média de jus. RW-02		1471,9	1735,2	1113,8	952,3	769,1	47,7% 55,7%
Média de jus. RW-04		4133,7	6252,8	2029	4436,8	5037,4	-21,9% 19,4%

De forma geral, se observa um comportamento variado com elevação e queda das concentrações em ambas as áreas. Comparando-se com a caracterização inicial, pode se observar um aumento no primeiro mês após a injeção na maioria dos poços envolvidos no teste. Na seqüência, após três meses ocorre mudança no comportamento das concentrações com uma relativa queda observada na maioria dos poços envolvidos. Esse

comportamento de queda logo é contrastado com um novo aumento das concentrações referente aos seis meses após a injeção. Entre seis e onze meses ocorre uma aparente estabilização. Os valores de decréscimo apresentados, referentes à comparação dos dados do último monitoramento (onze meses após a injeção) com a caracterização inicial e um mês após a injeção, mostram que houveram diferentes comportamentos associados a diferentes poços. Embora a variação tenha sido mais irregular na comparação com os dados da caracterização inicial, pode se observar uma maior tendência de decréscimo quando se comparam os dados com os valores após um mês de injeção. Ainda sim, os valores não indicam uma queda substancial das concentrações, pois apesar da variação observada entre a caracterização inicial e três meses após a injeção, a última campanha de amostragem (onze meses após a injeção) ainda apresenta valores altos, próximos à mesma ordem de grandeza.

6.2.2 Demais parâmetros analisados

Além da análise dos compostos orgânicos clorados, outros parâmetros foram analisados no laboratório com a função de avaliar a ocorrência das reações relativas ao método adotado.

Ferro dissolvido e Sulfato

Dentre estes parâmetros, o ferro bivalente dissolvido e o sulfato apresentam uma relação mais direta, visto que esses são produtos da reação esperada. A **tabela 11** mostra um resumo dos valores de ferro bivalente dissolvido junto aos valores de sulfato obtidos ao longo dos monitoramentos.

Quanto ao ferro bivalente dissolvido pode se observar que, de maneira geral, não houve grandes mudanças para a maioria dos poços até a amostragem do sexto mês após a injeção. Porém, na amostragem após onze meses da injeção se nota um substancial aumento de ferro bivalente dissolvido em parte dos poços da área do teste. Esses, que apresentam tal comportamento, parecem na maior parte coincidir com os poços que obtiveram maiores variações dos parâmetros físico-químicos.

Assim, exceto pelos próprios poços de injeção (RW-02 e RW-04), pode se notar a alteração nos poços de montante próximos à área de injeção (MW-13 e MW-14), nos poços MW-301 ao MW-303 localizados a jusante do ponto de injeção RW-02 e também no poço MW-306, a jusante do ponto de injeção RW-04.

Quanto ao sulfato, pode se observar um comportamento diferente em relação ao ferro bivalente dissolvido, visto que comparado à caracterização inicial a maioria dos poços apresenta aumento substancial de concentrações já no primeiro mês do monitoramento de

desempenho. A mesma resposta só não é notada nos poços mais distantes a montante, tal qual acontece com os demais parâmetros analisados até aqui.

Tabela 11: Valores de ferro bivalente dissolvido e sulfato ao longo do monitoramento

Poço (Localização)	Ferro Dissolvido (mg/L)					Sulfato (mg/L)						
	Caract Inicial	Monit.de Desempenho				Caract Inicial	Monit.de Desempenho					
		mês 1	mês 3	mês 6	mês 11		mês 1	mês 3	mês 6	mês 11		
12 mar 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008		12 mar 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008		
Poços de montante mais distantes												
MW-22	Montante	0,013	0,134	NA	0,015	0,125		2,9	13	NA	3,9	3,2
MW-23	Montante	3,9	0,315	NA	<0.0001	0,045		<1	11	NA	<1	<1
Conjunto RW-02												
MW-13	Montante	5,1	2,7	NA	0,307	24,7		<2	57	NA	26,4	12,3
RW-02	Injeção	0,089	0,024	NA	0,022	0,06		<5	322	NA	239	413
MW-301	Jusante	0,013	0,013	NA	0,115	49,1		<5	169	NA	49,3	447
MW-302	Jusante	0,023	5,5	NA	11,7	68		<5	57	NA	256	511
MW-303	Jusante	2,6	0,093	NA	0,182	1,6		<5	20	NA	453	389
Conjunto RW-04												
MW-14	Montante	1,7	0,033	NA	2,3	12,6		< 1	92	NA	115	131
RW-04	Injeção	0,828	0,01	NA	0,018	0,044		< 5	193	NA	1,8	1,9
MW-304	Jusante	1,1	0,035	NA	0,021	0,054		< 1	1624	NA	264	472
MW-305	Jusante	0,027	0,253	NA	0,051	0,044		3	181	NA	<1	1,4
MW-306	Jusante	0,723	0,563	NA	0,25	4		7,1	1441	NA	63,8	95,7

Alcalinidade e RedEq.

Os dados de alcalinidade total e RedEq são summarizados na **tabela 12**. Os dados apresentam alta variabilidade, de modo que se torna difícil a possibilidade de uma melhor correlação. Ainda sim podem ser apontados alguns detalhes como no caso do aumento de valores de alcalinidade observados no primeiro mês após a injeção na maioria dos poços relacionados ao poço de injeção RW-02. Nestes mesmos poços pode ser notado o decréscimo do mesmo parâmetro até a última campanha, onze meses após a injeção do produto.

Já os valores de RedEq, de forma geral, indicam para aqueles poços onde ocorreram variações dos demais parâmetros, um aumento da capacidade redutiva do meio já no primeiro mês pós injeção com tendência de queda observada até a última amostragem.

Tabela 12: Valores de Alcalinidade e RedEq ao longo do monitoramento

Poço (Localização)	Alcalinidade Total (mg/L)						RedEq (mg/L)					
	Caract Inicial	Monit.de Desempenho					Caract Inicial	Monit.de Desempenho				
		mês 1	mês 3	mês 6	mês 11			mês 1	mês 3	mês 6	mês 11	
	12 mar 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008		12 mar 2007	04 jul 2007	04 set 2007	04 dez 2007	07 mai 2008	
Poços de montante mais distantes												
MW-22	Montante	28	6,6	NA	<5	10		3,1	2,2	2,6	2,2	<1
MW-23	Montante	23	13	NA	17	9		5,2	< 1	11	8,4	2,2
Conjunto RW-02												
MW-13	Montante	11	90	NA	20	<5		3,1	7,2	1,6	11	1,5
RW-02	Injeção	<5	1200	NA	218	48		2,5	1117	228	252	7,5
MW-301	Jusante	125	96	NA	69	15		2	235	2,2	55	1
MW-302	Jusante	271	580	NA	5	<5		5	55,3	11	213	1,2
MW-303	Jusante	161	2000	NA	148	35		2,9	390	55	129	1
Conjunto RW-04												
MW-14	Montante	11	45	NA	<5	<5		3,2	201	16	34	<1
RW-04	Injeção	62	4300	NA	65	143		3,6	54	150	387	1,3
MW-304	Jusante	316	6,2	NA	10	16		9	< 1	2,7	4,1	1,5
MW-305	Jusante	273	33	NA	73	23		10	< 2	2,3	6,2	1,2
MW-306	Jusante	318	42	NA	79	30		6,5	110	16	62	<1

7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para uma melhor abordagem das interpretações dos resultados, este tópico é iniciado confrontando-se os dados que indicam em qual conjunto de poços é efetiva a presença do produto, e quando dessa situação, quais os efeitos obtidos quanto à redução dos contaminantes.

Análise inicial do conjunto RW-02

A figura 13 resume parte dos resultados obtidos no conjunto de poços associados ao poço de injeção RW-02. Nota-se claramente que nenhum dos parâmetros sofre alteração significativa nos poços de montante mais distantes (MW-22 e MW-23). Sendo assim, estes podem ser tomados como referência na comparação com as alterações sofridas nos demais poços.

Tanto os dados de pH quanto os dados de potencial de oxi-redução (ORP) indicam a presença do produto nos poços, uma vez que este apresenta características alcalinas e redutoras.

Dentre os demais poços do conjunto, ambos os parâmetros parecem sofrer alterações tanto no poço de injeção (RW-02) e seu poço de montante mais próximo (MW-13), quanto em dois dos poços de jusante (MW-301 e MW-302).

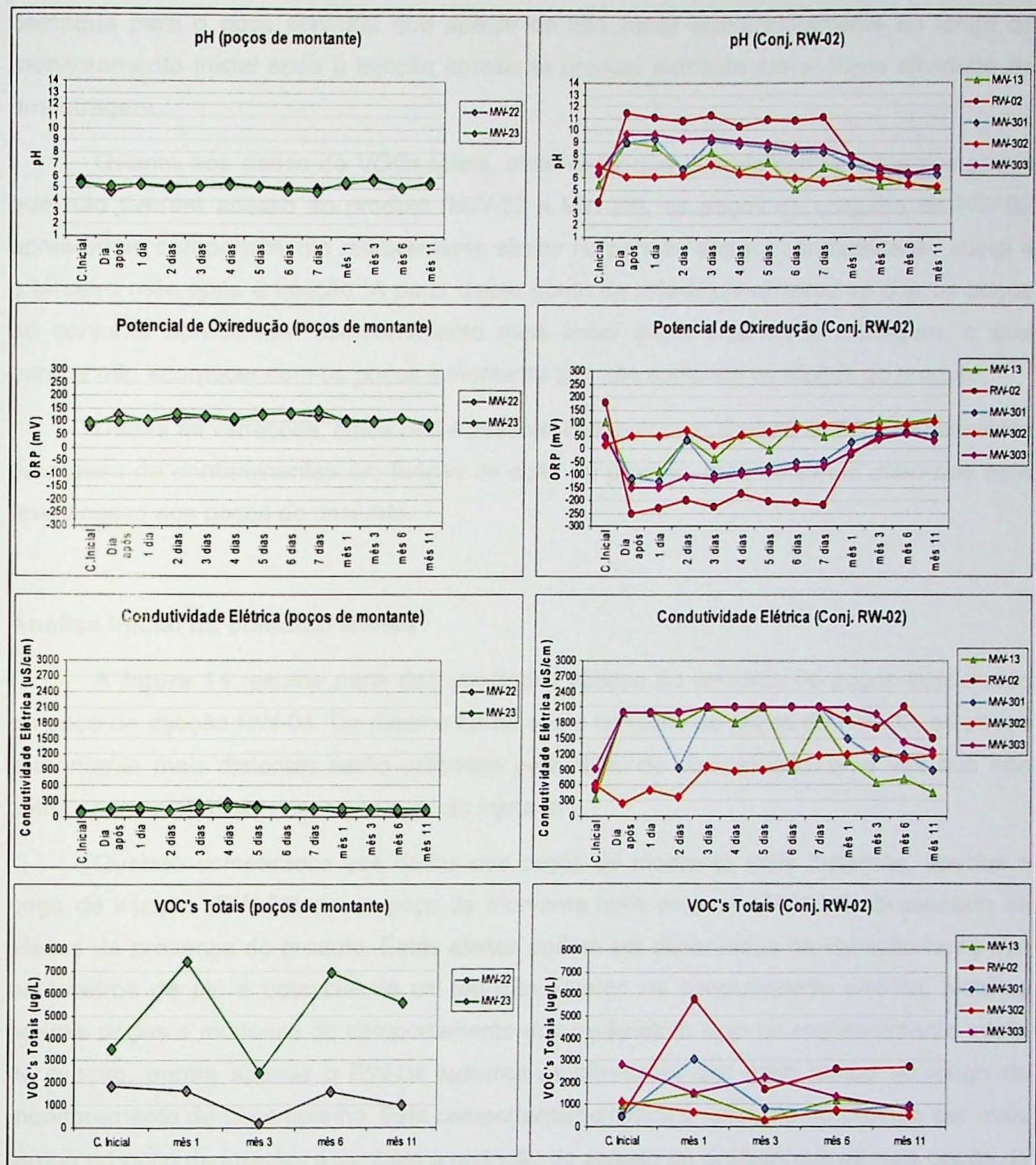


Figura 13: Comparação dos parâmetros analisados ao longo dos monitoramentos (Conj. RW-02)

As alterações são mais significativas ao longo do monitoramento inicial (no dia após a injeção e ao longo de sete dias), de modo que percebe-se uma tendência de estabilização logo no primeiro mês até o final dos monitoramentos, em onze meses após a injeção. Dessa forma, é assumido que houve acesso do produto aos poços, embora não se possa quantificar se o mesmo está atuando na redução dos contaminantes.

Já os dados de condutividade elétrica poderiam indicar entre outras, a ocorrência da reação esperada, uma vez que esta tende a liberar íons no meio. Aqui também se nota o padrão de variação tal qual ocorre nos parâmetros de pH e potencial de oxi-redução, com

destaque para o poço MW-302 que apesar de não variar significativamente ao longo do monitoramento inicial após a injeção apresenta gradual aumento até a última atividade de amostragem.

Quanto aos dados de VOCs totais, observa-se que quando comparados aos poços que não tiveram acesso ao produto (MW-22 e MW-23), os poços do conjunto do RW-02 apresentam comportamento relativamente similar no período entre a caracterização inicial e o terceiro mês após a injeção. A partir desse ponto de referência observa-se que os poços do conjunto apresentam comportamento mais linear até o final da amostragem, o que parece não acontecer com os poços à montante que não sofreram os efeitos do produto.

Dadas as variações, ainda não é possível observar com clareza se houve abatimento da massa de contaminantes em função da ação do produto, mesmo sendo claro que este teve acesso aos poços do conjunto.

Análise inicial do conjunto RW-04

A **figura 14** resume parte dos resultados obtidos no conjunto de poços associados ao poço de injeção RW-04. Da mesma forma que o conjunto de poços de RW-02, os poços a montante mais distantes serão utilizados para efeito de comparação, uma vez que não sofreram os efeitos do acesso ao produto injetado.

Quando comparados aos dados dos poços de montante mais distantes, apenas o poço de injeção (RW-04) e seu poço de montante mais próximo (MW-14) apresentam os efeitos da presença do produto. Estes efeitos podem ser observados na variação tanto nos parâmetros de pH e potencial de oxi-redução, quanto na condutividade elétrica. Nota-se nesses poços a mudança do comportamento dos parâmetros logo no monitoramento inicial da reação, porém apenas o RW-04 sustenta as alterações por mais tempo ao longo do monitoramento de desempenho. Este comportamento indica a retenção do produto por mais tempo no poço de injeção, e também a restrição do acesso ao produto nos demais poços de jusante. Essa retenção pode estar associada a heterogeneidades locais do aquífero.

Dessa forma, os dados de VOCs podem não ser representativos ao propósito da comparação da presença do produto com o abatimento de contaminantes, uma vez que para a maior parte desses poços não houve acesso do produto. Mesmo para os poços RW-04 e MW-14 onde o produto se encontra presente, não se nota abatimento expressivo da massa de contaminantes quando comparado com a caracterização inicial.

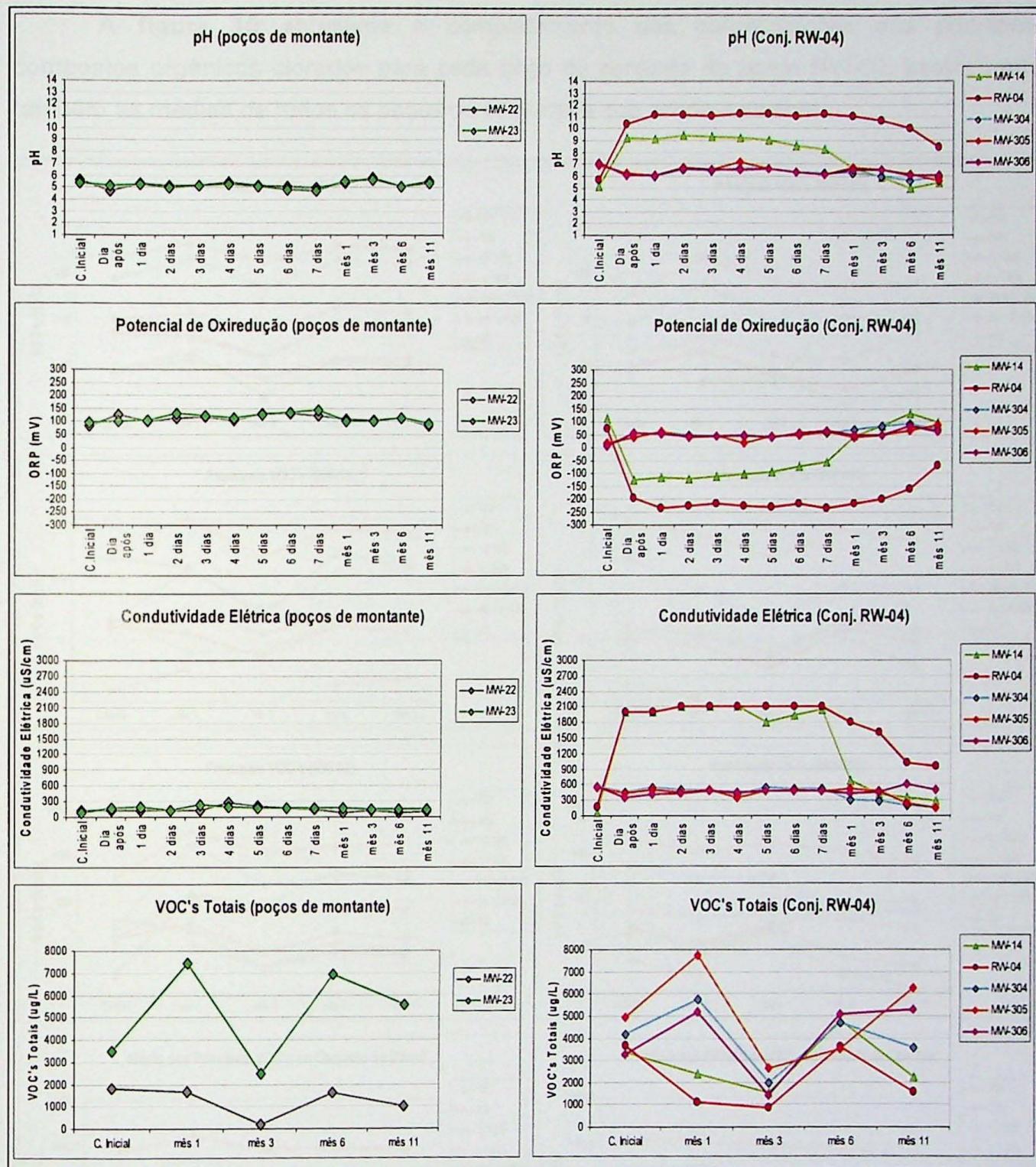


Figura 14: Comparação dos parâmetros analisados ao longo dos monitoramentos (Conj. RW-04)

Dadas as comparações iniciais, serão apresentadas a seguir análises mais pontuais referentes ao conjunto de poços associados ao poço de injeção RW-02, visto que este apresentou melhor dispersão do produto injetado.

Análise dos Principais Compostos no conjunto RW-02

A partir desse momento as análises serão feitas em relação aos poços referentes ao conjunto RW-02, visto que esse apresentou melhor condição de acesso ao produto injetado.

A figura 15 apresenta o comportamento das concentrações dos principais compostos orgânicos clorados para cada poço do conjunto do ponto RW-02, assim como também as médias de todos os poços do conjunto e dos poços a jusante.

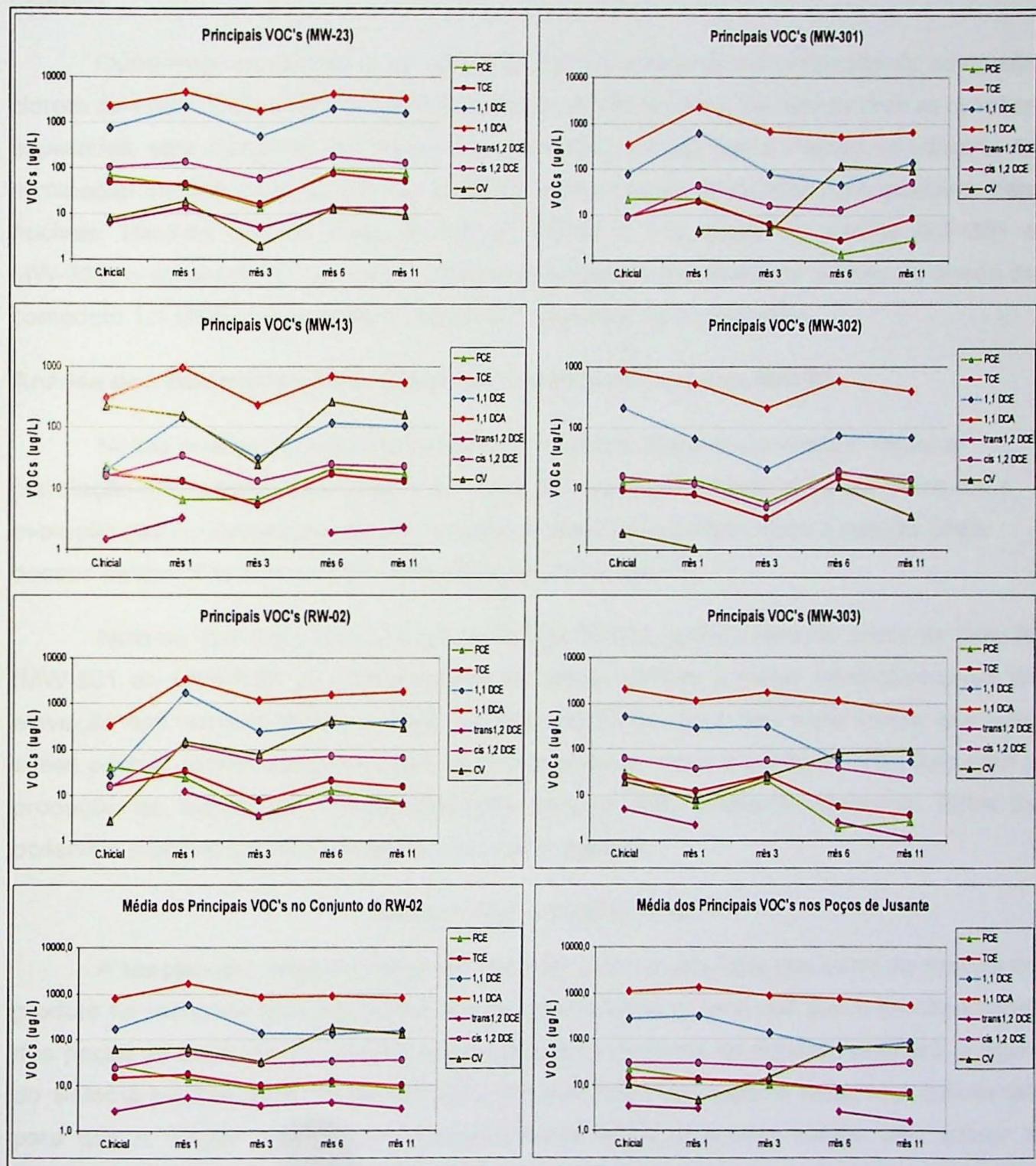


Figura 15: Principais compostos obtidos ao longo dos monitoramentos (conj. RW-02)

Observa-se que as maiores concentrações estão relacionadas aos compostos 1,1DCA e 1,1 DCE, e que as mesmas não apresentam queda expressiva ao longo dos monitoramentos. Apesar das variações das concentrações, não se notam quedas seqüenciais que indicariam a atuação efetiva do produto.

Mesmo os compostos que apresentam queda quando comparados à caracterização inicial, não mostram abatimento substancial de massa quando comparados aos resultados obtidos no ambiente controlado dos testes de tratabilidade, apontados no ítem 4.1.4 deste relatório.

Outro fator importante a ser comentado é o aumento da concentração do composto cloreto de vinila (CV) ao longo das atividades de monitoramento. De acordo com as reações esperadas, este composto não deveria ser formado, uma vez que o método se utilizaria da eliminação de dois cloretos por vez, evitando a degradação seqüencial para espécies mais nocivas. Nota-se que no poço de injeção RW-02 e nos poços de jusante MW-301 e MW-303, o composto CV apresenta padrão de ascensão espelhado no padrão de queda do composto 1,1 DCE, o que poderia indicar outro caminho de degradação.

Análise dos parâmetros ferro dissolvido e sulfato no conjunto RW-02

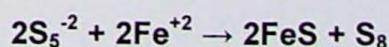
Nessa análise os dados serão tratados de forma diferente pra melhor ilustrar a correlação das reações esperadas e dos produtos envolvidos. Assim, a **figura 16** mostra a evolução das concentrações de ferro bivalente dissolvido e sulfato, dada a relação direta desses parâmetros com reação esperada ilustrada no ítem 3.2.

Nota-se que tanto para o poço de injeção RW-02, quanto para os poços de jusante (MW-301 ao MW-303), as concentrações de sulfato tendem a sofrer alterações antes da elevação das concentrações de ferro bivalente dissolvido. Esse fato pode indicar que para esses pontos, outras reações podem estar ocorrendo de modo a consumir o produto para a produção de sulfato sem necessariamente produzir ferro bivalente dissolvido. Entre as possíveis reações paralelas, pode se destacar a seguinte:



A reação com oxigênio dissolvido pode ser considerada visto que parte da mistura do produto foi realizada com água provinda do sistema público, uma vez que o bombeamento dos poços da área não se mostrou suficiente. Diferentemente da água do aquífero, a água do sistema público pode ter apresentado concentrações de oxigênio dissolvido suficientes para que a reação paralela citada anteriormente tenha produzido sulfato sem alterar a concentração de ferro bivalente dissolvido.

Outra possibilidade de reação paralela pode estar relacionada a formação do sulfeto de ferro a partir do consumo do ferro reduzido (bivalente) e polissulfeto, como ilustrado a seguir:



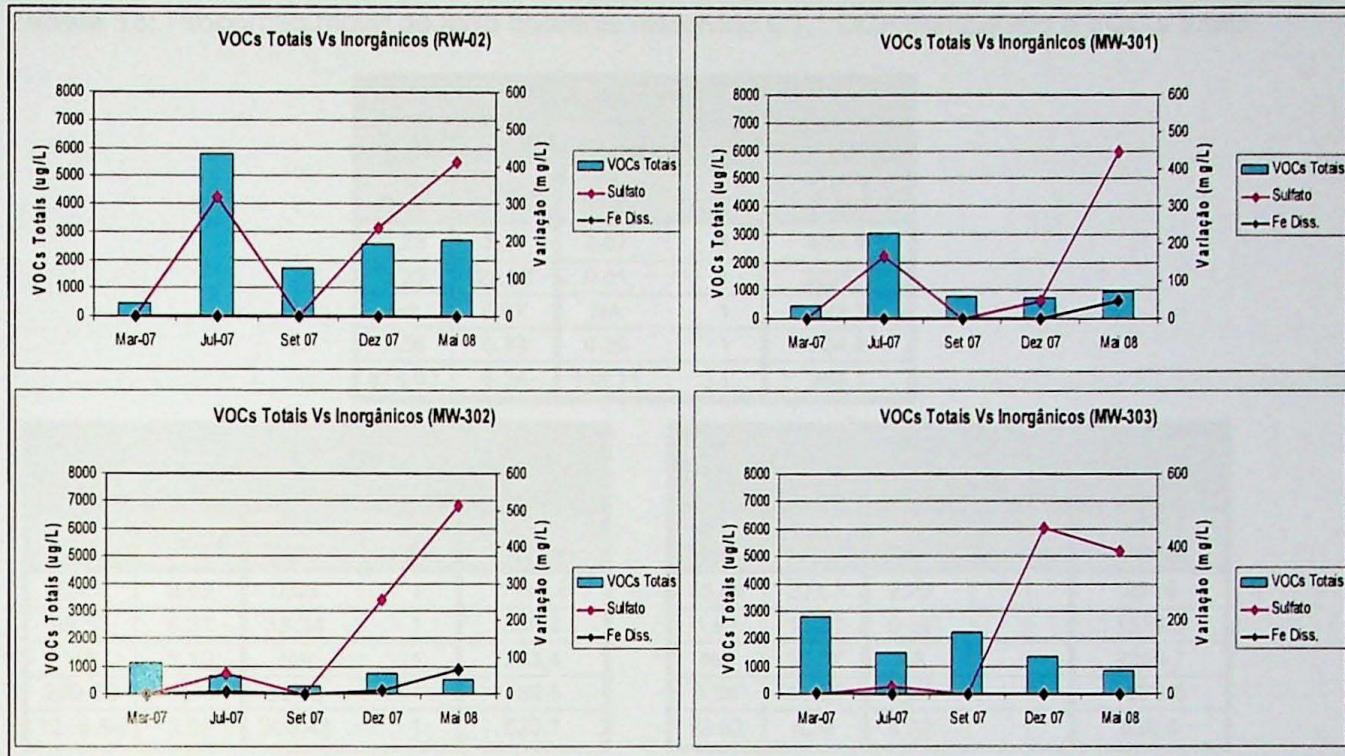


Figura 16: Comparação concentrações de ferro dissolvido e sulfato ao longo dos monitoramentos

Embora da possibilidade de reações paralelas, foi observado para esses poços que o ferro bivalente dissolvido apareceu de forma mais consistente apenas na última etapa de monitoramento (onze meses após a injeção). Porém, ainda que presente, o ferro bivalente dissolvido não aparenta ter reagido de forma efetiva na degradação dos contaminantes ao final do monitoramento. Apesar do aumento da concentração do ferro bivalente dissolvido nessa etapa, não foi programada a continuação do monitoramento de desempenho.

A **tabela 13** mostra as proporções molares entre o ferro bivalente dissolvido e o 1,1 DCA, contaminante mais expressivo entre os compostos de interesse.

Observa-se que quando presente em proporções maiores, o ferro bivalente dissolvido parece não ser efetivo na degradação dos compostos orgânicos voláteis. Dessa forma, é possível inferir que a reação esperada não acontece similarmente ao que foi observado nos testes de tratabilidade, onde quase todo o contaminante foi degradado em cerca de 120 dias (ítem 4.1.4).

Tabela 13: Proporção molar de ferro bivalente dissolvido e 1,1 DCA comparado a VOC's totais

MW-301			
($\mu\text{mol/L}$)		Proporção molar	($\mu\text{g/L}$)
Fe Diss.	1,1DCA	Fe Diss. : 1,1 DCA	VOC's Totais
0,23	3,37	0,07 : 1	464,9
0,23	22,93	0,01 : 1	3035,5
NA	6,67	NA : 1	792,3
2,06	5,33	0,39 : 1	724,8
879,93	6,34	138,71 : 1	956,1

MW-302			
($\mu\text{mol/L}$)		Proporção molar	($\mu\text{g/L}$)
Fe Diss.	1,1DCA	Fe Diss. : 1,1 DCA	VOC's Totais
0,41	8,59	0,05 : 1	1134,8
98,57	5,37	18,34 : 1	650,3
NA	2,10	NA : 1	293,4
209,68	5,94	35,30 : 1	752,5
1218,64	3,99	305,43 : 1	520,7

MW-303			
($\mu\text{mol/L}$)		Proporção molar	($\mu\text{g/L}$)
Fe Diss.	1,1DCA	Fe Diss. : 1,1 DCA	VOC's Totais
46,59	20,67	2,25 : 1	2816
1,67	11,31	0,15 : 1	1519,9
NA	18,02	NA : 1	2255,7
3,26	11,52	0,28 : 1	1379,5
28,67	6,34	4,52 : 1	830,6

8. CONCLUSÕES

Considerando as interpretações apontadas sobre os resultados obtidos, assim como tendo em mente a proposta inicial do trabalho, foi possível reunir argumentos para a conclusão apresentada a seguir.

Quanto à dispersão do produto no meio aquífero, foi possível notar que apenas o conjunto de poços relacionados ao ponto de injeção RW-02 apresentou efetivo acesso do produto aos poços de jusante. Este fato pode ser atribuído às heterogeneidades locais do meio aquífero, assim como alguma influência da viscosidade relativamente elevada da solução injetada.

Quanto à degradação e abatimento de massa da soma dos compostos orgânicos clorados analisados (VOCs totais), foi possível notar que apesar das variações apresentadas nos primeiros meses do monitoramento de desempenho, não houve redução significativa de VOCs totais quando comparados à caracterização inicial.

Quanto à degradação dos principais contaminantes, notou-se que nos poços onde foi efetivo o acesso do produto injetado (principalmente no conjunto do RW-02) não houve redução significativa dos contaminantes quando se compara os resultados da caracterização inicial com a da última análise do monitoramento de desempenho, onze meses após a injeção. Ainda dentro dessa abordagem observou-se que para o RW-02, assim como para dois de seus poços de jusante (MW-301 e MW-302), ocorreu aumento das concentrações do composto cloreto de vinila. Este aumento se torna um indício de que as reações esperadas não ocorreram, uma vez que de acordo com o método, deveria se

observar a eliminação de dois cloretos por vez, minimizando o aumento de compostos filhos mais nocivos.

Quanto à produção de ferro bivalente dissolvido pela reação esperada, foi notado aumento significativo das concentrações de ferro bivalente dissolvido apenas na última campanha de monitoramento (onze meses após injeção). Também se nota que anteriormente ao ferro bivalente dissolvido, ocorre um aumento significativo das concentrações de sulfato. Embora este último seja um dos produtos da reação esperada, a sua aparição não concomitante ao aumento de ferro bivalente dissolvido pode indicar que outras reações ocorreram paralelamente. Dessa forma, é bastante provável que parte do produto tenha sido consumido sem ter efetivamente contribuído com o aumento de ferro bivalente dissolvido.

Quanto à ocorrência da reação de degradação esperada quando da presença de ferro bivalente dissolvido, foi possível observar que ainda quando presente em proporção molar superior aos contaminantes, o ferro não foi eficaz na degradação, uma vez que não foi obtida redução significativa. A não redução dos contaminantes nesse caso pode indicar que a reação de degradação esperada não ocorreu, ou que a cinética da reação é lenta o suficiente para não ser observada até o 11º mês de monitoramento.

Com base nos resultados deste teste piloto, pode-se afirmar que o método de remediação por redução química não se apresenta eficiente para ser aplicado na escala da área de estudo para o tratamento de todas as plumas de contaminação.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

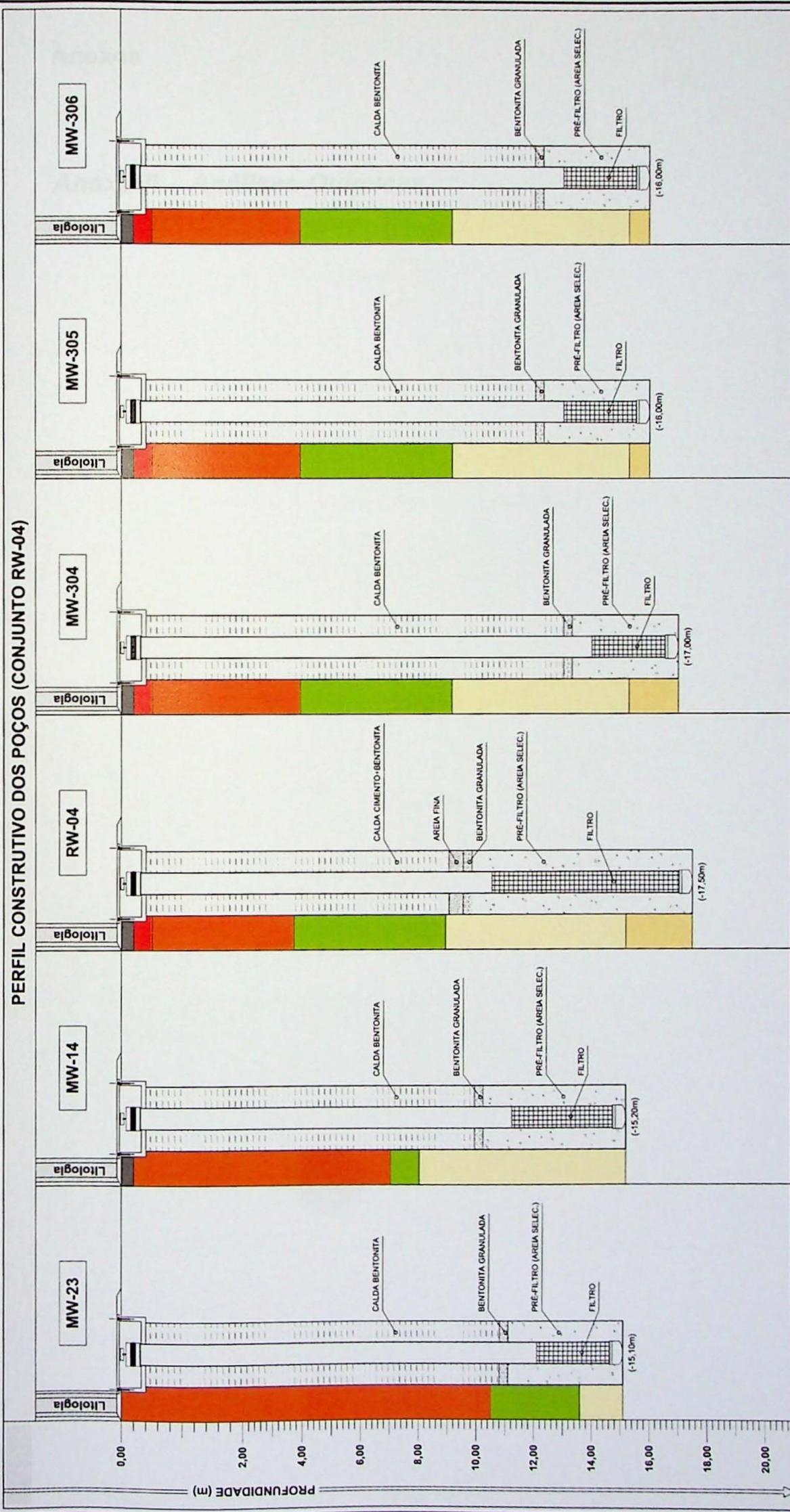
- ARNOLD, W. A. & ROBERTS, A. J. (2000), Pathways and kinetics of chlorinated ethylene and chlorinated acetylene reaction with Fe(0) particles. *Environmental Science and Technology* 34, 1794-1805.
- BARBOSA, O & ALMEIDA, F.F.M. (1949), A série Tubarão na bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo. *Notas Prelim. Est. Div. Geol. Min.*, Rio de Janeiro, DNPM, (40): 1-6.
- BARBOSA, O. & GOMES, F. A. (1958), Pesquisa de petróleo na bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo. *Bol. Div. Geol. Min.*, Rio de Janeiro, DNPM, (171): 1-40.
- BROWN, R. A. (2004), Super charging zero valent iron: combining a soluble chemical reductant with zero valent iron. *Third International Conference on Oxidation & Reduction for Treatment of Soil and Groundwater*, San Diego, CA.
- BROWN, R. A. (2005a), Laboratory evaluation of Biotic/Abiotic attenuation of chlorinated solvents. *The Eighth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium*, Baltimore MD.
- BROWN, R. A. et al. (2006), The Abiotic and Biotic Pathways in Chlorinated Solvent Natural Attenuation. *Fifth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, Monterey, CA.
- BROWN, R. A. (2006a), The technical basis for *in situ* chemical reduction (ISCR). *Fifth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds*, Monterey, CA.
- ERM (2003), Avaliação ambiental fase II (A5037/03.01).
- ERM (2004), Projeto de remediação fase A (B1390/04.01)
- ERM (2005), Investigação adicional fase A (B1638/05.01)
- ERM (2007), Execução das ações propostas pela CETESB (0054451/07.01)
- FERRAZ, F.F.B. e MORTATTI, J. (2003) Análise da relação entre a distribuição espacial da precipitação e os componentes do escoamento em bacia tropical de mesoescala. *Revista GEOUSP*. São Paulo, V.13, (http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/geousp/Geousp13/Geousp13_Ferraz_Mortatti.htm)
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981). Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. v.1. Escala 1: 500.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981). Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. v.1. Escala 1: 500.000.

- KRIEGMAN-KING, M. R. & REINHARD, M. (1994), Transformation of carbon tetrachloride by pyrite in aqueous solution. *Environment Science and Technology* 28, 292-700.
- MATHESON, L. J. & TRATNYEK, R. G. (1994), Reductive dehalogenation of chlorinated methanes by iron metal. *Environment Science and Technology* 28 (12): 2045-2053.
- ROCHA, G. & FERNANDES, A.J. 2005. O mapa. In: ROCHA, G.; FERNANDES, A.J.; MANCUSO, M., *Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo*, DAEE/IG/CPRM/IPT, São Paulo.
- SALGADO, P.E.T., e MARONA, H.R.N., (2004), *Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Solventes Clorados*, Série Caderno de Referência Ambiental, V.15. 510p.
- SOARES, P. C. (1972b), O limite glacial-pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *An. Acad. Brás. Ci.*, Rio de Janeiro, 44(supl.): 333-341.
- TIEDJE, J. M. & MOHN, W. W, 1992, "Microbial Reductive Dehalogenation" *Microbiological Reviews*, Vol. 56, No. 3 P. 482-507
- VOGEL, T.M., CRIDDLE, C.S. and McCARTY, P.L., 1987. "Transformations of Halogenated Aliphatic Compounds," *Environ. Sci. Technol.* 21 (8), 722-736.
- OLIVEIRA et. al, 1999, *Mapa pedológico do Estado de São Paulo* EMBRAPA / IAC, 1999, São Paulo. Escala 1: 500.000.

Anexos

Anexo I – Perfis Construtivos

PERFIL CONSTRUTIVO DOS POÇOS (CONJUNTO RW-04)



LEGENDA

- Concreto.
- Areia: Argila silto arenosa variações mais siltosas e arenosas, presença de entulho e raízes, cor marrom a vermelho.
- Solo Natural: Silt arenoso (areia fina), pouco argiloso, marrom avermelhado.
- Alteração de Rocha: Silt arenoso, com areia fina, laminado, variegado (porções brancas a roxas, vermelhas, e cinza amareladas).
- Alteração de Rocha: Silt arenoso, compacto, amarelo, com porções roxas, ocorrência de fraturamentos.

AN-IB	Anexo IB - Perfis construtivos (conjunto RW-04)
PROJETO	Trabalho de Formatura - TF/08 - 43

Anexos

Anexo II – Análises Químicas

Anexo 2A-1 - Resultados das análises de VOCs dos Tanques de Injeção

Compostos	CETESB	Port.nº 518/04	D.R.F.	Água Subt. (µg/L)	Água Subt. (µg/L)	Água Subt. (µg/L)	Água Subt. (µg/L)	"Tap Water" (µg/L)	"Tap Water" (µg/L)	Tanque 01 (RW-02)	Tanque 02 (RW-04)
	Intervenção	Potabilidade	Intervenção								
Benzeno	5	5	30			3,50E-01		< 1		< 1	
Bromodiclorometano	-	100	-			1,80E-01		< 1		< 1	
Bromofórmio	-	-	-			8,50E+00		< 1		< 1	
Bromometano	-	-	-			8,70E+00		< 5		< 5	
Dissulfeto de carbono	-	-	-			1,00E+03		< 1		< 1	
Tetracloreto de carbono	2	2	-			1,70E-01		< 1		< 1	
Clorobenzeno	700	-	180			1,10E+02		< 1		< 1	
Cloroetano	-	-	-			4,60E+00		< 1		< 1	
Clorofórmio	200	100	400			1,70E-01		< 1		< 1	
Clorometano	-	-	-			1,60E+02		< 1		< 1	
Dibromoclorometano	-	100	-			1,30E-01		< 1		< 1	
1,1-Dicloroetano	280	-	900			8,10E+02		45		37	
1,2-Dicloroetano	10	10	400			1,20E-01		< 1		< 1	
1,1-Dicloroeteno	30	30	10			3,40E+02		12		14	
cis-1,2-Dicloroeteno	50**	-	20			6,10E+01		1,3		< 1	
trans-1,2-Dicloroeteno	50**	-	20			1,20E+02		< 1		< 1	
1,2-Dicloropropano	-	-	80			1,60E-01		< 1		< 1	
1,3-Dicloropropano	-	-	-			1,20E+02		< 5		< 5	
1,1-Dicloropropeno	-	-	-			-		< 1		< 1	
cis-1,3-Dicloropropeno	-	-	-			-		< 1		< 1	
Etilbenzeno	300	200	150			1,30E+03		< 1		< 1	
Diclorometano	20	20	1000			4,30E+00		< 1		1,3	
4-Metil-2-pentanona	-	-	-			2,00E+03		< 5		< 5	
Estireno	20	20	300			1,60E+03		< 1		< 1	
1,1,2,2-Tetracloroetano	-	-	-			5,50E-02		< 1		< 1	
Tetracloroeteno	40	40	40			1,00E-01		< 1		1,2	
Tolueno	700	170	1000			7,20E+02		< 1		< 1	
1,1,1-Tricloroetano	280	-	300			3,20E+03		< 1		< 1	
1,1,2-Tricloroetano	-	-	130			2,00E-01		< 1		< 1	
Tricloroeteno	70	70	500			2,80E-02		< 1		3,7	
Cloreto de vinila	5	5	5			2,00E-02		1,4		< 1	
Xilenos (total)	500	300	70			2,10E+02		< 3		< 3	
VOCs Totais	-	-	-			-		59,70		57,20	

Portaria nº 518/04: Padrão de Potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

D.R.F.: Dutch Reference Framework

PRGs: Preliminary Remediation Goals (Region IX)

Anexo 2A-2 - Resultados das análises de VOCs (conjunto RW-02)

Compostos	CETESB		Portaria 518/04		D.R.F.		PRGs		MW 23		MW 23		MW 23		MW 23		MW 13		MW 13		MW 13		RW-02		RW-02		RW-02			
	Intervenção	Água Subst. (ug/L)	Água Subst. (ug/L)	Potabilidade	Água Subst. (ug/L)	Água Subst. (ug/L)	C. Inicial	1º mês (mar-07)	6º mês (dez-07)	3º mês (set-07)	1º mês (mar-07)	11º mês (mai-08)	C. Inicial	1º mês (mai-07)	6º mês (dez-07)	3º mês (set-07)	1º mês (mai-07)	11º mês (mai-08)	C. Inicial	1º mês (mai-07)	6º mês (dez-07)	3º mês (set-07)	1º mês (mai-07)	11º mês (mai-08)						
Benzeno	-	100	-	1.80E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Bromodiflorometano	-	-	-	8.50E+00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Bromometano	-	-	-	8.70E+00	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				
Dissulfeto de carbono	-	-	-	1.00E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Tetracloreto de carbono	2	2	-	1.70E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Clorobenzeno	700	-	180	1.10E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Cloroetano	-	-	-	4.60E+00	61	82	34	66	23	291	135	17	55	44	3	115	39	36	25	25	25	25	25	25	25	25				
Clorofetano	200	-	100	400	6.5	6.5	4	6.9	7.4	2.3	<1	1.2	1.1	1	2.6	<1	1	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10				
Clorometano	-	-	-	1.60E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<10	<10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
Dibromoclorometano	-	100	-	1.30E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				
1,1-Dicloroetano	280	-	900	8.10E+02	2370	4800	1780	4310	3510	310	978	234	696	543	336	3450	1175	1530	1810	1810	1810	1810	1810	1810	1810	1810				
1,2-Dicloroetano	10	10	400	1.20E-01	5.3	7.4	7	6.4	6.6	2.6	5.3	3.2	4.7	<1	10	7.4	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13			
cis-1,2-Dicloroeteno	30	30	10	3.40E+02	745	2200	496	2058	1640	20	145	31	118	105	27	1750	242	349	406	406	406	406	406	406	406	406	406			
trans-1,2-Dicloroeteno	50**	-	20	6.10E+01	106	138	58	179	132	16	34	13	25	23	15	126	56	71	63	63	63	63	63	63	63	63	63			
1,2-Dicloropropano	-	-	-	20	1.20E+02	6.6	14	4.9	14	1.5	3.4	<1	2.3	<1	12	3.6	8	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6				
1,3-Dicloropropano	-	-	-	80	1.80E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
1,1,2-Dicloropropano	-	-	-	1.20E+02	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
cis-1,3-Dicloropropano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
Etilbenzeno	300	-	200	150	1.30E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.2	2.3	1.6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1			
Diclorometano	20	20	1000	4.30E+00	2.5	8.5	10	<1	4.7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
4-Metil-2-pentanona	-	-	-	2.00E+03	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
Estireno	20	20	300	1.60E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
1,1,2,2-Tetracloroetano	-	-	-	5.50E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
Tetracloroetano	40	40	40	1.00E+01	68	41	14	89	76	24	6.5	6.6	21	17	41	24	35	13	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9			
Tolueno	700	170	1000	7.20E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1			
1,1,1-Tricloroetano	280	-	300	3.20E+03	5.6	2	<1	1.7	5.5	1.8	<1	1.5	1.8	<1	1.5	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			
1,1,2,3-Tetracloroetano	-	-	130	2.00E+01	78	98	53	111	96	14	27	15	20	17	11	61	61	68	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44		
Tricloroetano	70	70	500	2.80E+02	49	45	16	75	53	17	13	5.5	17	13	16	33	33	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
Cloreto de vinila	5	5	5	2.00E+02	8.2	19	2	13	9.3	226	160	25	261	162	2.7	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9		
Xilenos (total)	500	300	70	2.10E+02	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	10.6	10.6	3.1	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8		
VOCs Totais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3512.70	7462.70	2478.90	6931.70	5572.10	9427.7	1523.2	353.2	1229.1	937.3	460.2	5778.6	1680.3	2577	6.2

Portaria nº 518/04: Padrão de Probabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DRAFT: Dutch Reference Framework

DRAFT: 2011-2012 Grade 10 English Language Arts

PRGs: Primary Regulators (Kuganathan)

Anexo 2A-2 - Resultados das análises de VOCs (conjunto RW-02)

Compostos	CETESB		Port.nº 518/04		D.R.F.		PRGs		MW 301		MW 301		MW 301		MW 302		MW 302		MW 303		
	Intervenção	CETESB	Água Subt. (ug/L)	Água Subt. (ug/L)	C. Inicial (ug/L)	"Tap Water"		C. Inicial (mai-07)	(mai-07)	6º mês (set-07)		3º mês (dez-07)		(mai-07)	(mai-08)	6º mês (set-07)		(mai-07)	(mai-08)	6º mês (set-07)	
						Intervenção	Intervenção			(mai-07)	(mai-08)	(mai-07)	(mai-08)			(mai-07)	(mai-08)			(mai-07)	(mai-08)
Benzeno	5	5	30	3.50E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bromodiclorometano	-	100	-	1.80E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bromoformio	-	-	-	8.50E+00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bromometano	-	-	-	8.70E+00	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Disulfeto de carbono	-	-	-	1.00E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tetracloreto de carbono	2	2	-	1.70E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clorobenzeno	700	-	180	1.10E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cloroetano	-	-	-	4.60E+00	<1	2.1	2.5	3.9	5.8	3.8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3.1	<1
Cloroformio	200	100	400	1.70E-01	2	3.5	1	<1	<1	2.2	<1	1.2	<1	<1	<1	3.7	<1	1.5	<1	<1	<1
Clorometano	-	-	-	1.60E+02	<1	<1	<1	<10	<10	<1	<1	<1	<10	<10	<1	<1	<1	<1	<10	<1	<1
Di bromoclorometano	-	100	-	1.30E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1-Dicloroetano	280	-	900	8.10E+02	334	2270	660	528	628	850	532	532	208	588	295	2046	1120	1784	1140	628	5
1,2-Dicloroetano	10	10	400	1.20E-01	<1	5.2	2.8	3.5	6.7	1.9	1.5	<1	3.7	2.8	7.4	3.5	3.2	8.9	5	5.3	2.7
1,1-Dicloroeteno	30	30	10	3.40E+02	77	601	76	45	138	213	67	21	76	69	516	294	308	57	54	54	54
cis-1,2-Dicloroetano	50**	-	20	6.10E+01	8.7	42	16	13	51	16	12	4.9	19	14	62	36	55	38	23	23	23
trans-1,2-Dicloroeteno	50**	-	20	1.20E+02	<1	4	<1	2.1	1.8	<1	<1	<1	<1	<1	4.8	2.2	<1	2.6	1.2	1.2	1.2
1,2-Dicloropropeno	-	-	80	1.60E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,3-Dicloropropano	-	-	-	1.20E+02	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
1,1-Dicloropropeno	-	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
cis-1,3-Dicloropropeno	-	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Etilbenzeno	300	200	150	1.30E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Diclorometano	20	20	1000	4.30E+00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4-Metil-2-pentanona	-	-	-	2.00E+03	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Estireno	20	20	300	1.60E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,2,2-Tetracloroetano	-	-	-	5.50E-02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tetracloroeteno	40	40	1000	1.00E-01	22	21	5.6	1.4	2.8	13	14	6	20	12	32	5.9	20	19	26	26	26
Tolueno	700	170	-	7.20E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,1-Tricloroetano	280	-	300	3.20E+03	3.9	1.8	<1	<1	<1	2.9	1.6	<1	<1	3.4	1.4	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,2-Tricloroetano	70	70	500	2.80E-02	9.1	6	2.8	8.1	9.3	3.3	15	8.8	24	12	26	5.5	26	5.5	26	26	26
Tricloroeteno	5	5	400	2.00E-02	<1	4.6	120	97	1.9	1.1	<1	11	3.6	19	8.3	25	80	92	80	92	80
Clorato de vinila	5	5	300	2.10E+02	<3	3.3	<3	<3	1.2	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	6.7	3	<3	3.3	<3
Xilenos (total)	500	300	70	2.10E+02	-	-	464.9	3035.5	792.3	724.8	956.1	1154.8	650.3	293.4	752.5	520.7	2816	1519.9	2255.7	1379.5	830.6
VOCs Totais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Portaria nº 518/04: Padrão de Potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

D.R.F.: Dutch Reference Framework

PRGs: Preliminary Remediation Goals (Região IX)

Anexo 2A-3 - Resultados das análises de VOCs do (conjunto RW-04)

Portaria nº 518/04: Padrão de Portabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

1086 • *Dutch Reference Framework*

2200-0017-000: *Generalized Goals (Bacon) X*

RGs: Pneumococcal conjugate vaccine

Anexo 2A-3 - Resultados das análises de VOCs do (conjunto RW-04)

Compostos	CETESB		Portnº 618/04		D.R.F.		PRGs		MW 304		MW 304		MW 304		MW 305		MW 305		MW 306		MW 306		
	Intervenção	Potabilidade	Aqua Subt. (ug/L)	Aqua Subt. (ug/L)	C. Inicial	1º mês (mar-07)	3º mês (set-07)	6º mês (dez-07)	11º mês (mar-08)	C. Inicial	1º mês (mar-07)	3º mês (set-07)	6º mês (dez-07)	11º mês (mar-08)	C. Inicial	1º mês (mar-07)	3º mês (set-07)	6º mês (dez-07)	11º mês (mar-08)	C. Inicial	1º mês (mar-07)	3º mês (set-07)	6º mês (dez-07)
Benzeno	5	5	30	3.50E-01	1.4	1.8	<1	1.7	1.3	1.4	1.8	<1	1.1	1.6	<1	1.6	<1	1.5	<1	1.5	<1	1.5	<1
Bromodiclorometano	-	100	-	1.80E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bromoformio	-	-	-	8.50E+00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bromometano	-	-	-	8.70E+00	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Disulfeto de carbono	-	-	-	1.00E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tetracloreto de carbono	2	2	-	1.70E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clorobenzeno	700	-	180	1.10E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cloroetano	-	-	-	4.60E+00	1.8	2.6	4.7	26	8.5	3.4	2	32	23	8.3	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
Cloroformio	200	100	400	1.70E+01	8.6	8.6	9.9	6.4	8.1	7.7	3.8	7.4	8.8	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Clorometano	-	-	-	1.60E+02	<1	<1	<1	<1	<10	<1	<1	<1	<10	<1	<10	<1	<10	<1	<10	<1	<10	<1	<10
Dibromoclorometano	-	100	-	1.30E+01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1-Dicloroetano	280	-	900	8.10E+02	2575	3600	1390	2890	2670	5000	1910	2440	3850	1630	2790	1035	2960	1035	2960	1035	2960	1035	2960
1,2-Dicloroetano	10	10	400	1.20E+01	4.7	6.6	6.3	4.5	4.5	4	5.9	3.1	5.7	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
1,1-Dicloroeteno	30	30	10	3.40E+02	1460	2000	540	1440	1040	2110	2800	620	888	2240	1515	2250	370	1640	2160	1640	2160	1640	2160
cis-1,2-Dicloroeteno	50**	-	20	6.10E+01	38	49	24	60	34	46	47	21	45	47	37	44	44	64	64	64	64	64	64
trans-1,2-Dicloroeteno	50**	-	20	1.20E+02	11	16	4.4	17	8.3	15	17	5.5	12	15	13	16	16	14	14	14	14	14	14
1,2-Dicloropropano	-	-	80	1.60E+01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,3-Dicloropropano	-	-	-	1.20E+02	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
1,1,1-Dicloropropeno	-	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
cis-1,3-Dicloropropeno	-	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Etilbenzeno	300	200	200	150	-	-	1.30E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Diclorometano	20	20	1000	4.30E+00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4-Metil-2-pentanona	-	-	-	2.00E+03	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Estireno	20	20	300	1.60E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,2,2-Tetracloroetano	-	-	-	5.50E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tetracloroeteno	40	40	40	1.00E+01	7.4	19	5	16	7.9	6.2	6.7	4.1	10	13	4.3	4.3	4.3	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
Tolueno	700	170	1000	7.20E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,1-Tricloroetano	280	-	300	3.20E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,2-Tricloroetano	-	-	130	2.00E+01	18	26	18	26	22	17	27	14	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Tricloroeteno	70	70	500	2.80E+02	41	42	49	27	59	38	37	41	16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Cloreto de vinila	5	5	5	2.00E+02	3	4	4.7	1.4	50	19	2.8	4.6	2.1	14	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
Xilenos (total)	500	300	70	2.10E+02	<3	3.2	<3	<3	3.8	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
VOCs Totais	-	-	-	-	4169.90	5779.50	2005.30	4685.70	3570.30	4945.10	3570.30	4945.10	3570.30	4945.10	3570.30	4945.10	3570.30	4945.10	3570.30	4945.10	3570.30	4945.10	

Portaria nº 518/04: Padrão de Rotabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

D.R.F.: Dutch Reference Framework

PRGs: Preliminary Remediation Goals (Region IX)

Anexo 2A-4 - Resultados das análises de VOCs para controle de qualidade

Compostos	CETESB		Portn° 518/04		D.R.F. (ug/L)	Água Subt. (ug/L)	Água Subt. (ug/L)	PRGs (ug/L)	DPC (RW-04)	BCE	DPC-01 (MW-14)	BCO	BCE	DPC (MW-304)	BCO	BCE	DPC (MW-306)	BCO	BCE	DPC (MW-13)	BCO	BCE																
	Intervenção		Intervenção																																			
	Intervenção	Potabilidade	Intervenção	Potabilidade																																		
Benzeno	5	5	30	30	3.50E-01	1.2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.5	<1	<1	<1																	
Bromodiclorometano	-	100	-	-	1.80E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.6	2.2	<1	<1																	
Bromofórmio	-	-	-	-	8.50E+00	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
Bromometano	-	-	-	-	8.70E+00	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5																	
Dissulfeto de carbono	-	-	-	-	1.00E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
Tetracloreto de carbono	2	2	-	-	1.70E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
Clorobenzeno	700	-	180	-	1.10E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
Cloroetano	-	-	-	-	4.60E+00	7.7	<1	<1	<1	2.3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.8	<1	47	<1																	
Clorofórmio	200	100	400	400	1.70E-01	4.5	6.7	18	3.4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5.7	4.8	21	12																	
Clorometano	-	-	-	-	1.60E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<10	<10	<10	<10	<10																	
Dibromoclorometano	-	100	-	-	1.30E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
1,1-Dicloroetano	280	900	8.10E+02	2285	<1	1.480	<1	<1	<1	1560	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2620	<1	6.7	503	<1																	
1,2-Dicloroetano	10	400	1.20E-01	4.8	<1	<1	1.7	<1	<1	3.5	<1	<1	5.4	<1	<1	5.1	<1	<1	<1	<1	<1																	
1,1-Dicloroeteno	30	30	10	3.40E+02	1185	<1	<1	500	<1	<1	586	<1	<1	1200	<1	<1	8.6	99	<1	<1	<1																	
cis-1,2-Dicloroeteno	50..	-	20	6.10E+01	27	<1	<1	13	<1	<1	17	<1	<1	60	<1	<1	23	<1	<1	<1	<1																	
trans-1,2-Dicloroeteno	-	-	20	1.20E+02	8.3	<1	<1	3.7	<1	<1	3.7	<1	<1	15	<1	<1	2.4	<1	<1	<1	<1																	
1,2-Dicloropropano	-	-	80	1.60E-01	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	15	<1	<1	<1	<1																	
1,3-Dicloropropano	-	-	-	1.20E+02	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5																	
1,1-Dicloropropeno	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
cis-1,3-Dicloropropeno	-	-	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
Étilbenzeno	300	200	150	1.30E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	15	<1	1.2	<1	<1																	
Diclorometano	20	20	1000	4.30E+00	2.5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
4-Methylpentanona	-	-	-	2.00E+03	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5																	
Étileno	20	20	300	1.60E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
1,1,2,2-Tetracloroetano	-	-	-	5.50E-02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
Tetracloroeteno	-	40	40	1.00E-01	13	<1	<1	8.3	<1	<1	3.3	<1	<1	11	<1	<1	17	<1	<1	<1	<1																	
Tolueno	700	170	1000	7.20E+02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1																	
1,1,1-Tricloroetano	280	-	300	3.20E+03	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.8	<1	<1	<1																	
1,1,2-Tricloroetano	-	-	130	2.00E-01	13	<1	<1	7.5	<1	<1	13	<1	<1	22	<1	<1	16	<1	<1	<1	<1																	
Tricloroeteno	70	70	500	2.60E-02	26	<1	<1	13	<1	<1	12	<1	<1	53	<1	<1	12	<1	<1	<1	<1																	
Cloroeteno de vinila	5	5	2.00E-02	4.3	<1	<1	<1	1.4	<1	<1	11	<1	<1	145	<1	<1	145	<1	<1	<1	<1																	
Xilenos (Total)	500	300	70	2.10E+02	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3																	
VOCs Totais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.70	4007.60	22.80	43.50	876.00																	
																					12.00																	

Portaria nº 518/04: Padrão de Probabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde
 CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
 D.R.F.: Dutch Reference Framework
 PRGs: Preliminary Remediation Goals (Region IX)

DPC: Amostra duplicata
 BCO: Banco de Campo
 BCE: Banco de Equipamento

Anexo 2A-5 - Resultados das demais análises (conjunto RW-02)

Compostos	CETESB	Port.nº 518/04	D.R.F.	PRGs	MW 23	MW 23	MW 23	MW 23	MW 23	MW 13	MW 13	MW 13	MW 02	RW 02	RW 02	
					Água Subl.(mg/L)	Água Subl.(mg/L)	Água Subl.(mg/L)	C. Inicial	1º mês	6º mês	3º mês	C. Inicial	1º mês	6º mês	3º mês	
Ferro Dissolvido	0,3	250	-	Tap Water ^a	1,10E+01	-	-	(mar-07)	(set-07)	(dez-07)	(mai-08)	(set-07)	(mai-08)	(dez-07)	(mai-08)	
Sulfato	-	-	-	Intervenção	-	-	-	-	-	-	<0,0001	0,045	5,1	2,7	NA	0,024
Alcalinidade Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	<1	<2	57	NA	0,022
RedEq	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	13	NA	26,4	12,3	0,06
											11	90	NA	20	<5	239
											17	9	NA	200	NA	413
											5,2	<1	11	8,4	2,2	218
											3,1	7,2	11	1,6	1,5	48
														2,5	1,5	218
														228	252	48
															7,5	7,5

Compostos	CETESB	Port.nº 518/04	D.R.F.	PRGs	MW 301	MW 301	MW 301	MW 301	MW 301	MW 302	MW 302	MW 302	MW 302	MW 303	MW 303	MW 303
					Água Subl.(mg/L)	Água Subl.(mg/L)	Água Subl.(mg/L)	C. Inicial	1º mês	6º mês	3º mês	C. Inicial	1º mês	6º mês	3º mês	
Ferro Dissolvido	0,3	250	-	Tap Water ^a	1,10E+01	-	-	(mar-07)	(set-07)	(dez-07)	(mai-08)	(set-07)	(mai-08)	(dez-07)	(mai-08)	
Sulfato	-	-	-	Intervenção	-	-	-	-	-	-	0,013	0,013	0,115	5,5	NA	0,093
Alcalinidade Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<5	169	NA	49,3	447	1,6
RedEq	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125	96	NA	69	57	NA
											2	235	2,2	55	1	NA
														27,1	580	NA
														5	55,3	5
														1	1,2	1,2
														213	2,9	2,9
														55	390	390
														129	1	1

Portaria nº 518/04: Padrão de Potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

D.R.F.: Dutch Reference Framework

PRGs: Preliminary Remediation Goals (Região IX)

^a Não avaliado

NA não avaliado

Anexo 2A-6 - Resultados das demais análises (conjunto RW-04)

Compostos	CETESB		Port.nº 518/04		D.R.F.	PRGs	MW 22		MW 22		MW 22		MW 22		MW 14		MW 14		MW 14		RW-04			
	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)			C. Inicial	1º mês	3º mês	6º mês	9º mês	11º mês	C. Inicial	1º mês	3º mês	6º mês	9º mês	11º mês	C. Inicial	1º mês	3º mês	6º mês	9º mês	11º mês
Ferro Dissolvido	0,3	0,3	0,3	0,3	Intervenção	Tap Water ^a	(mar-07)	(set-07)	(out-07)	(dez-07)	(mai-08)	(mai-08)	(mar-07)	(set-07)	(out-07)	(dez-07)	(mai-08)	(set-07)	(out-07)	(dez-07)	(mai-08)	(set-07)	(dez-07)	
Sulfato	-	250	-	250	-	-	0,013	0,134	NA	0,015	0,125	1,7	0,033	NA	2,3	12,6	0,828	0,01	NA	0,018	0,044	NA	0,044	
Alcalinidade Total	-	-	-	-	-	-	1,10E+01	-	2,9	13	3,9	3,2	<1	92	NA	115	131	<1	1624	NA	264	472	NA	NA
RadEq	-	-	-	-	-	-	-	-	28	6,6	NA	<5	10	11	4,5	NA	<5	62	4300	NA	65	143	NA	NA
							-	-	3,1	2,2	2,6	2,2	<1	3,2	201	16	34	<1	3,6	54	150	387	1,3	NA

Compostos	CETESB		Port.nº 518/04		D.R.F.	PRGs	MW 304		MW 304		MW 304		MW 304		MW 305		MW 305		MW 305		MW 306			
	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)			C. Inicial	1º mês	3º mês	6º mês	9º mês	11º mês	C. Inicial	1º mês	3º mês	6º mês	9º mês	11º mês	C. Inicial	1º mês	3º mês	6º mês	9º mês	11º mês
Ferro Dissolvido	0,3	0,3	0,3	0,3	Intervenção	Tap Water ^a	(mar-07)	(set-07)	(out-07)	(dez-07)	(mai-08)	(mai-08)	(mar-07)	(set-07)	(out-07)	(dez-07)	(mai-08)	(set-07)	(out-07)	(dez-07)	(mai-08)	(set-07)	(dez-07)	
Sulfato	-	250	-	250	-	-	1,10E+01	-	<5	193	NA	1,8	3	181	NA	<1	1,4	7,1	1441	NA	63,8	95,7	NA	NA
Alcalinidade Total	-	-	-	-	-	-	-	-	3,16	6,2	NA	10	16	273	3,3	NA	73	23	318	42	NA	79	30	NA
RadEq	-	-	-	-	-	-	-	-	9	<1	2,7	4,1	1,5	10	<2	2,3	6,2	1,2	6,5	110	16	62	<1	NA
							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NA

Portaria nº 518/04: Padrão de Polubioide estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

D.R.F.: Dutch Reference Framework

PRGs: Preliminary Remediation Goals. (Regon IX)

^a Não estabelecido

NA: não analisado

Anexo 2A-6 - Resultados das demais análises para controle de qualidade

Compostos	CETESB		Port.nº 518/04		D.R.F.	PRGs	DPC (RW-04)	BCE	DPC (MW-14)	BCO	BCE	DPC (MW-304)	BCO	BCE	DPC (MW-306)	BCO	BCE	DPC (MW-13)	BCO	BCE	
	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)	Água Subf.(mg/L)																	
Intervenção	Potabilidade	Intervenção	Potabilidade	Intervenção	Potabilidade	"Tap Water"	(mar-07)	(mai-07)	3º mês	6º mês	11º mês										
Ferro Dissolvido	0,3	-	-	-	0,3	1,10E+01	0,572	0,009	0,079	< 0,0001	< 0,0001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	13,5	NA	<0,0001
Sulfato	-	250	-	-	-	-	< 1	< 1	198	< 1	< 1	NA	NA	NA	NA	92,1	NA	NA	12,8	NA	<1
Alcalinidade Total	-	-	-	-	-	-	62	< 5	132	< 5	< 5	NA	NA	NA	NA	49	NA	NA	<5	NA	<5
RedEq	-	-	-	-	-	-	4,8	< 1	120	< 1	< 1	3,4	NA	NA	NA	60	1,3	1,3	<1	<1	<1

Portaria nº 518/04 : Padrão de Potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

D.R.F.: Dutch Reference Framework

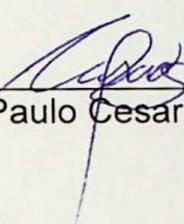
PRGs: Preliminary Remediation Goals (Region IX)

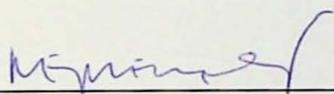
- Não estabelecido

NA: não analisado

DOAÇÃO	_____
IGC / USP	
Data:	10/02/09

De acordo,


Aluno: Paulo Cesar da Silva Casado


Orientador: Prof. Dr. Reginaldo A. Bertolo

São Paulo, 10 de novembro de 2008.

