

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

**IMPLANTAÇÃO DE BARREIRAS PERMEÁVEIS REATIVAS COM CAPACIDADE DE
DEGRADAÇÃO DE MICROORGANISMOS EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.**

(TF-07/26)

Aluno: Marcus Sangiorge Ucci

Orientador:

**Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata
(GSA)**

Co-orientadora:

Alexandra Suhogusoff

**TF
U16
MS.i**

**São Paulo
2007**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024319

**IMPLANTAÇÃO DE BARREIRAS PERMEÁVEIS REATIVAS COM CAPACIDADE DE
DEGRADAÇÃO DE MICROORGANISMOS EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.**

(TF-07/26)



Aluno: Marcus Sangiorge Ucci

Orientador:

**Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata
(GSA)**

Co-orientadora:

Alexandra Suhogusoff

São Paulo

2007

ÍNDICE

RESUMO.....	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMENTOS	5
INTRODUÇÃO	6
METAS E OBJETIVOS.....	7
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	7
<i>Hidrogeologia Regional.....</i>	<i>8</i>
LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	10
<i>Organismos Patogênicos</i>	<i>10</i>
<i>Fases geoquímicas de rejeitos domésticos.....</i>	<i>11</i>
<i>Comportamento de microorganismos em meios aquíferos</i>	<i>11</i>
<i>Mecanismos de fixação de microorganismos patogênicos.....</i>	<i>14</i>
<i>Biotraçadores.....</i>	<i>16</i>
<i>Sistemas de Barreiras Permeáveis Reativas</i>	<i>17</i>
<i>Escória de Siderúrgica (BOF)</i>	<i>18</i>
MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
<i>Definição das áreas para implantação das fossas</i>	<i>18</i>
<i>Desenvolvimento dos pan-lisímetros.....</i>	<i>19</i>
<i>Design das BRs e instalação das fossas</i>	<i>21</i>
Fossa Alternativa	21
Fossa de Controle.....	25
<i>Campanhas de amostragem</i>	<i>27</i>
<i>Preservação das amostras.....</i>	<i>28</i>
DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	30
<i>Cronograma Geral do Projeto</i>	<i>30</i>
<i>Dificuldades encontradas.....</i>	<i>30</i>
RESULTADOS OBTIDOS	31
<i>Parâmetros físicos relevantes.....</i>	<i>31</i>
pH.....	31
Eh	33
Alcalinidade.....	34
Temperatura	35
Condutividade elétrica.....	37
<i>Contagem Microrgânica</i>	<i>39</i>
INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
<i>Parâmetros físicos relevantes.....</i>	<i>40</i>
<i>Contagem Microrgânica</i>	<i>41</i>
CONCLUSÕES.....	41

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXOS.....	48

RESUMO

A necessidade do desenvolvimento de um sistema sanitário alternativo *in situ* para comunidades carentes, que atenua a ação de microorganismos patogênicos em curtas distâncias, torna-se cada vez mais urgente devido à elevada incidência de doenças relacionadas à água contaminada. Esta situação é agravada nos casos em que se verifica alta densidade populacional, como em favelas, onde a captação muitas vezes se faz por poços cacimba mal construídos, próximos a fossas negras.

Frente a esse problema, este projeto objetivou auxiliar no desenvolvimento de um sistema séptico melhorado, baseado na instalação de uma barreira permeável reativa, que promovesse a degradação de microorganismos patogênicos (bactérias e vírus) advindos dos efluentes de uma fossa negra doméstica. O material reagente é um tipo de escória de alto forno siderúrgico (*BOF slag*) com forte potencial de adsorção (e remoção) de microorganismos. Duas fossas piloto foram construídas e monitoradas, uma melhorada e outra para controle, no Jardim Santo Antônio, zona sul do município de São Paulo, para avaliação da eficiência desta estratégia de remediação.

Para a conclusão deste projeto, foram coletadas amostras em três campanhas ao longo de 4 meses de monitoramento, nas quais foram analisados tanto parâmetros físicos básicos como pH, Eh e etc. até contagens microrgânicas avaliando determinadas espécies biocoloidais que serviram como biotraçadores. Destas, podem ser citadas as bactérias heterotróficas, coliformes totais e fecais, *C. perfringens*, entre outras.

A partir das avaliações destes resultados, ponderou-se que a barreira permeável reativa exerce bem sua função, degradando a carga bacteriana, gerada a partir do efluente de descarga, a uma eficiência superior a 90%.

ABSTRACT

The need to develop an in situ sanitation system for poor communities, that attenuate pathogenic microorganisms within short distance in the subsurface, has been more urgent due to the elevated incidence of illnesses related to contaminated water. This situation is aggravated in cases where there is a high population density, such as in favelas, and where water is obtained from hand-dug wells that are poorly constructed.

To confront this problem, this project was designed to develop an improved septic system, based on the installation in the subsurface of a reactive permeable barrier, that will increment the degradation of pathogenic organisms (bacteria and viruses) from effluents emanating from domestic septic well effluent. The reactive material is a type of residue produced by basic oxygen furnace steelmaking (BOF slag). Two pilot sanitation systems were constructed and monitored, one which included the alternative design and a second which has no treatment included, which acted as a control for the experiment. The sanitation systems were constructed in Jardim Santo Antônio, in a southern district of the city of São Paulo, to evaluate the efficiency of this strategy for remediation of contaminated groundwater.

For the conclusion of this project, samples throughout campaigns throughout 4 months of monitoring had been collected where as many basic physical parameters had been analyzed as pH, Eh and etc. until microorganic countings evaluating determined biocoloids species that had served as biotracers. Of these, the heterotrophic bacteria can be cited, total and fecal coliforms, *C. perfringens*, among others.

From the evaluations of these results, the bacterial load brought it for effluent of discharge in superior taxes was pondered that the reactive permeable barrier exerts well its function, degrading more than 90% of the total load.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, agradeço à minha família pelo que sou hoje, por todo o carinho, amor e incentivo com que me criaram e aos quais continuam a me ajudar a ser uma pessoa melhor a cada dia.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento dos custos necessários para a realização de todas as etapas do projeto e pela concessão da bolsa de iniciação científica para o presente aluno.

Ao prof. Dr. Ricardo Hirata e à Alexandra Suhogusoff pela oportunidade de trabalhar neste projeto, pela dedicação e por toda a paciência que mostraram para comigo ao longo de todo o desenvolvimento do projeto.

A Jesse Stimson, doutorando da Universidade de Waterloo, por toda a orientação em sua especialidade, companheirismo de campo e revisão na confecção do *abstract* deste relatório.

A Luis Carlos Ferrari por sua ajuda ao longo da execução das campanhas de amostragem, além das inestimáveis observações realizadas ao longo destas, essenciais para a descontração de um ambiente de trabalho.

A Amanda Roncato Batista pelo companheirismo, conversas bem humoradas e troca de informações altamente necessárias para a conclusão deste trabalho.

Aos moradores e vizinhos das casas onde foram construídas as fossas, no Distrito de Parelheiros, pela ajuda no dia-a-dia e pela acolhida carinhosa e atenciosa que nos dispensaram nos dias de trabalho de campo.

A Cetesb, ao CEPAS e ao Laboratório de Microbiologia de USP pelo suporte às análises dos parâmetros físicos e microbiológicos necessários ao projeto.

E por fim aos colegas e amigos da turma de 2003 pela amizade, momentos inesquecíveis durante as aulas, trabalhos de campo, viagens e festas.

INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados ao crescimento urbano desordenado em países como o Brasil têm se tornado cada vez mais evidentes. Este incremento afeta diretamente a qualidade de serviços básicos de saúde, como o suprimento de água e sistemas sanitários.

Segundo um recente estudo publicado pelo PNUD (2006), morrem anualmente no Brasil cerca de 1,8 milhões de crianças devido a doenças relacionadas com águas de baixa qualidade, como diarreia.

Fossas sépticas ou negras são as alternativas mais comuns em áreas pobres e periféricas das grandes cidades desprovidas de redes públicas de esgoto sanitário. Vários estudos, dentre eles Foster & Hirata (1988), têm mostrado a baixa eficiência destes métodos sanitários improvisados, quando instalados em áreas de alta densidade populacional. Aliado a esse fator, nessas áreas, em que não há também sistema público de abastecimento de água encanada, é comum a presença de poços cacimba, os quais muitas vezes apresentam-se mal construídos e muito próximos às fossas.

Esse cenário levou os pesquisadores a elaborarem um projeto (processo Fapesp nº05/00315-5) denominado MINISIS, ou seja, Minimização dos Impactos de Sistemas de Saneamento In Situ, que objetiva a criação de um método alternativo de sistema séptico, que visa atender às necessidades das populações mais carentes, no que concerne à degradação de nutrientes e microorganismos patogênicos em aquíferos livres e vulneráveis. Serão construídas duas fossas, uma melhorada e uma de controle, para o estudo da evolução e degradação de microorganismos e de nitrato, através da implantação de barreiras permeáveis reativas para cada contaminante, constituídas por BOF (escória siderúrgica) e serragem, respectivamente. Inserido no contexto deste projeto maior, está o presente Trabalho de Formatura (processo Fapesp nº06/06562-7), e que tem por fim auxiliar na criação de uma fossa séptica melhorada que atenua adequadamente a carga de microorganismos (bactérias e vírus) presentes nos efluentes domésticos através do uso de uma barreira permeável reativa (BR).

A relevância deste trabalho está fortemente ligada à necessidade de se desenvolver novos métodos de saneamento *in situ* que possam mitigar a contaminação de recursos hídricos subterrâneos para os casos de comunidades que não podem contar com redes públicas de saneamento e abastecimento de água. Espera-se que a fossa melhorada com barreiras reativas possa atenuar a contaminação por microorganismos patogênicos de poços cacimba, que, no contexto da área, muitas vezes encontram-se próximos e a jusante das fossas negras já difundidas, muito devido à falta de espaço e planejamento nesses loteamentos.

METAS E OBJETIVOS

Este Trabalho de Formatura objetiva:

- Auxiliar no desenvolvimento e instalação de uma nova fossa séptica melhorada com o uso de barreiras reativas (em escala piloto) mais eficiente na degradação de microorganismos patogênicos, por meio de sua desativação/adsorção em escória de siderúrgica (BOF).
- Auxiliar no monitoramento do sistema séptico melhorado ao longo de 4 meses, avaliando a sua eficiência.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este projeto será desenvolvido em uma região carente a sul do município de São Paulo, no loteamento Jardim Santo Antônio, situado no Bairro da Barragem, entre os distritos de Parelheiros e Engenheiro Marsilac (sub-prefeitura de Parelheiros), que se assenta sobre uma área de mananciais (sul do braço Taquacetuba da Represa Billings) (Figura 1).



Figura 1. Localização da área de estudo.

Hidrologicamente, a área de estudo está inserida entre as bacias hidrográficas do Alto Tietê (BAT) e da Baixada Santista (BBS). Ela está situada entre os setores montanhosos que constituem a Serra do Mar, que formam os divisores naturais das águas superficiais e subterrâneas, e as várzeas, que são unidades de relevo caracterizadas pela recepção e escoamento das águas superficiais, onde se encontram os reservatórios de Billings e Guarapiranga.

A área da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê é quase idêntica à da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com 5.985km² e 34 municípios. A bacia ocupa apenas 2,7% do território paulista, mas concentra quase 50% da população do Estado, sendo

considerada a mais populosa unidade hidrológica do país. Em 2001, a população residente na bacia era de aproximadamente 17,5 milhões de pessoas, 60% das quais viviam no município de São Paulo (Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2006).

O rio Capivari nasce numa região colínosa e flui inicialmente na direção do rio Tietê (BAT), quase que em paralelo com o rio Embu-Guaçu, convergindo mais de 130° na altura da estação elevatória da SABESP, onde ele passa a correr por um relevo de morros, recebendo inúmeros afluentes de pequeno porte. Nesse trecho, o rio apresenta traçado sinuoso, correndo no sentido WE, até se juntar com o rio dos Monos, quando converge para o sul e verte pela escarpa da Serra do Mar, para desaguar no rio Branco, já no município de Itanhaém (BBS). O rio dos Monos é o principal afluente do Capivari e a bacia é conhecida por Capivari-Monos. A bacia do Capivari-Monos contribui para o abastecimento hídrico da RMSP; hoje ela abastece o Reservatório Guarapiranga a uma vazão de 1m³/s, mas seu potencial é cinco vezes maior.

Na área de estudos, há terrenos de baixa declividade (<5%) na borda, onde estão situados os corpos de águas superficiais, constituídos por depósitos quaternários de natureza colúvio-aluvionar ou por saprólito do embasamento cristalino. Em ambos os casos ocorrem aquíferos do tipo livre e heterogêneo, com lençol freático pouco profundo (NA ~ 1 a 3m). Os terrenos de maior declividade (morrotes) estão localizados no centro do bairro e são associados ao embasamento cristalino alterado, cujos níveis de água muitas vezes são alcançados a profundidades superiores a 30 m. A condutividade hidráulica do aquífero sedimentar livre varia de 10⁻⁵ a 10⁻⁷m/s e a do saprólito oscila entre 10⁻⁷ a 10⁻¹⁰m/s. Por constituírem aquíferos freáticos rasos, são muito vulneráveis aos impactos causados pela ocupação antrópica.

Hidrogeologia Regional

O município de São Paulo encontra-se inserido nos domínios do Bloco de Juquitiba (Hasui, 1973) sendo, do ponto de vista tectônico, parte do Sistema de Dobramentos Apiaí (Hasui *et al.*, 1975), um dos componentes do Sistema de Dobramentos do Sudeste (Almeida, 1976), ou Cinturão Ribeira (Almeida *et al.*, 1973).

A geologia regional consiste em seqüências pré-cambrianas (Neoproterozóico) representadas por rochas metamorizadas nas fácies xisto verde e anfibolito dos grupos Açungui, São Roque e Serra do Itaberaba e pelos granitos de Embu-Guaçu, Parelheiros e Colônia, parcialmente recobertos por sedimentos terciários e quaternários.

Os terrenos cristalinos contornam as áreas sedimentares e configuram praticamente toda a borda da RMSP, concentrando-se neles as áreas de cobertura vegetal e de mananciais hídricos de superfície. As rochas cristalinas que afloram na área da APA-CM pertencem ao Grupo Açungui, o qual se divide em duas unidades lito-estratigráficas: Complexo Pilar, composto por xistos finos/filitos e Complexo Embu, constituído por xistos e

gnaisses e por vezes migmatitos e ectinitos (Vieira, 1996). Testemunhos de sondagem da região da represa Billings revelaram a presença de biotita quartzo xistos/gnaisses com granada (preservada ou substituída por muscovita), pertencente ao Complexo Embu. Segundo Rodriguez (1998), essa unidade predomina na área da APA como um todo, com gnaisses graníticos e biotita gnaisses migmatizados em seu extremo sul e xistos e mica xistos parcialmente migmatizados na bacia do Capivari-Monos.

O embasamento é intensamente recortado por um denso sistema de falhas transcorrentes de caráter dextral e orientado segundo a direção ENE a EW, ativos até o final do Ciclo Brasileiro, no Cambro-Ordoviciano, originando espessas faixas de rochas cataclásticas (Sadowski, 1991). As reativações destas falhas durante o Terciário provocaram movimentos verticais que teriam condicionado a deposição e deformação dos sedimentos das bacias originadas (Riccomini *et al.*, 1989; Mancini & Riccomini, 1994).

A Bacia de São Paulo, juntamente com as bacias de Curitiba, Taubaté, Resende e Volta Redonda, compõem o chamado Sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar (Almeida, 1976). Este termo foi modificado por Riccomini (1989) para Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), cuja origem está ligada a eventos tectônicos de idade cenozóica. Os sedimentos da bacia estão contidos num hemi-graben basculado para NNW, sobrepostos aos terrenos cristalinos de idade pré-cambriana (Juliani, 1992). A Bacia de São Paulo é composta por sedimentos das formações Resende, Tremembé e São Paulo (Terciário, Paleógeno), superpostos pela Formação Itaquaquecetuba (Terciário, Neógeno) e depósitos neoceno-zóicos (Riccomini *et al.*, 1992).

As coberturas neoceno-zóicas são representadas por colúviões e aluviões em várzeas e terraços baixos, com espessura raramente ultrapassando os 10 m (Riccomini *et al.* 1992). São de idade pleistocênica superior e holocênica. Tais coberturas têm ocorrência significativa na Região Metropolitana de São Paulo onde se destacam os depósitos aluviais nas extensas planícies dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva, Cabuçu, Embu Guaçu e Capivari e dos ribeirões do Monos, do Cipó, dos Pombos, dos Meninos e dos dois Vermelhos e seus principais tributários. No entanto, estes sedimentos apresentam-se na maioria das vezes cobertos por camadas de aterro (Takiya, 1997). Material coluvionar, associado a escorregamentos da Serra do Mar, foi constatado na região de Capela do Socorro diretamente sobre rochas saprolíticas (rochas alteradas do embasamento) e em Cidade Dutra, acima de lamitos da Formação Resende (Takiya, 1997). Os depósitos coluvionares e aluvionares são pouco espessos na APA de Capivari-Monos, atingindo até 6 m de profundidade.

LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Organismos Patogênicos

Excretas humanos podem conter 4 tipos principais de organismos patogênicos (Bier, 1976):

- Ovos de helmintos (vermes intestinais);
- Protozoários;
- Bactérias: em concentrações aproximadas de 10^9 bactérias/grama de excreta;
- Vírus (não podem se reproduzir fora de organismos; ocorrem em mais de 100 tipos em fezes, em concentrações de aproximadamente 10^6 vírus/grama de excreta).

As tabelas 1 e 2 abaixo mostram as principais doenças, e seus agentes infecciosos, que podem ser transmitidos por diferentes tipos de bactérias e vírus (Gerba *et al.* 1975).

Tabela 1. Doenças transmitidas por bactérias.

DOENÇA	AGENTE PATOGÊNICO
Cólera	<i>Vibrio Colerae</i>
Febre Tifoide	<i>Salmonella typhi</i>
Febre Paratifoide	<i>Salmonella paratyphi</i>
Disenteria Bacilar	<i>Shigella spp.</i>
Diarréias	<i>E. coli</i> enterotoxigênica <i>E. coli</i> enteropatogênica <i>Salmonella spp.</i> e outros

Tabela 2. Doenças transmitidas por vírus.

DOENÇA	AGENTE PATOGÊNICO
Hepatite infecciosa	Vírus da hepatite A
Poliomielite	Poliovírus
Diarréias	Rotavírus agente Norwalk
Diversos sintomas	Echovírus, Coxsackievírus y

Fases geoquímicas de rejeitos domésticos

Os esgotos domésticos apresentam relativamente altas concentrações de compostos orgânicos contendo carbono e nitrogênio reduzidos. Os microorganismos dos sistemas sépticos satisfazem a sua necessidade energética catalisando a oxidação desses compostos reduzidos, o que requer a redução concomitante de receptores de elétrons. O oxigênio é o receptor de elétrons energeticamente mais favorável e os ambientes biogeoquímicos são usualmente classificados como aeróbios ou anaeróbios de acordo com a presença ou ausência desse composto, respectivamente.

A evolução do efluente doméstico produzido em sistemas de saneamento *in situ* passa, necessariamente, por duas zonas biogeoquímicas, sendo que uma terceira zona se desenvolverá eventualmente. A primeira é constituída pelo próprio tanque séptico, que corresponde a um meio anaeróbio com alta concentração de matéria orgânica, onde se formam duas fases físicas: espuma (sobrenadante, constituído de matéria graxa e sólidos em mistura com gases) e lodo (partículas sólidas sedimentadas) (ABNT, 1993). Nesse meio, a maior parte do nitrogênio é liberada das moléculas orgânicas na forma de amônio (NH_4^+).

A espuma separada no tanque séptico escoia através de drenos dispostos logo abaixo do tanque, porção situada na zona não saturada e aeróbia, compondo a segunda zona biogeoquímica. Nesta fase, ocorrem também processos importantes de nitrificação.

Na terceira zona, fase esta que ocorre apenas em alguns sistemas de saneamento *in situ*, é comum os processos de desnitrificação.

Comportamento de microorganismos em meios aquíferos

As características que afetam o movimento de microorganismos através de aquíferos são relativamente bem conhecidas. Os principais fatores que influenciam nesse movimento são: a vida/morte dos organismos no ambiente solo/água; a velocidade da água subterrânea; sua adsorção às partículas do solo; e a filtração desses organismos nos poros do solo.

Segundo Jowett *et al.* (1995), a morte é o principal fator na degradação dos microorganismos em meio aquífero. Isso ocorre como resultado da ausência de fontes de alimento no ambiente aquífero, bem como pela presença de substâncias tóxicas e de predadores. Portanto, a distância percorrida por microorganismos patogênicos em aquíferos será função direta da velocidade das águas subterrâneas. A adsorção dos microorganismos às partículas de solo e do aquífero atua para reduzir as distâncias percorridas pelos microorganismos em aquíferos e alterar sua capacidade de sobrevivência. Finalmente, a filtração é outro fator importante na eliminação de microorganismos. As características chaves que afetam o grau de filtração são o tamanho relativo dos espaços dos poros e dos microorganismos (Figura 2). A presença de macro-porosidades pode também afetar significativamente a filtração.

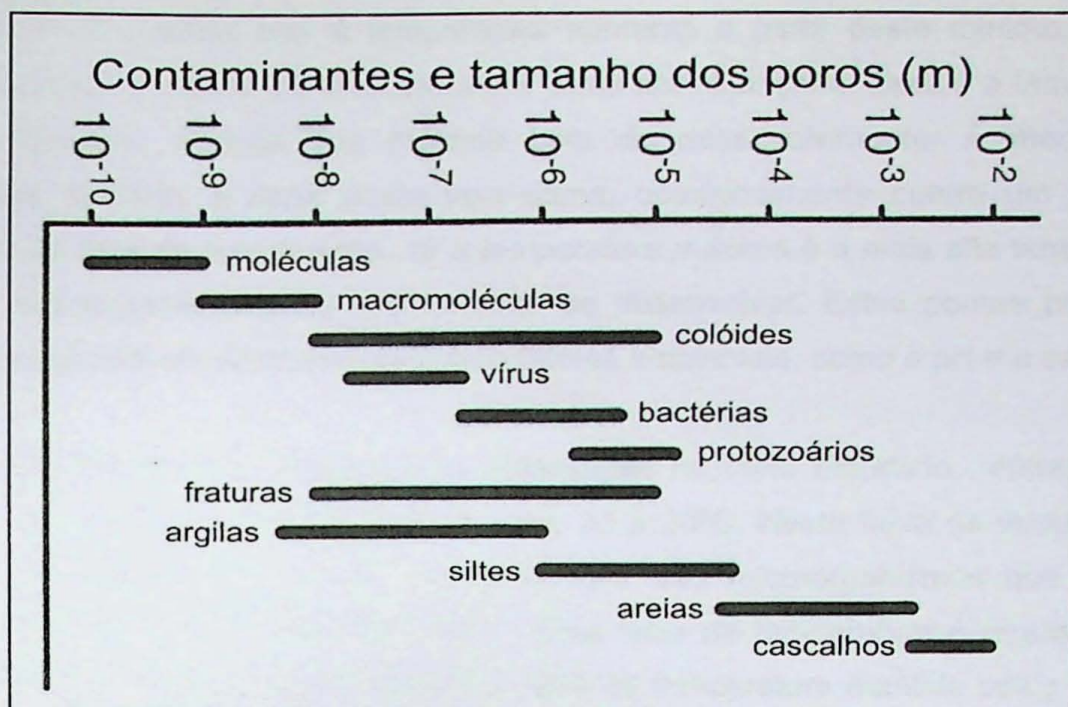


Figura 2. Relação de tamanho entre partículas coloidais (Modificado de Stimson, 2005).

Os estudos acerca do movimento dos vírus em águas subterrâneas de sistemas sépticos não são tão abundantes. Isso se deve ao alto custo associado ao grande número de amostras necessárias para a sua detecção e à relutância de introduzir artificialmente esses vírus no ambiente. Entretanto, sabe-se que os vírus podem ser transportados por longas distâncias, comparativamente às bactérias, devido ao seu menor tamanho. Entretanto, o seu menor tamanho faz com que vários vírus sejam adsorvidos às superfícies das partículas do solo e do material fino do aquífero. Segundo Chapelle (1993), devido ao fato dos vírus não apresentarem metabolismo independente, seu impacto na química das águas subterrâneas é limitado pelos efeitos que estes microorganismos têm sobre as bactérias indígenas. Portanto, nesta revisão, serão enfatizadas as bactérias e os processos que agem sobre estas devido ao reflexo que este grupo proporciona na química das águas subterrâneas.

A habilidade de crescimento bacteriológico na natureza é uma função direta das condições ambientais nas quais elas se encontram. As bactérias em condições subsuperficiais são particularmente notáveis devido à sua tolerância a difíceis condições de desenvolvimento. Segundo Chepelle (1993), as principais condições ambientais que influenciam o crescimento bacteriano são: temperatura, disponibilidade de água, oxigênio molecular, pH e pressão osmótica.

Como já dito, a temperatura é um importante fator no crescimento de microorganismos. À medida que a temperatura aumenta as taxas das reações químicas ligadas aos processos biológicos tendem a aumentar também. Partindo deste princípio, pode-se caracterizar um campo de tolerância dos microorganismos a certas temperaturas. Primeiramente, existe a *temperatura mínima*, abaixo da qual os microorganismos não se

desenvolvem. À medida que a temperatura aumenta a partir deste mínimo, a taxa de desenvolvimento aumenta até a *temperatura ótima* ser alcançada. Essa é a temperatura na qual o organismo alcança sua máxima taxa de desenvolvimento. À medida que a temperatura aumenta a partir desta taxa ótima, ocasionalmente ocorre um decréscimo acentuado da taxa de crescimento. Já a *temperatura máxima* é a mais alta temperatura na qual um microorganismo pode efetivamente se desenvolver. Estes pontos principais de temperatura podem ser afetados por outros fatores ambientais, como o pH e a salinidade do meio.

Neste trabalho, as temperaturas alcançadas no meio estudado, referente à água subterrânea, estão comumente situadas entre 20 a 30°C. Nesta faixa de temperatura, as bactérias são classificadas como *mesófilas*, que são microorganismos que vivem em temperaturas que variam entre 20 e 40°C. Essa faixa de temperatura é regular na maior parte dos meios naturais, assim como é a faixa de temperatura mantida pelos animais de sangue quente. A partir disto conclui-se que a maior parte das bactérias patogênicas tem sua *temperatura ótima* neste campo de temperatura (Chapelle, 1993).

Todos os microorganismos requerem água em seus processos biológicos, e quase todos requerem água para seu crescimento. Aparentemente, em um meio aquífero, a disponibilidade de água não seria o problema. Mas em algumas situações, como em zonas não saturadas, há água em espaços porosos coexistindo com gases. No presente trabalho, todo o sistema de degradação para microorganismos é montado na zona não saturada do aquífero. Como o sistema está sendo recorrentemente preenchido por água servida, a disponibilidade de água no sistema não se torna um obstáculo.

A presença de oxigênio molecular, tanto em forma gasosa como dissolvida, é um requerimento absoluto para alguns microorganismos, principalmente para os denominados aeróbios. Para os obrigatoriamente anaeróbios, a presença de oxigênio molecular pode inibir o crescimento ou até mesmo matar estes organismos. Bactérias anaeróbias, como as metanogênicas, possuem baixa tolerância ao oxigênio e só podem ser coletadas para amostragem sob condições anaeróbias restritas. Já outros tipos, como as redutoras de sulfatos, toleram a exposição ao oxigênio, mas geralmente não se desenvolvem na presença dele.

Na natureza, os organismos bacterianos são capazes de sobreviver em um surpreendente e vasto campo de valores de pH. Valores extremos de pH não são muito comuns em meios aquíferos. Mas, em sistemas aquíferos contaminados por rejeitos tóxicos, condições mais extremas de pH podem ser encontradas. Em aquíferos contaminados por dejetos municipais de esgoto, que geralmente apresentam elevadas concentrações de ácidos orgânicos, valores de pH mais baixos que 3,0 podem ser encontrados (*in*: Chapelle, 1993). Similarmente, sistemas aquíferos contaminados por alguns tipos de rejeitos industriais, como rejeitos da manufatura de cimento, podem exibir valores de pH maiores

que 11,0. Nesses casos, as alterações no meio causadas pelos extremos valores de pH podem ocasionar um significativo problema ambiental para as bactérias indígenas.

As células podem ganhar ou perder água por osmose dependendo das concentrações relativas de constituintes dissolvidos dentro ou fora da mesma. Dependendo destas relações do meio em relação ao organismo, a célula pode desde desidratar e encolher até tornar-se extremamente saturada. Portanto, a pressão osmótica é uma condição crítica com a qual a célula tem que lidar para sobreviver e se desenvolver.

Devido aos ambientes sub-superficiais apresentarem um variado campo de salinidades (de praticamente água da chuva até 30% de soluções de salmoura), as bactérias destes meios tendem a exibir um vasto intervalo de tolerância a condições osmóticas. Devido a esta condição, deve-se ter em mente o controle dos fatores de sólidos totais dissolvidos (TDS) do meio. Pode ocorrer de o microorganismo ser incapaz de lidar com choques osmóticos quando exposto a condições com altos valores de TDS, o que pode inibir seu crescimento. Portanto, este fator deve ser monitorado quando se dá o estudo destes meios aquíferos.

Mecanismos de fixação de microorganismos patogênicos

Um processo eficaz que envolve a atenuação de microorganismos patógenos em aquíferos corresponde à adsorção. Os biocolóides agregam-se preferencialmente a superfícies de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, ficando retardados em relação ao fluxo de água subterrânea.

Vários trabalhos (Harvey *et al.*, 1989; Harvey *et al.*, 1993; Bales *et al.*, 1995; Deborde *et al.*, 1999) comprovam existir uma atenuação natural de biocolóides em aquíferos, sejam eles homogêneos, sejam heterogêneos. Contudo, observaram concentrações dos bio-traçadores a distâncias consideráveis a jusante de focos de contaminação, cuja retardação parecia ser menor que as observadas para traçadores ideais (brometo e cloreto). Embora essa diferença de tempo de chegada desses dois parâmetros possa ser explicada por sensibilidade dos métodos analíticos de análise, o fato é que é possível que microorganismos tenham o mesmo comportamento advectivo que a água.

Segundo Stimson (2005), a interação de partículas coloidais com superfícies minerais é mais complexa que a sorção de espécies dissolvidas à superfície, pois envolvem mudanças de carga com a variação do pH e da química da solução. De acordo com este mesmo autor, a imobilização de colóides em superfícies minerais é resultado de uma série de forças intersuperficiais que existem em ambos, colóide e superfície mineral. Estas forças incluem: 1) forças eletrostáticas; 2) forças de atração de *Van der Waals*; e 3) Potencial de *Born* de "curto alcance" (ou forças de não-DLVO). As forças DLVO (cuja sigla refere-se ao nome dos criadores desta teoria de forças: Derjaguin, Landau, Vervay e Overbeek) referem-se à teoria que descreve o efeito de atração e repulsão de forças superficiais na imobilização de colóides em grãos de aquíferos (*in*: Stimson, 2005). Além das forças

supracitadas, há também ligações covalentes e outras forças relacionadas à repulsão que também são importantes.

Biocolóides e superfícies minerais possuem carga de superfície anfotérica, que é descrita como grupos de funções superficiais como reações de hidrólise com mudanças do pH da solução e reações de complexação com mudanças composicionais da solução (Stimson, 2005). A característica anfotérica das cargas superficiais em biocolóides deve-se à distribuição de grupos funcionais ionizáveis em paredes de células bacterianas ou cápsulas virais, especialmente carboxil, hidroxil e grupos de aminoácidos (Stimson *apud* Sherbet, 1978). Essa característica relaciona-se diretamente com a imobilização dos biocolóides em superfícies minerais.

A espessura da camada superficial de um líquido é primeiramente controlada pela sua força iônica. Segundo Stimson (2005), quando a força iônica é elevada, a camada superficial será mais fina, devido à alta concentração de íons próxima à superfície. Respectivamente, a baixos níveis de força iônica, a camada superficial se expandirá.

A altos níveis de força iônica, as forças de atração de *Van der Waals* tornam-se mais importantes na escala energética do sistema, levando, portanto à imobilização dos biocolóides em superfícies minerais (Stimson, 2005).

Em relação à fixação viral, pode-se citar a significativa contribuição de interações hidrofóbicas entre superfícies virais e sólidas. A valores de pH abaixo do ponto isoelétrico entre vírus e superfícies minerais, quando a carga superficial é negativa, as interações hidrofóbicas são o mais importante fator que leva à fixação viral (Stimson, 2005). Segundo este mesmo autor, a concentração de carbono orgânico dissolvido (DOC) pode alterar os níveis de fixação, pois este compete com os biocolóides pelos “espaços vazios” de adsorção. Isto se deve ao fato de que a sorção de matéria orgânica às superfícies minerais ou coloidais altera a magnitude das cargas superficiais, aumentando as forças de repulsão ou atração entre as superfícies.

Íons polivalentes também podem alterar as características das cargas superficiais devido à adsorção específica em superfícies minerais e virais. Foi proposto (Bales *et al.*, 1995) que cátions podem atuar como agentes complexos na fixação, formando ligações específicas entre vírus e superfícies.

Por fim, pode-se observar um fenômeno de caráter essencialmente experimental. Este foi observado por Harvey *et al.* (1989) e Deborde *et al.* (1999). Refere-se ao fato de colóides que atravessam caminhos mais difíceis no meio poroso encontram espaços porosos menores, e são provavelmente mais fixados do que colóides que viajam por caminhos porosos mais “diretos”. Este fenômeno, observado em amostragens específicas, pode ser denominado de Exclusão de Tamanhos Porosos, que contribui também para a fixação e adsorção de microorganismos coloidais.

Biotraçadores

Biotraçadores são grupos de bactérias e/ou vírus utilizados como indicadores de contaminações microbianas em águas subterrâneas. De acordo com Alhajjar *et al.* (1988), esses grupos de bactérias são presentes em grande número no intestino humano e naturalmente nas fezes. Segundo Stimson (2005), indicadores bacteriológicos fecais tradicionais, incluindo coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), e *E. coli* (EC), têm sido usados em muitos estudos para avaliação de risco de contaminação patogênica em águas subterrâneas. O uso de esporos de *Clostridium perfringens*, uma bactéria anaeróbica por definição, tem se mostrado um apropriado indicador fecal em aquíferos tropicais.

Estes indicadores bacteriológicos encontram-se presentes em sistemas sépticos de modo natural, já os indicadores virais só existem nesses sistemas se houver algum portador infectado pelo vírus que os utilize.

Como dito no item anterior, já foi observada a sorção de microorganismos patogênicos no próprio meio poroso do aquífero. Mas não se pode confiar totalmente nessa capacidade, devido à diferença no indicador observado, variando de acordo com o meio e com o traçador estudado. Segundo experimento realizado por Alhajjar *et al.* (1988), foi verificada a retenção pelo solo dos indicadores bacteriológicos, no caso coliformes fecais e totais, e *Streptococci fecal*, mas foi muito menor a verificação para indicadores virais, no caso poliovírus. À medida que a distância entre a fonte contaminante e os poços de monitoramento aumentava, as ocorrências virais nas amostras também aumentavam. Esse resultado foi assumido pelos autores supracitados como resposta às altas taxas de força iônica entre os vírus e as partículas do meio poroso próximo ao sistema séptico. Os indicadores virais parecem sofrer sorção nos sedimentos do aquífero próximo ao sistema séptico devido às altas taxas dessa força iônica, e desorção à medida que se afastam do sistema séptico devido ao decréscimo da mesma.

As microesferas fluorescentes possuem tamanhos semelhantes ao dos vírus, e constituem uma importante metodologia para o estudo dos processos de fixação viral, e desde que elas não estejam inativas, fornecem uma estimativa independente da fixação por si só. Apesar disso, as microesferas possuem altos potenciais zeta (em uma dispersão coloidal as partículas apresentam normalmente um potencial zeta diferente de zero, isto é, têm um excesso de cargas positivas ou negativas) a pH neutro e são fixadas mais evidentemente às superfícies minerais do que os biocolóides naturais, portanto elas tendem a superestimar a adsorção e a subestimar o transporte dos patógenos. O PRD1, um bacteriófago, é um traçador biocoloidal natural muito utilizado por ser conservativo se comparado aos vírus patogênicos, devido à sua persistência em condições ambientais de águas subterrâneas. Segundo Stimson (2005), o PRD1 tem sido intensamente utilizado desde a última década como um vírus modelo para estudos de transporte biocoloidal

através de ambientes de águas subterrâneas, devido à sua relativa estabilidade a altas temperaturas e baixo grau de fixação em poros saturados.

Sistemas de Barreiras Permeáveis Reativas

As técnicas de barreiras permeáveis reativas (BR) foram introduzidas no Brasil (Hirata & Cesarino, 2003) para promover a descontaminação de águas subterrâneas de forma passiva e com gastos mínimos de energia. As BR são obras de engenharia, caracterizadas por um meio reativo que intercepta uma pluma contaminante, onde normalmente o produto reativo é disposto em trincheiras, construído perpendicularmente ao fluxo horizontal do aquífero ou vertical da zona não saturada (USEPA, 1998).

A primeira barreira completa foi instalada em Sunnyvale (Califórnia, EUA) em 1994, para o tratamento de uma pluma de solventes clorados (IBC, 1999). A remediação foi realizada com sucesso e, desde então, essa tecnologia vem sendo usada também para contaminantes inorgânicos, muito mais complexos na sua degradação do que aqueles de natureza orgânica (Gavaskar *et al.*, 1998) e mais recentemente para bactérias e vírus (Smyth *et al.*, 2002; Forbes, 2003).

A BR atua na remoção de contaminantes por adsorção e/ou degradação, através de processos bióticos ou abióticos. Isso é possível ou pela mudança em sua especiação química ou fornecendo-se um elemento para a formação de um composto em estado sólido, para sua posterior remoção. Um contaminante é alterado tipicamente para uma forma inócua, pela mudança de seu estado de oxidação, ou mesmo por sua desativação, como no caso de microorganismos patogênicos.

As qualidades desejáveis em uma barreira são: a) baixo custo; b) fácil obtenção dos materiais construtivos; c) uso de material que não venha a implicar em contaminação secundária; d) longa durabilidade; e) homogênea, para prevenir o carreamento das partículas constituintes da BR, gerando caminhos preferenciais de fluxo da água contaminada; e f) comprimento suficiente para evitar que o fluxo subterrâneo se disperse.

A barreira reativa considerada neste projeto corresponde a uma escavação na zona não saturada do meio poroso preenchido com material para atenuação de biocolóides (BOF – *Basic Oxygen Furnace*), que possui as dimensões de 3,7m X 2,5m (profundidade x diâmetro). O material reativo para atenuação de biocolóides é composto basicamente por escórias de alto forno. Estudos (Baker, 1996; Proctor *et al.*, 2000; Smyth *et al.*, 2002; Forbes, 2003) têm demonstrado que as escórias de alto-fornos, juntamente com cascalho para lhe conferir permeabilidade, constituem um material adequado para esse propósito. Trata-se de uma mistura de óxidos de ferro, manganês e cálcio, na qual os patógenos são adsorvidos eficientemente (Mikhail *et al.*, 1994; Proctor *et al.*, 2000).

Escória de Siderúrgica (BOF)

Segundo Proctor *et al.* (2000), o BOF (*Basic Oxygen Furnace*) é um material utilizado primeiramente durante os processos de produção de ferro e aço, que consiste basicamente no montante de impurezas residuais do ferro e/ou aço.

Sua composição primária é basicamente sílica e alumina provenientes do minério de ferro original, com óxidos de cálcio e magnésio adicionados no processo. Também possui concentrações consideráveis de manganês e óxidos.

Segundo estes mesmos autores, este material adsorve eficazmente microrganismos patogênicos, como bactérias e vírus. A razão pela qual este material se torna tão eficiente é porque a água, quando em contato com o BOF, alcança pH superior a 11, que é responsável pela inativação da maior parte das bactérias/vírus. Além disso, ele possui um conteúdo relativamente alto de oxi-hidróxidos de ferro (10 – 15%), resultando em características propensas à adsorção de bactérias e vírus.

MATERIAIS E MÉTODOS

Definição das áreas para implantação das fossas

Nas fases iniciais do projeto foram executadas atividades preliminares para a implantação segura e consistente das BRs na área de estudo.

Foram executados levantamento topográfico e medição dos níveis de água locais para a construção de um mapa potenciométrico necessário para a seleção da área de implantação desta BR piloto no loteamento Jardim Santo Antônio. Duas áreas do loteamento foram selecionadas, uma para a construção da fossa melhorada, outra para a instalação da fossa de controle (sem a presença dos materiais reativos, para acompanhamento da evolução natural dos microorganismos).

Estas áreas específicas foram selecionadas à medida que foram atendidas determinadas características:

- Quantidade suficiente de habitantes no local para produzir efluente de forma sistemática;
- Zona não-saturada mais espessa (necessária para que a água do aquífero não “afogasse” o sistema);
- Espaço razoável para escavação e instalação das barreiras e fossas, bem como dos instrumentos para a amostragem da água;
- Tranquilidade para a realização do trabalho, segurança, etc.

Além da seleção da área, houve discussões sobre o *design* da fossa melhorada com barreiras reativas através de sua modelagem hidráulica. A partir da entrada de dados fundamentalmente de recarga (aporte de esgoto) e de propriedades físicas dos diversos

materiais que compõem a fossa melhorada (p.ex. condutividades hidráulicas), determinaram-se alguns parâmetros para verificação do desempenho da barreira antes de sua instalação, tais como: velocidades de fluxo em zona não-saturada; grau de saturação e de capilaridade (dado este importante para se saber a potencialidade de obtenção de água pelos instrumentos).

Junto ao desenvolvimento do *design* da BR, foram construídos os equipamentos instalados na BR para seu monitoramento (amostragens dos efluentes infiltrados), os pan-lisímetros.

Desenvolvimento dos pan-lisímetros

O desenvolvimento destes equipamentos foi de fundamental importância, uma vez que através deles proceder-se-á com a coleta de amostras em profundidade do efluente infiltrado da fossa. Em Stimson (2005), é explorada a relação entre a granulometria de sedimentos e o percurso preferencial da água subterrânea em zonas não-saturadas e saturadas. Observa-se neste mesmo trabalho que em zonas não-saturadas, a água tende a percorrer preferencialmente materiais com poros menores devido à interação solo/água nessas zonas. Com isso, o preenchimento do interior do lisímetro com material mais fino do que o que se encontra ao seu redor tende a “capturar” mais água para dentro do sistema.

Os pan-lisímetros caracterizam-se pela sua expressiva capacidade volumétrica (porosidade equivalente a 2L) bem como por ser um eficiente amostrador de zona não saturada.

Para a montagem dos pan-lisímetros, foram utilizados cones de polietileno (PE) de 50cm de altura e 30cm de diâmetro da boca maior (Figura 3.). A base menor destes cones foi serrada, tampada com folha de PVC e cola quente (Figura 4.). Depois, para confecção dos filtros internos, foram furados com furadeira tubos de 1” de diâmetro e 30cm de altura e cobertos com telas microporosas (estas foram coladas e fixadas com braçadeiras) (Figuras 5. e 6.). Dentro desses tubos, colocaram-se mangueiras cristal 5/16” – por onde amostras de água serão succionadas - aplicando-se um selo na extremidade do tubo de PVC de 1” para não entrar partículas indesejadas (Figuras 7. e 8.). Estes tubos foram dispostos dentro do cone e sobre a base menor do mesmo (Figuras 9. e 10.).



Figura 3. Cone de PE com base menor serrada.



Figura 4. Base menor colada com folha de PVC.

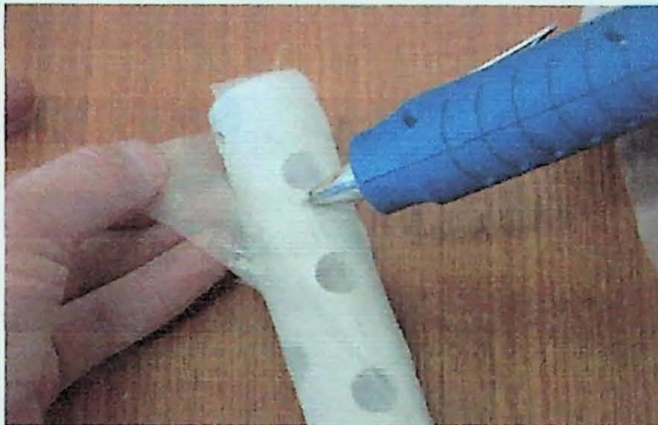


Figura 5. Tela microporosa sendo colada com cola de silicone quente.



Figura 6. Fixação da tela com braçadeiras.

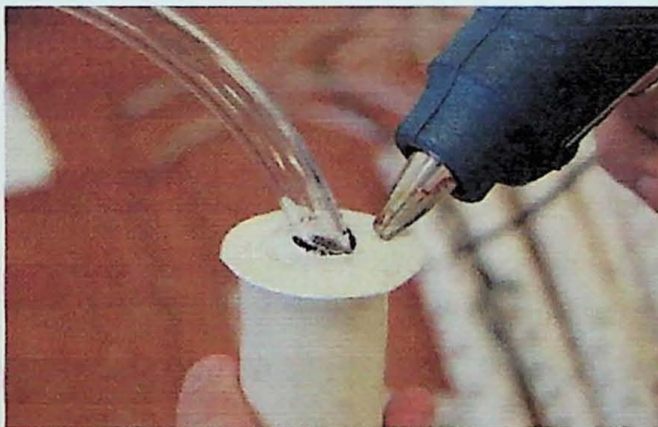


Figura 7. Finalização do filtro com colagem de folha de PVC e mangueira para sucção de amostra.



Figura 8. Filtros prontos para serem inseridos nos cones de PE.



Figura 9. Filtro sendo colado com silicone quente dentro do cone de PE.



Figura 10. Pan-lisímetro.

O aluno participou de todas as etapas presentes na confecção dos pan-lisímetros, assim como na aquisição dos materiais necessários para a produção dos mesmos.

Design das BRs e instalação das fossas

Montou-se uma estrutura de suporte através de cobertura com lona, isto devido às chuvas intensas e contínuas. A escavação das fossas foi realizada por mão-de-obra local, composta por três trabalhadores que utilizaram pás e enxadas.

Por meio do encanamento que liga as descargas às fossas, haverá a injeção de esgoto regularmente pelos moradores das duas casas. A fossa controle permitirá a realização de análises comparativas de processo e eficiência com a fossa melhorada com as BRs.

Os pan-lisímetros foram instalados em cada ponto de monitoramento, na zona não saturada, para obtenção de amostras de água e observação da evolução dos microorganismos, seja na presença dos materiais reativos (fossa alternativa), seja na ausência (fossa de controle). Em se tratando da zona saturada na fossa alternativa, onde está a serragem para ocorrência da desnitrificação (outro estudo complementar de barreira reativa contemplado pelo projeto MINISIS), foram instalados 15 piezômetros multiníveis ao longo de 0,5m de altura. Além destes, associados a alguns pan-lisímetros, foram instalados lisímetros de aço que possibilitam a coleta de amostras com biocolóides virais, já que estes não podem ser coletados pelos pan-lisímetros.

Fossa Alternativa

A fossa melhorada foi construída a aproximadamente 12m dos fundos da casa. Durante as escavações, foram coletadas amostras a cada 0,5m, sendo as mesmas descritas macroscopicamente. Também foram tiradas fotos dos horizontes dentro da fossa. Foi possível observar pelo perfil descrito que até pelo menos 3m o material era aterrado com solo da própria região e com entulhos de uma fossa abandonada. A rocha

predominante corresponde a um gnaiss alterado de coloração ocre (por vezes amarelado), distinguindo-se a partir de 3m de profundidade alguns níveis com foliação mais preservada.

A escavação atingiu 4,7m de profundidade com 2,0m de diâmetro até 3,5m; 1,5m de diâmetro até 4,0m; e 1,25m de diâmetro até 4,7m. O furo foi sendo afunilado para possibilitar a disposição do anel de concreto de 1,5m de diâmetro no nível da serragem. Abaixo deste anel, escavou-se com 1,25m de diâmetro com a intenção de se confeccionar um degrau para suportar seu peso. Um acesso lateral foi aberto para conexão do dreno responsável pela manutenção do nível d'água na camada da serragem.

Após a escavação, a construção dessa fossa melhorada seguiu basicamente quatro etapas: 1) preenchimento com um dos seguintes materiais ou com a mistura deles: brita (0 ou 1), areia (média/grossa), pedrisco, BOF ou serragem (Figura 11.); 2) disposição dos equipamentos de medição: pan-lisímetros e amostradores de gás (Figura 12.); 3) cobertura dos equipamentos com um dos materiais já citados; e 4) organização das mangueiras de cristal provenientes dos equipamentos de medição.

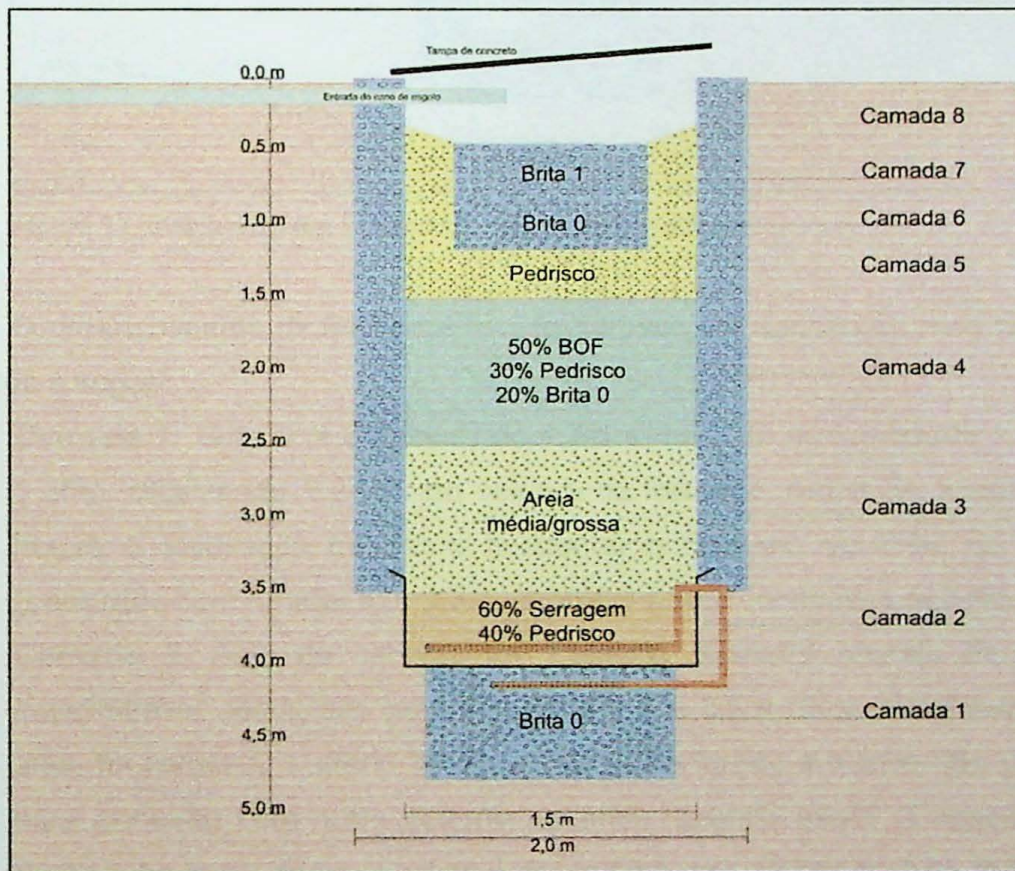


Figura 11. Distribuição das camadas na fossa.

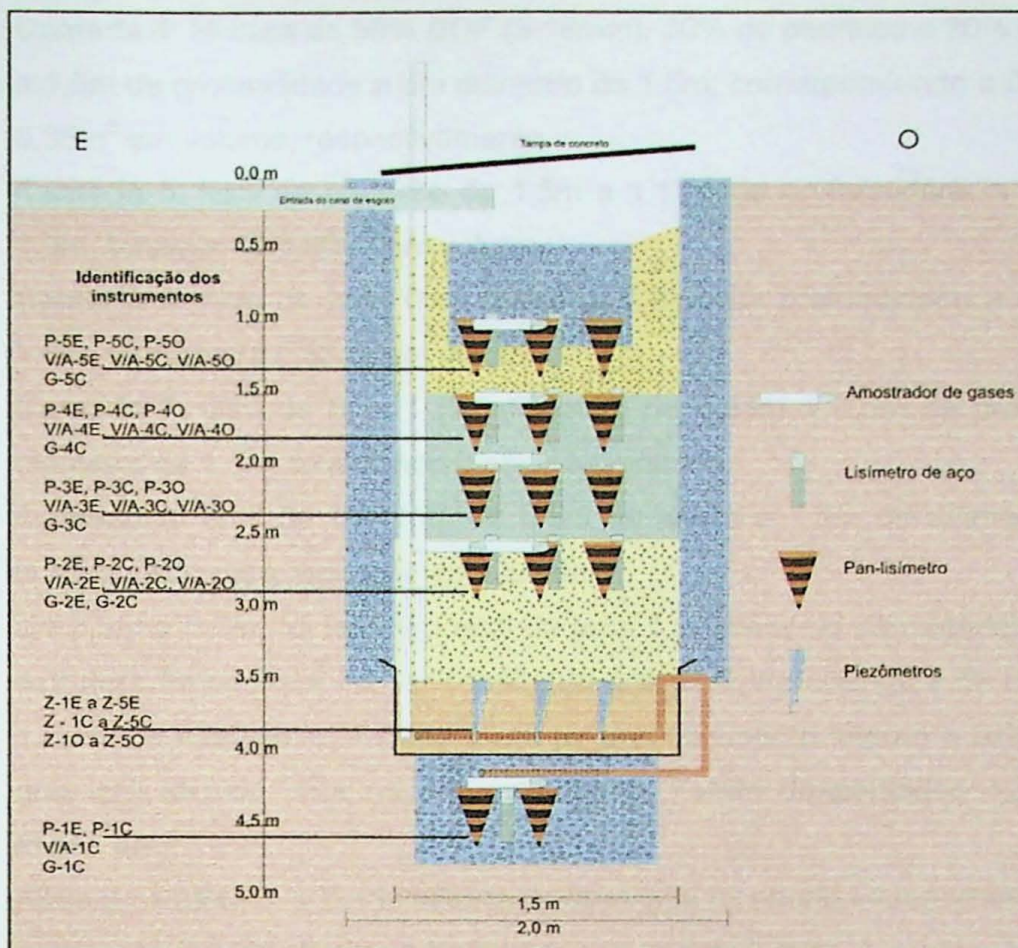


Figura 12. Distribuição dos instrumentos de medição na fossa.

O preenchimento da fossa melhorada da base em direção ao topo seguiu os passos descritos a seguir:

- **Camada 1:** Brita 0 (4,8-9,5mm) de 4,7m a 4,0m de profundidade a um diâmetro de 1,25m, totalizando $1,24\text{m}^3$ em volume de material. Antes de finalizar a camada 1, houve a instalação de dreno horizontal e cotovelo de PVC de 2" de diâmetro (perfurado com furadeira) a 4,2m de profundidade no acesso escavado.
- **Camada 2:** Anel de cimento de 1,5m de diâmetro envolto de vinilona (manta impermeável usada em caminhões) de 4,0 a 3,5m de profundidade. Dentro desse anel, foi colocado o dreno horizontal de 4" perfurado e o tubo não perfurado vertical para conexão com outro externo ao anel, fazendo assim a ligação entre os dois drenos. Ao invés de se envolver o dreno com uma manta para impedir o entupimento de seus furos, preferiu-se cercá-lo com brita 0. Após isso, preencheu-se o anel com uma mistura de 60% de serragem de Peroba Rosa e 40% de pedrisco (1,0-5,0mm), correspondendo a $0,53\text{m}^3$ e $0,35\text{m}^3$ em volume, respectivamente.
- Dois poços de monitoramento feitos com PVC de 2" de diâmetro foram instalados nas profundidades de 4,2m e de 3,5m. Por meio deles, será possível medir o gradiente hidráulico dentro da camada de serragem.
- **Camada 3:** Areia média/grossa (0,25-1mm) de 3,5m a 2,5m a um diâmetro de 1,5m.

- **Camada 4:** Mistura de 50% BOF (3-18mm), 30% de pedrisco e 20% de brita 0 de 2,5 a 1,5mm de profundidade a um diâmetro de 1,5m; correspondendo a $0,88\text{m}^3$, $0,53\text{m}^3$ e $0,35\text{m}^3$ em volume, respectivamente.
- **Camada 5:** filtro de pedrisco de 1,5m a 1,17m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ em volume.
- **Camada 6:** filtro de brita 0 de 1,17m a 0,84m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ em volume.
- **Camada 7:** filtro de brita 1 (9,5-19,0mm) de 0,84m a 0,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ em volume.
- **Camada 8:** anel de concreto de 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro compondo o tanque vazio para recepção do efluente.
- De 3,5m a 0,0m, foi feito um anel de brita 1 envolvendo os materiais internos. Essa estrutura foi possível de ser construída graças a um anel-guia de chapa de aço de 1,5mm de espessura. A cada 30cm de preenchimento interno e externo, esse anel-guia era sacado para os próximos 30cm. Foram despendidos $4,8\text{m}^3$ de material nesse anel.
- Após a camada 5, a borda interna do anel-guia foi sendo incrementada com pedrisco com o objetivo de afunilar o fluxo para o centro da fossa.
- As mangueiras provenientes de todos os amostradores foram direcionadas à parede do furo desde o acesso em sua base até pelo menos 1m além da boca do furo. Elas foram então dispostas em uma caixa cimentada com tampa de aço.
- A orientação dos instrumentos obedeceu às direções: Leste (E); Centro (C); e Oeste (O). Todas as mangueiras provenientes dos instrumentos foram devidamente identificadas com fitas coloridas: laranja para pan-lisímetros, cinza para amostradores de gases, e branca para piezômetros. A identificação correspondeu a: *Letra* que indica o tipo do instrumento (**P** de pan-lisímetro, **G** de amostrador de gás e **Z** de piezômetro) - *Número* da camada em que está o instrumento (**1, 2, 3, 4 e 5**) – *Orientação* (se centro **C**; oeste **O**; e leste **E**).

Exemplos das etiquetas do 1º nível de equipamentos de medição na fossa:

P-1E (pan-lisímetro; 1º nível; leste) – Laranja;

P-1C (pan-lisímetro; 1º nível; centro) – Laranja;

G – 1C (amostrador de gás; 1º nível; centro) – Cinza;

Z – 1O (piezômetro; 1º nível no intervalo saturado, oeste).

A partir da colocação dos pan-lisímetros nas posições E, C ou O, o amostrador de gás era posicionado na frente dos pan-lisímetros (a cápsula envolta com material do próprio entorno). Os piezômetros na camada da serragem compuseram 5 níveis de amostragem

para cada posição E, C e O, com seus filtros espaçados de 10 em 10cm perfazendo 50cm, ou seja, a espessura da camada de serragem.

Fossa de Controle

Foi instalada uma fossa controle (em uma casa vizinha) sem o sistema de BR. Esta foi instalada a aproximadamente 10m dos fundos da casa, próxima a uma horta e à fossa até então em uso. Durante a escavação, foram coletadas amostras a cada 0,5m, feitas descrições macroscópicas e tiradas fotos dos horizontes dentro da fossa.

Pelo perfil descrito, observou-se que a rocha predominante corresponde a um gnaiss alterado de coloração ocre (por vezes amarelado), distinguindo-se a partir de 3m de profundidade alguns níveis com foliação mais preservada.

A escavação atingiu 5m de profundidade com 1,7m de diâmetro até 1,5m de profundidade e com 1,5m de diâmetro a partir dessa profundidade. Um acesso lateral foi aberto nos últimos 3,5m para acomodação das mangueiras dos instrumentos de medida.

A disposição das camadas na fossa controle da base em direção ao topo é mostrada pela Figura 13. Já a distribuição dos instrumentos de amostragem pode ser visualizada na Figura 14.

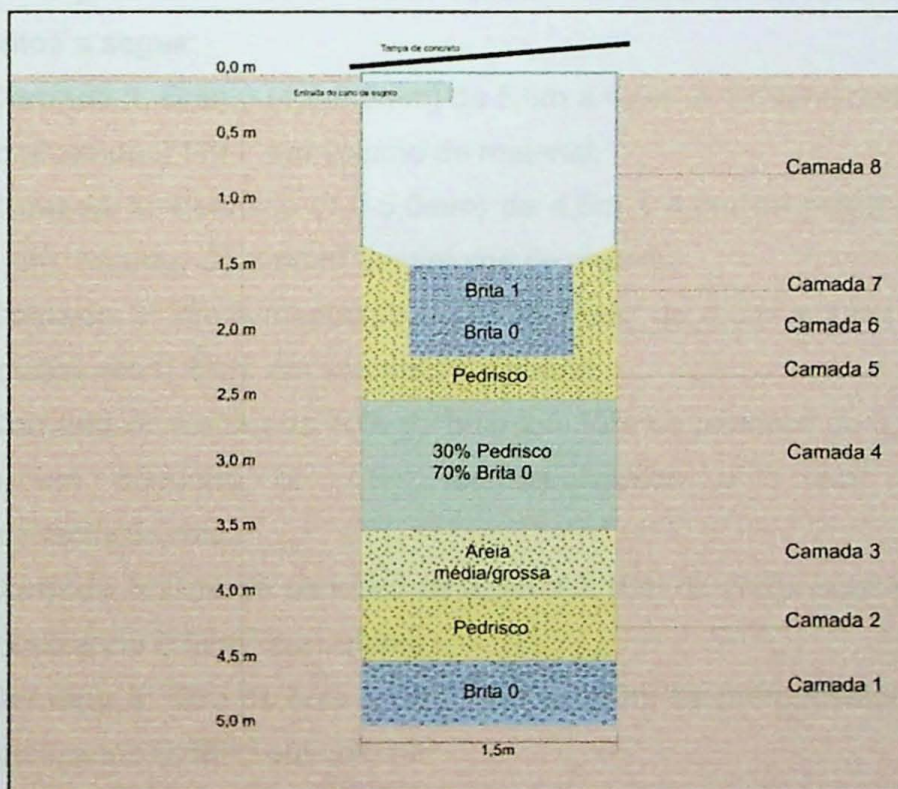


Figura 13. Registro antes da caixa de descarga.

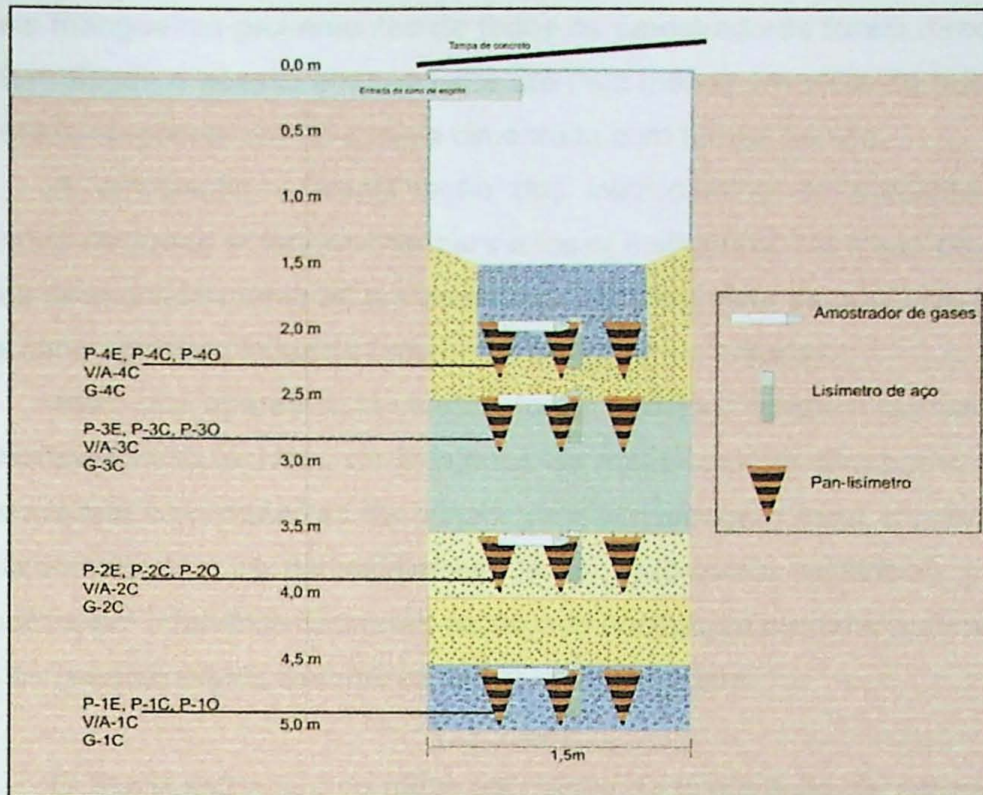


Figura 14. Registro antes da caixa de descarga.

O preenchimento da fossa controle da base em direção ao topo seguiu os passos descritos a seguir:

- **Camada 1:** Brita 0 (4,8-9,5mm) de 5,0m a 4,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,88\text{m}^3$ em volume de material.
- **Camada 2:** Pedrisco (1,0-5,0mm) de 4,5m a 4,0m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,88\text{m}^3$ em volume de material.
- **Camada 3:** Areia média/grossa (0,25-1mm) de 4,0m a 3,5m a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,88\text{m}^3$ em volume de material.
- **Camada 4:** mistura de 70% de brita 0 e 30% de pedrisco de 3,5 a 2,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m; correspondendo a $1,34\text{m}^3$ e $0,58\text{m}^3$ em volume, respectivamente.
- **Camada 5:** filtro de pedrisco de 2,5m a 2,16m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ em volume.
- **Camada 6:** filtro de brita 0 de 2,16m a 1,83m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ em volume.
- **Camada 7:** filtro de brita 1 (9,5-19,0mm) de 1,83 a 1,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ em volume.
- **Camada 8:** três anéis de concreto de 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro compondo o tanque vazio para recepção do efluente.
- Após a camada 5, a borda da escavação foi sendo incrementada com pedrisco com o objetivo de afunilar o fluxo para o centro da fossa.

- As mangueiras provenientes de todos os amostradores foram direcionadas à parede do furo desde o acesso em sua base até pelo menos 1m além da boca do furo. Elas foram então dispostas em uma caixa cimentada com tampa de aço.

A orientação e identificação dos instrumentos de medição corresponderam às mesmas descritas anteriormente para a fossa melhorada. Na fossa de controle, não existem poços de monitoramento do gradiente hidráulico em vista da ausência dos materiais reativos e da zona saturada induzida (presentes na fossa melhorada).

Além dos aparelhos já citados, foram inseridos também lisímetros de aço inoxidável e piezômetros multiníveis. Os lisímetros de aço inoxidável têm como finalidade a extração de amostras com materiais de origem viral, amostragem essa impossível de ser realizada precisamente com os pan-lisímetros. Já os piezômetros multiníveis permitem a coleta de amostras em intervalos regulares de espaço controlado em uma mesma camada, tornando-se interessante principalmente na camada de serragem.

O aluno acompanhou todas as etapas da construção de ambas as fossas, e tomou parte principalmente do preenchimento da fossa melhorada e da implantação dos aparelhos de monitoramento da mesma.

Campanhas de amostragem

Este Trabalho de Formatura englobou duas grandes campanhas de amostragem. Ambas as campanhas de amostragem seguiram o mesmo procedimento, sendo que a primeira durou três dias e a segunda, dois dias. O objetivo de tais campanhas é o monitoramento das plumas contaminantes, formadas com o funcionamento das novas fossas, que é averiguado através de amostragens dos pan-lisímetros, lisímetros de aço inoxidável e piezômetros multiníveis.

As amostras foram extraídas através de uma bomba peristáltica *Geopump II*. Em campo, foram medidos os seguintes parâmetros: pH, Eh, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Todos esses equipamentos de medição para parâmetros físico-químicos foram calibrados, antes e durante os experimentos, pelos métodos de rotina que constam em seus manuais de operação. Outro parâmetro averiguado foi alcalinidade, sendo que a técnica adotada foi a da titulação, com a utilização de ácido sulfúrico 0,16 N e indicador misto para detectar o ponto de viragem.

Além disso, as amostras foram analisadas quanto a íons maiores e menores, Carbono Orgânico Dissolvido (COD), coliformes fecais e totais, conteúdo viral e série nitrogenada (nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico, nitrogênio total, amônia, além de sílica dissolvida). Os cátions foram analisados no Laboratório de Química (IGc-USP) pelo método de espectrometria de absorção atômica com plasma induzido (ICP-AES), os ânions no Laboratório de Hidrogeoquímica do Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-IGc-USP) pelo método de cromatografia líquida. Coliformes fecais e totais e o conteúdo

bacteriano geral foram analisados no Laboratório de Microbiologia da USP através do método de Contagem Microrgânica. As amostras para série nitrogenada e COD foram destinadas a laboratórios privados.

As campanhas de amostragem seguiram basicamente quatro etapas. Na primeira, todos os equipamentos e utensílios necessários foram dispostos adequadamente. A bomba peristáltica ficou em cima das muretas de concreto que protegem as tubulações de amostragem. Os equipamentos para análises dos parâmetros básicos foram dispostos em cima das tampas de concreto das fossas. Ao redor das fossas ficaram os utensílios de apoio para análises dos parâmetros básicos e amostragem (geladeiras térmicas e frascaria). Na segunda etapa, as amostras dos resíduos líquidos foram succionadas pela bomba peristáltica e distribuídas conforme o uso: tubos de ensaio para parâmetros de pH, Eh, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica; béqueres de 10ml para a alcalinidade; e frascos de polietileno para série nitrogenada e íons maiores e menores.

Já na terceira etapa, todos os frascos contendo amostras que seriam encaminhadas para análises em laboratórios foram devidamente identificados com o código da tubulação succionada, tipo da fossa (se alternativa ou de controle), tipo de análise a ser efetuada, data e horários de cada coleta. Finalmente, os mesmos foram armazenados em geladeiras portáteis térmicas ou isopores, ambos contendo gelo.

É importante destacar que a cada troca da tubulação para coletar as amostras, todos os frascos para análise dos parâmetros básicos foram lavados com água destilada, evitando assim uma possível contaminação cruzada induzida entre as amostragens. Além disso, todas as pessoas envolvidas nas coletas utilizaram luvas de plástico descartáveis. Os frascos para armazenamento das amostras eram esterilizados. Todos os dados dos parâmetros citados acima foram anotados em tabelas (Seção ANEXOS – Tabelas A1 a A6).

Para o armazenamento de amostras bacterianas foram usados frascos autoclavados, feitos de vidro ou de plástico PE, que foram esterilizados em autoclave (a pressão e temperatura pré-definidas). Estes foram manuseados com luvas descartáveis, que eram trocadas a cada mudança de amostra.

Para a coleta de amostras virais, em lisímetros de aço inoxidável, foi provocada uma situação de vácuo dentro dos lisímetros permitindo assim a posterior sucção de amostras pela tubulação adequada do aparelho.

Preservação das amostras

As campanhas de amostragem devem sempre seguir alguns cuidados que minimizem as alterações sofridas entre a coleta e a análise. A falta de diretrizes consistentes para técnicas de preservação e validade das amostras resulta em incertezas acerca do material coletado.

Todos os procedimentos envolvidos neste projeto durante as etapas de amostragem e preparação de amostras seguiram os protocolos de técnicas validadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Norma CETESB, 1988).

As amostras coletadas foram colocadas em frascos apropriados confeccionados a partir de materiais inertes, tais como polietileno, poliéster, etc. previamente descontaminados. O manuseio dos frascos e coletas das amostras foi realizado com a utilização de luvas para evitar possíveis contaminações.

De acordo com as condições físico-químicas da amostra, pode ocorrer a formação de sais, devido aos seus constituintes, precipitando-os no fundo do recipiente, resultantes de interações provenientes da mudança do ambiente (por exemplo, o pH).

A precipitação é eliminada essencialmente por meio da adição de ácido nítrico até um pH menor que 2. A combinação de um pH baixo e um excesso de íon nitrato asseguram que os íons metálicos estejam em solução. Outros ácidos (hidroclórico ou sulfúrico) podem causar a precipitação de alguns sais insolúveis e/ou interferentes analíticos como cloretos e sulfatos.

A filtragem se faz necessária para a análise dos cátions e ânions, pois as partículas sólidas presentes no líquido amostrado podem absorver ou adsorver diversos tipos de íons e baixar significativamente o teor de metal dissolvido na amostra. Esta filtragem foi feita através de uma bomba a vácuo (TE-058, *TECNAL*), utilizando uma membrana de acetato-celulose de 0,45µm da marca Millipore disposta em um equipamento de filtragem de acrílico da marca NALGENE. Posteriormente, a amostra filtrada era dividida entre dois frascos de polietileno, sendo um para análise de cátions e outro de ânions. Ao frasco para análise de cátions foram adicionadas quatro gotas de ácido nítrico. É importante ressaltar que o ácido somente foi adicionado à amostra já filtrada. A nomenclatura utilizada nos frascos seguiu a mesma da estipulada em campo. Entre a filtração de uma amostra e outra, a limpeza do sistema foi feita utilizando água destilada.

A refrigeração também é um fator importante para a preservação de amostras, sendo que a temperatura deve ser mantida sempre constante a 4°C. Todos os frascos com amostras de água foram armazenados em tempo integral em geladeiras térmicas ou isopores com gelo, no campo ou nos automóveis, e em geladeiras no Laboratório de Modelos Físicos do Instituto de Geociências antes dos mesmos serem encaminhados aos respectivos laboratórios responsáveis pelas análises dos parâmetros físico-químicos necessários.

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Cronograma Geral do Projeto

O aluno participou dos projetos do orientador nessa área desde o final de dezembro de 2006, concluindo diversas atividades. Devido à extensão destes projetos superar os prazos para a finalização do Trabalho de Formatura, o término do monitoramento estará a cargo de outro membro da equipe de pesquisa do orientador.

As atividades deste Trabalho de Formatura abrangeram a análise da eficiência do sistema de barreira reativa até o mês de setembro. Isto não restringiu o aprendizado que o aluno teve participando da instalação da fossa e de parte de seu monitoramento.

Tabela 3. Cronograma das atividades desenvolvidas no projeto.

ATIVIDADE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Análise bibliográfica.												
Familiarização com a hidrogeologia da área e com o <i>design</i> da fossa melhorada.												
Confecção dos instrumentos de coleta de amostras das fossas.												
Construção das fossas melhorada e de controle.												
Monitoramento das fossas com coleta de amostras de água para análises químicas.												
Tratamento dos dados e preparação do Relatório Final.												

Dificuldades encontradas

O primeiro problema deparado de forma mais evidente deu-se devido às complicações na obtenção dos materiais de construção necessários para a fossa alternativa, complicando-se à medida que a necessidade de volume destes materiais aumentava acima das expectativas planejadas.

Durante os trabalhos de campo realizados para a instalação das fossas no Distrito de Parelheiros enfrentaram-se alguns contratempos. A necessidade de uma moradia próxima aos locais de construção das fossas para otimizar o trabalho foi dificultado devido à falta de lugares adequados para o repouso, além da constante preocupação com a violência que afeta aquela região.

O fator da violência local também foi levado em consideração durante os períodos de monitoramento. Devido a isto, foi optado por idas e voltas diárias entre São Paulo – Parelheiros, com o empecilho do gasto de tempo para este fim.

A inconstância do clima na região de trabalho, principalmente próxima à Barragem, dificultou muitas etapas da construção e do monitoramento.

Após as fases de monitoramento, o atraso na devolução das análises dos parâmetros bacteriológicos por parte dos laboratórios encarregados dificultou a

interpretação e complicou em muito a confecção do relatório, o que resultou em perdas de tempo e em um desenvolvimento deste Trabalho de Formatura aproveitando-se até os últimos momentos possíveis.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos a partir das análises físico-químicas e bacteriológicas do monitoramento das fossas alternativa (FA) e de controle (FC). Estes resultados compreendem uma coleta inicial realizada em meados de junho e duas grandes campanhas de amostragens posteriores: a primeira no início de agosto e a segunda em meados de setembro.

Na coleta inicial, ao contrário das outras campanhas, foi jogada, nas fossas, água de poço para início das mesmas e para o teste dos instrumentos. Portanto, os valores apresentados desta coleta não serão muito discutidos. Após a coleta de amostras para essa campanha, conectou-se o esgoto definitivamente para cada fossa.

Os valores apresentados a seguir serão exibidos em dois subtópicos: o primeiro trata dos parâmetros físicos relevantes analisados, como pH, Eh, alcalinidade do meio, temperatura e condutividade elétrica; e o segundo avalia análises de contagens microrgânicas, como bactérias heterotróficas, coliformes totais e fecais, *E. coli*, *Clostridium* sulfito-redutores, *C. perfringens* e Colifagos.

Parâmetros físicos relevantes

pH

Para o caso da fossa alternativa, nas três campanhas, os valores de pH apresentaram aproximadamente a mesma tendência ao longo da profundidade. Isto fica evidenciado nos três gráficos a seguir (Gráficos 1, 2 e 3):

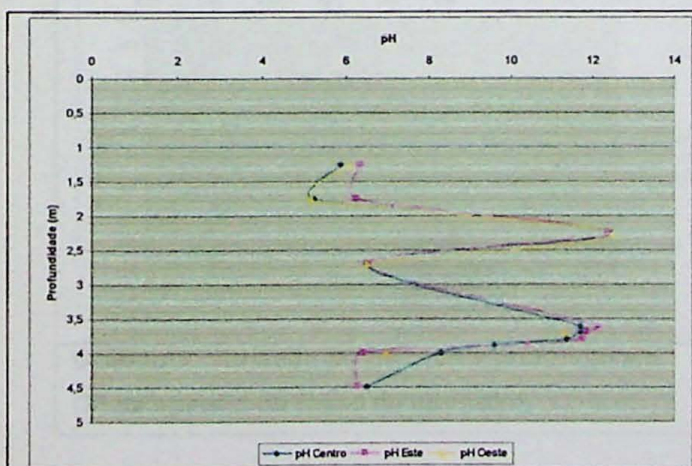


Gráfico 1. Variação do pH com a profundidade (Campanha Inicial da fossa alternativa).

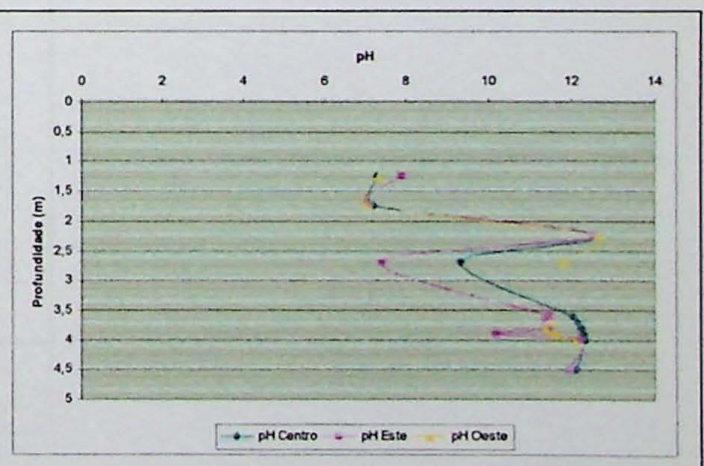


Gráfico 2. Variação do pH com a profundidade (1ª campanha da fossa alternativa).

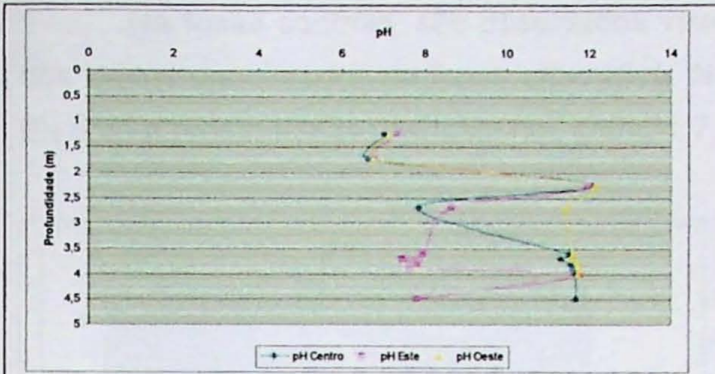


Gráfico 3. Variação do pH com a profundidade (2ª campanha da fossa alternativa).

Contudo, na fossa controle, a estagnação dos valores de pH em torno de 6 e 7 à medida que se aumenta a profundidade é bem maior (Gráficos 4, 5 e 6):

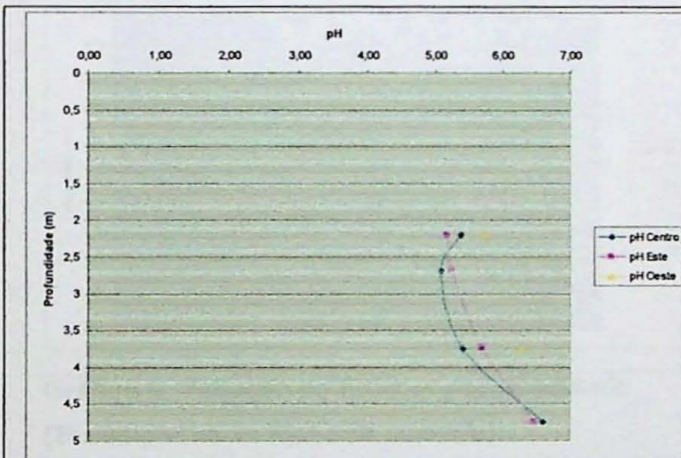


Gráfico 4. Variação do pH com a profundidade (Campanha Inicial da fossa de controle).

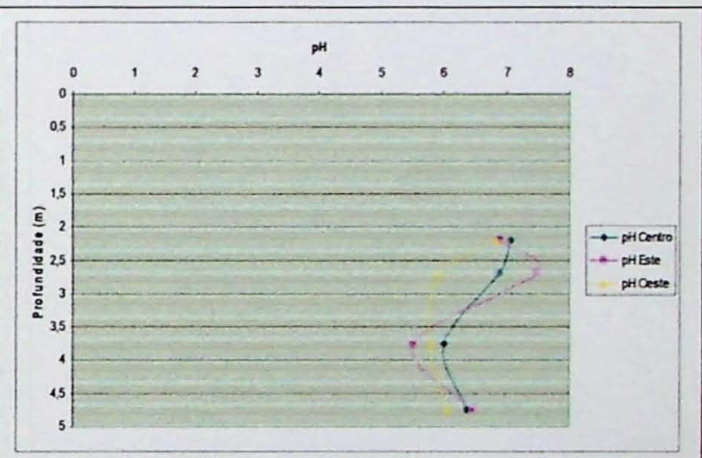


Gráfico 5. Variação do pH com a profundidade (1ª campanha da fossa de controle).

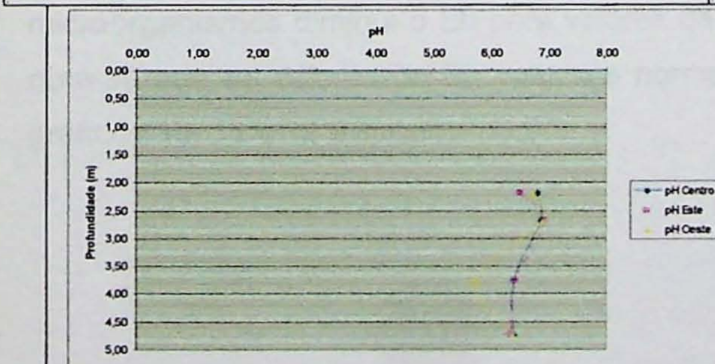


Gráfico 6. Variação do pH com a profundidade (2ª campanha da fossa de controle).

Eh

Na fossa controle, são observados valores que servirão de base para a interpretação dos dados encontrados na fossa alternativa. Nela, observa-se uma tendência de aumento do Eh com a profundidade, evidente nos gráficos 7, 8 e 9.

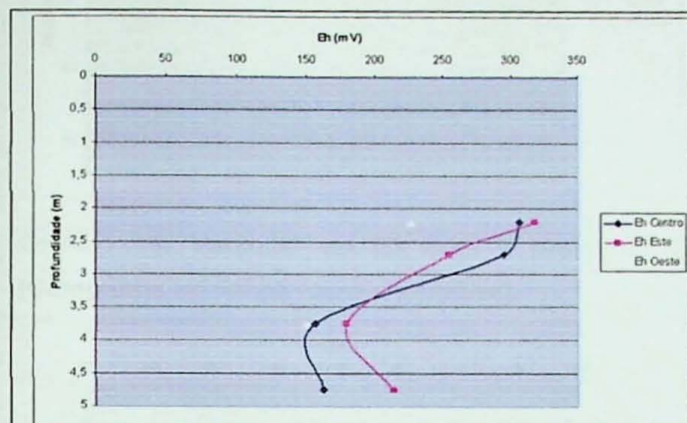


Gráfico 7. Variação do Eh com a profundidade (Campanha Inicial da fossa de controle).

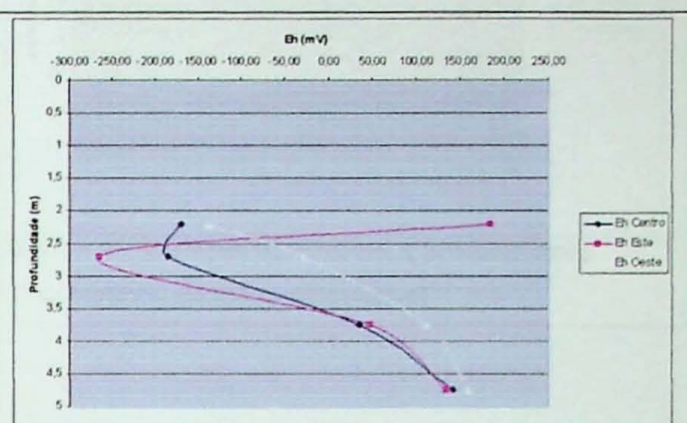


Gráfico 8. Variação do Eh com a profundidade (1ª campanha da fossa de controle).

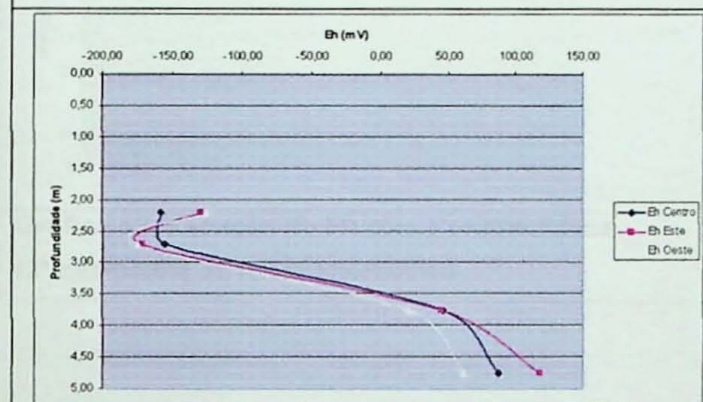


Gráfico 9. Variação do Eh com a profundidade (2ª campanha da fossa de controle).

Já na fossa alternativa, o caráter redutor da escória siderúrgica que compõe a BR contra microorganismos diminui o Eh para valores da ordem de até -250 mV. A partir desta camada, nota-se que os valores de Eh voltam a normalizar, em torno de 0 mV. Observa-se isso nos gráficos 10, 11 e 12 a seguir.

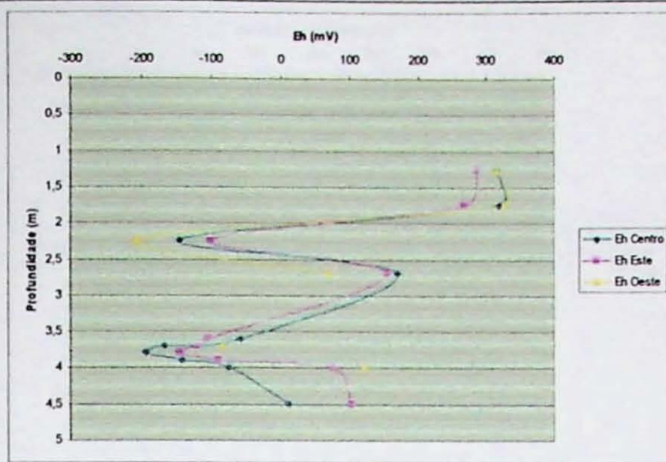


Gráfico 10. Variação do Eh com a profundidade (Campanha Inicial da fossa alternativa).

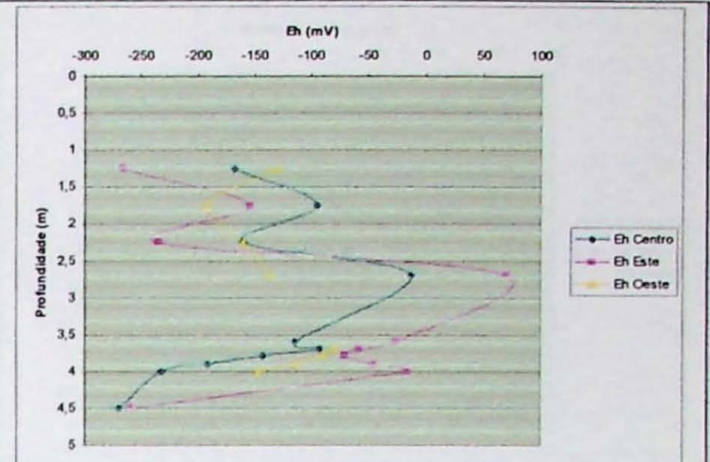


Gráfico 11. Variação do Eh com a profundidade (1ª campanha da fossa alternativa)

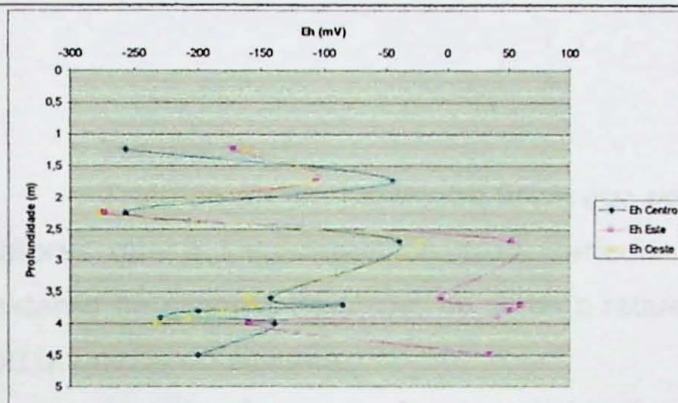


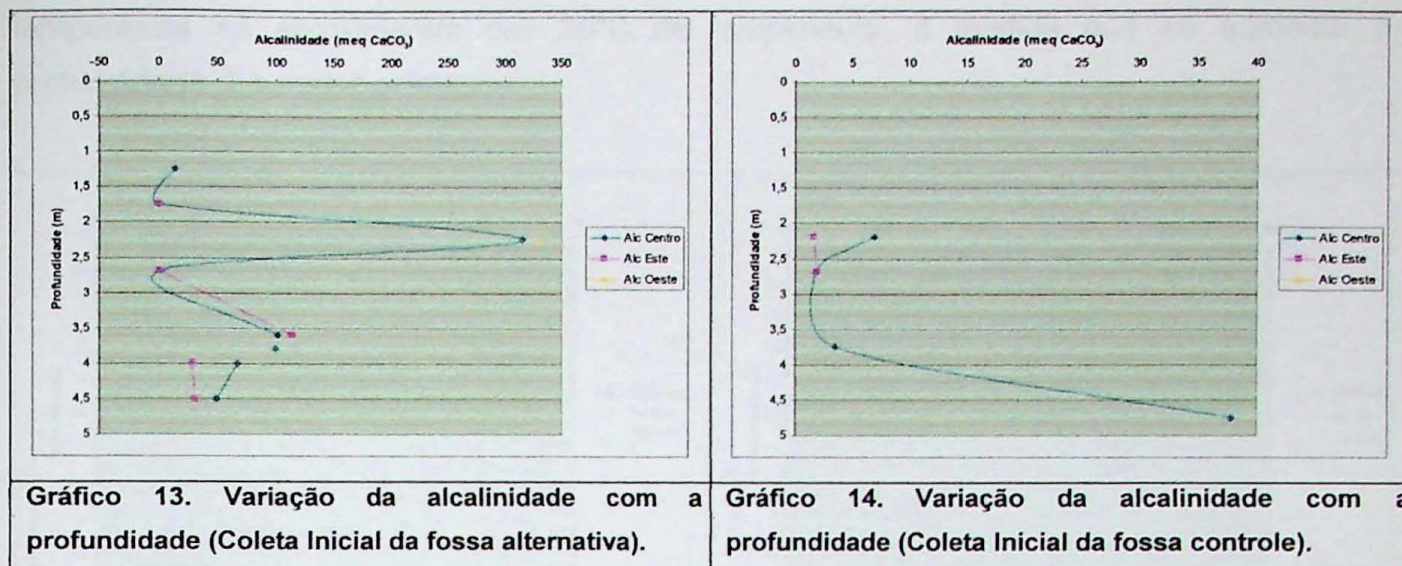
Gráfico 12. Variação do Eh com a profundidade (2ª campanha da fossa alternativa).

Alcalinidade

Embora os dados de alcalinidade sejam unicamente referentes à Coleta Inicial, estes são suficientes para o entendimento de como este parâmetro afeta os sistemas (gráficos 13 e 14).

Na fossa controle, nota-se um aumento progressivo regular da alcalinidade de valores por volta de 5 meq CaCO_3 a 3,5m de profundidade até valores próximos de 40 meq CaCO_3 a aproximadamente 5m de profundidade. Isto se deve provavelmente ao aumento da alcalinidade parcial natural do meio ao longo do aumento da profundidade, através da concentração de íons carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-).

Por outro lado, na fossa alternativa, a principal alteração da alcalinidade está na camada do material reativo BOF. Este incrementa os valores de alcalinidade do sistema até próximos de 300 meq CaCO_3 , garantindo condições impróprias para a sobrevivência de microorganismos (bactérias e vírus) no meio e nas camadas posteriores do sistema da fossa.



Temperatura

Trata-se de um parâmetro físico que pode variar continuamente, dependendo de vários fatores que a influenciam como os períodos climáticos da região, exemplificando um fator externo ao sistema da fossa, ou como o retardamento ou aceleração de processos biológicos ou químicos do sistema.

Através da avaliação dos resultados obtidos em ambas as fossas (alternativa e controle), notam-se dois padrões de comportamento dos valores de temperatura.

O primeiro padrão provavelmente deve-se aos períodos climáticos da região, com influências da pluviosidade. Este pode ser observado tanto na fossa alternativa como na fossa controle, portanto pode ser considerado um padrão de influência "regional".

Observa-se que na Coleta Inicial, desenvolvida em meados de Junho, os valores de temperatura estão em torno de 20°C, com poucas variações. Já na Primeira Campanha, executada no fim de Julho (meados de inverno), os valores encontram-se em torno de 15°C. E por fim, na Segunda Campanha, realizada em meados de setembro (início da primavera), observa-se novamente um aumento dos valores dispostos entre 25 e 30°C.

O segundo padrão é observado através do contraste comportamental da temperatura entre a fossa alternativa e a fossa controle. As tendências observadas nos gráficos construídos a partir dos valores desse parâmetro (Gráficos 15, 16 e 17) mostram que na fossa controle, o incremento da temperatura ao longo da profundidade é mais "regular", sempre tendendo a valores próximos de 20°C à medida que são alcançados os 5m de profundidade na FC. Já na FA (Gráficos 18, 19 e 20), a tendência possui um comportamento bem mais anômalo ao longo da profundidade, provavelmente devido aos processos biológicos e reações químicas que ocorrem nas camadas da BR, como a adsorção dos microrganismos ao material reagente, o aumento do pH e subsequente morte dos biocolóides com liberação de energia ao meio, etc. Mas mesmo na fossa alternativa pode ser observada uma tendência geral dos valores de

temperatura se aproximarem dos 20°C de temperatura, à medida que se aumenta a profundidade dos dados coletados.

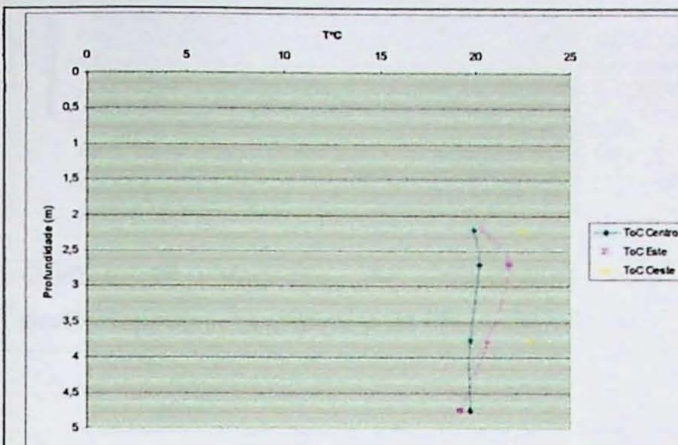


Gráfico 15. Variação da Temperatura com a profundidade (Campanha Inicial da fossa controle).

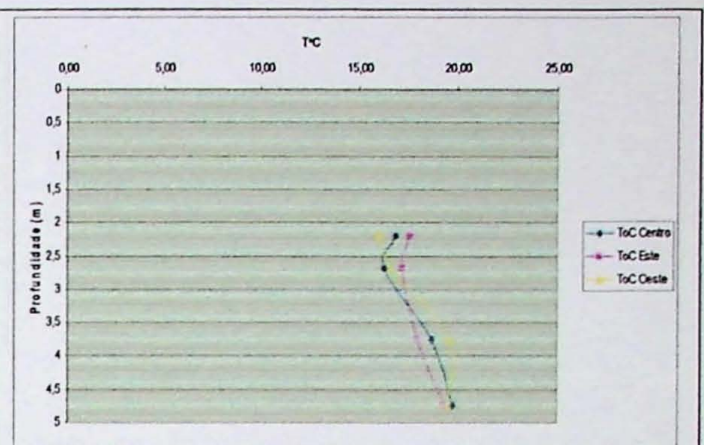


Gráfico 16. Variação da Temperatura com a profundidade (1ª campanha da fossa controle)

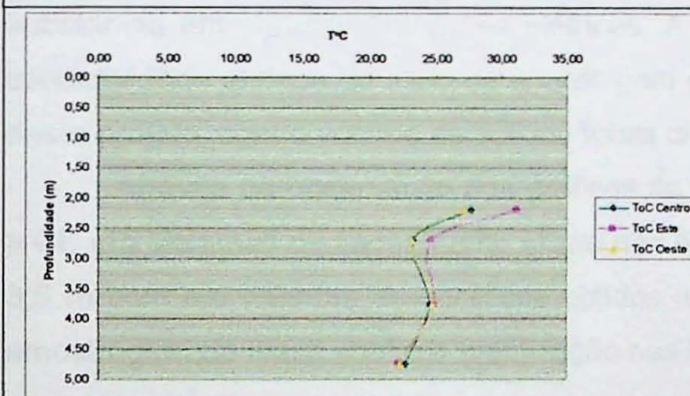


Gráfico 17. Variação da Temperatura com a profundidade (2ª campanha da fossa controle).

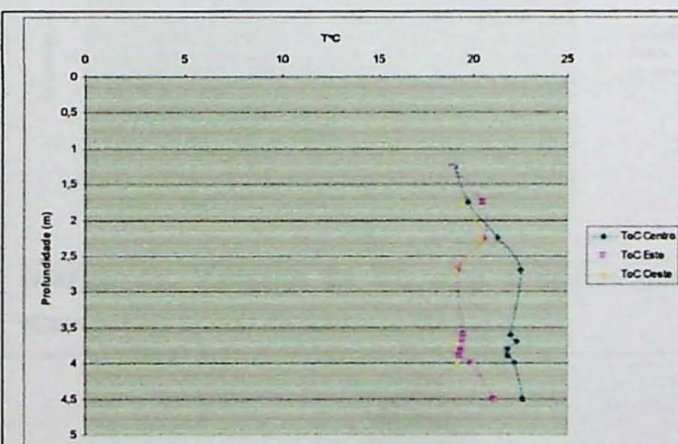


Gráfico 18. Variação da Temperatura com a profundidade (Campanha Inicial da fossa alternativa).

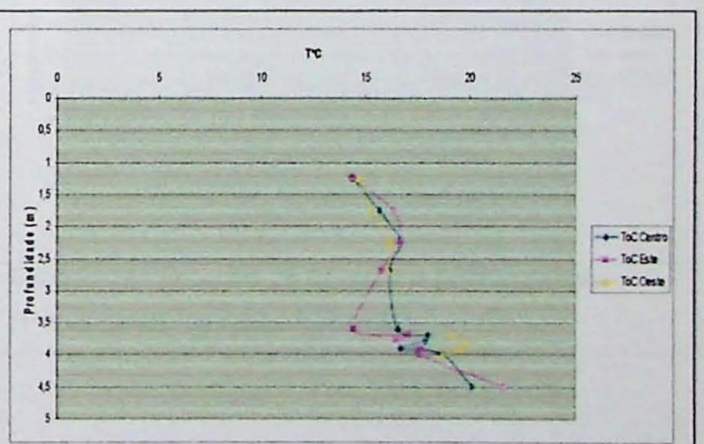


Gráfico 19. Variação da Temperatura com a profundidade (1ª campanha da fossa alternativa)

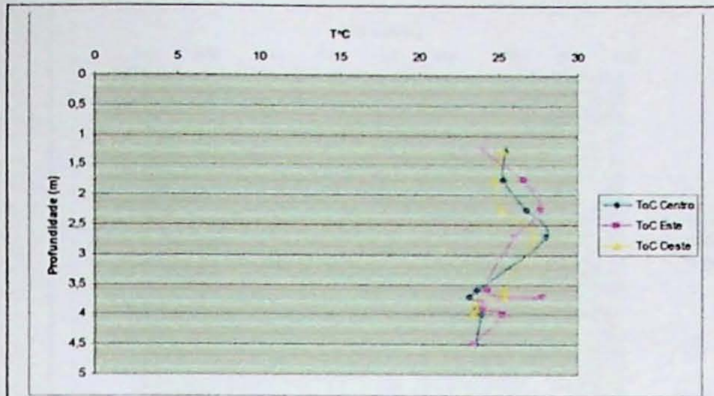


Gráfico 20. Variação da Temperatura com a profundidade (2ª campanha da fossa alternativa).

Condutividade elétrica

Defini-se condutividade elétrica (CE) como a propriedade de uma determinada substância em conduzir correntes elétricas. A partir desta definição básica, correlaciona-se a condutividade elétrica do meio de acordo com os eletrólitos disponíveis no sistema ou, no caso deste projeto, com o volume de sólidos totais dissolvidos (STD).

Através da observação dos gráficos da CE a seguir (Gráficos 21, 22 e 23), nota-se que a CE em sistemas de saneamento *in situ* não é muito expressiva, não ultrapassando valores de 3,5 mS/cm em nenhum dos gráficos obtidos a partir dos valores medidos nas campanhas de amostragem da fossa controle (verificação nas linhas centrais de análise).

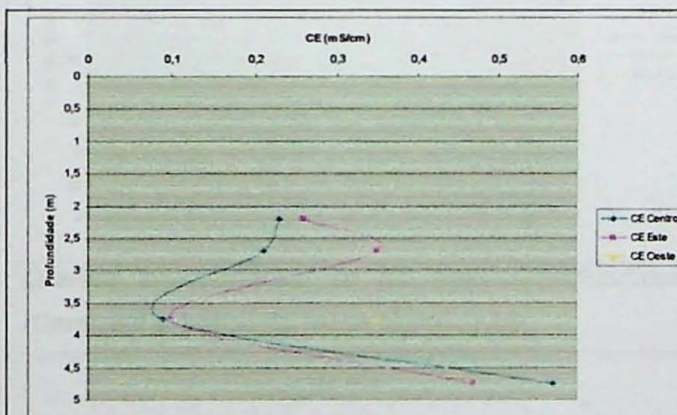


Gráfico 21. Variação da CE com a profundidade (Campanha Inicial da fossa controle).

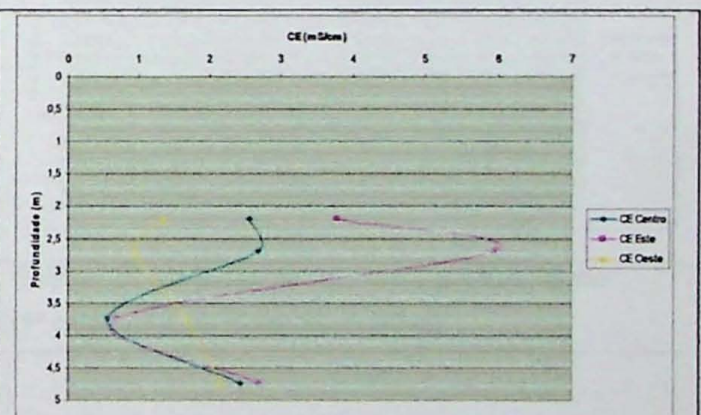


Gráfico 22. Variação da CE com a profundidade (1ª campanha da fossa controle)

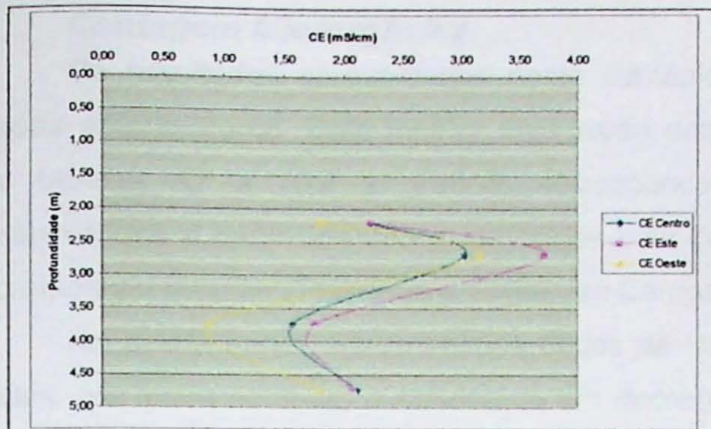


Gráfico 23. Variação da CE com a profundidade (2ª campanha da fossa controle).

Já na fossa alternativa (Gráficos 24, 25 e 26), pode-se notar o incremento da CE, principalmente nas profundidades entre 1,5 e 2,5 m, apresentando valores de até 9 mS/cm. Isto provavelmente deve-se à carga de STD absorvida pela descarga ao longo da camada de BOF. Além dos valores verificados nesta camada, não ocorrem valores anômalos da CE, mantendo números baixos como os observados nas campanhas da fossa controle.

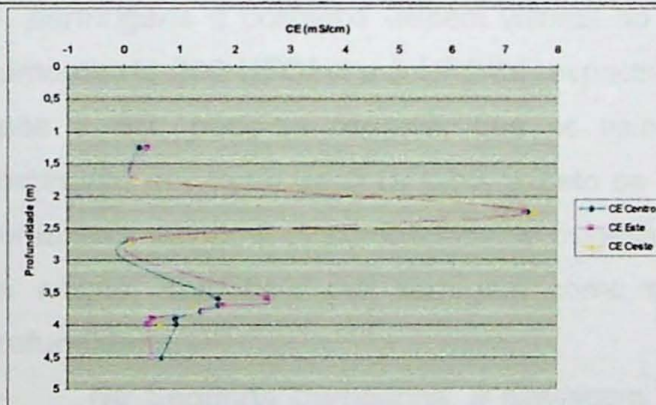


Gráfico 24. Variação da CE com a profundidade (Campanha Inicial da fossa alternativa).

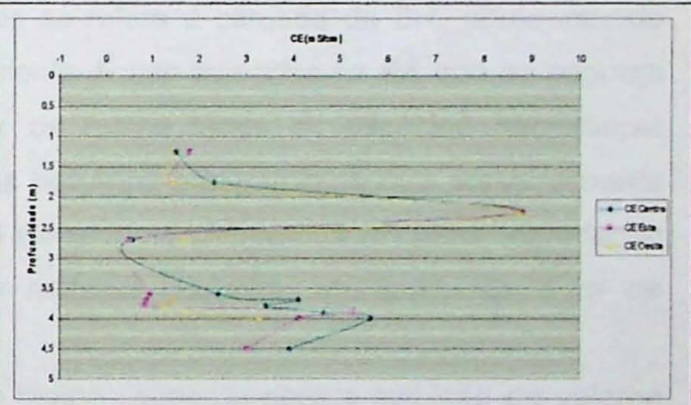


Gráfico 25. Variação da CE com a profundidade (1ª campanha da fossa alternativa)

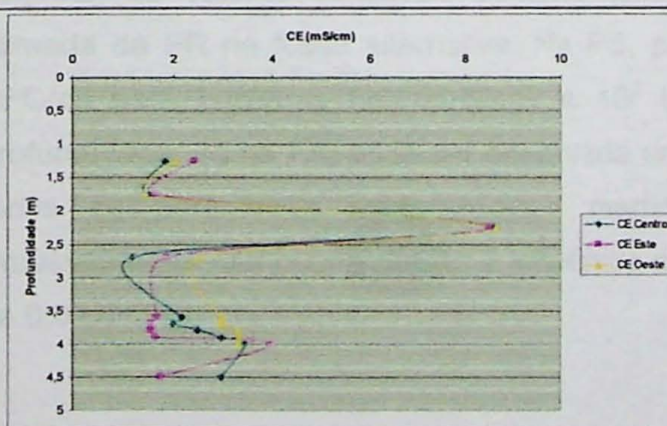


Gráfico 26. Variação da CE com a profundidade (2ª campanha da fossa alternativa).

Contagem Microrgânica

Os resultados apresentados neste subtópico referem-se às espécies bacterianas já citadas anteriormente. Para melhor apreciação destes, será disposta (na seção de ANEXOS nas tabelas A7 a A12 e gráficos correspondentes) uma série de tabelas e gráficos desenvolvidos a partir dos dados fornecidos pela Cetesb (Coleta Inicial) e pelo Laboratório de Microbiologia da USP (Primeiras e Segundas Campanhas).

Na coleta inicial, foram obtidos dados de Bactérias Heterotróficas, coliformes Totais e Fecais. Na fossa controle, é observado um decréscimo natural da quantidade de bactérias à medida que a profundidade aumenta, alcançando valores de até 0 UFC/ml de coliformes totais e fecais a quase 5 m de profundidade. Já na fossa alternativa, os valores das três espécies microrgânicas estabelecem-se em torno de 0 UFC/ml até os 4 m de profundidade, a partir da qual são alcançados picos de valores da ordem de 10^6 UFC/ml.

Na Primeira Campanha de amostragem, os dados medidos na fossa controle só foram coletados em profundidades a partir de 2 m. E todos eles, exceto *C. perfringens* e colifagos, mostram abundância das espécies bacterianas a essa profundidade, exibindo valores da ordem de 10^3 até 10^5 UFC/ml. Já na fossa alternativa, devido à disposição da BR nesta mesma profundidade, nota-se o decréscimo progressivo dos valores à medida que se adentra na camada, alcançando até 0 UFC/ml em torno de 2,5 m de profundidade. Apenas os valores de *C. perfringens* e colifagos exibem valores no que se refere à camada da BR, apresentando números de 300 UFC/ml e 3 UFC/ml respectivamente. E nas camadas da FA que se seguem após a BR, pode-se observar que os valores de quase todas as espécies bacterianas continuam em torno de 0 UFC/ml, exceto os das bactérias heterotróficas que provavelmente aumentam devido à disponibilidade de oxigênio e alimento na camada da BR para degradação de nitrato, composta por serragem como seu material reagente, em torno de 4 m de profundidade.

Na Segunda Campanha, a passagem do tempo cooperou para a exibição de valores mais condizentes com o esperado, sendo suficiente para equilibrar o sistema. Na fossa controle, os valores continuam relativamente altos nas profundidades correspondentes à camada da BR na fossa alternativa. Na FC, por exemplo, ocorrem valores da ordem de 10^4 UFC/ml para bactérias heterotróficas e 10^3 UFC/ml para *C. perfringens* ambas a 3m de profundidade. Já na FA, pode ser observada uma homogeneização muito clara dos valores de todos os parâmetros bacteriológicos medidos a partir dos 2,5 m de profundidade. Provavelmente isto ocorre devido à influência da BR, pois todos estes se estabilizam em torno de 0,0 UFC/ml.

INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Parâmetros físicos relevantes

Nota-se claramente nos valores medidos que a principal alteração do pH na fossa alternativa dá-se pela influência da escória siderúrgica (BOF), sendo este material de origem altamente cáustica (maior especificação no tópico sobre Levantamento Bibliográfico – Escória de Siderúrgica BOF).

As condições criadas devido ao BOF (pH em torno de 12) são propícias para a adsorção de bactérias e vírus ao material, além de dificultarem a sobrevivência destes organismos no sistema. Já na fossa controle, os valores de pH mantêm-se constantes (oscilando entre 6 e 7), devido à inexistência da camada de BOF.

A influência da camada de BOF dá-se também sobre o Eh, tornando-o extremamente redutor, alcançando valores picos de até -250 mV. Após a passagem do efluente pela camada da BR, nota-se o aumento gradativo do Eh para valores próximos de 0 mV. Isto torna o sistema mais oxidante, caracterizado pelo limitado aumento de oxigênio dissolvido, tornando a sobrevivência de bactérias heterotróficas viável. Já na fossa de controle, verifica-se a tendência de valores muito maiores de Eh, alcançando até 150 mV, evidenciando meio oxidante, muito propício para a proliferação de bactérias.

Os valores de alcalinidade na fossa de controle são baixos, não superando 40 meq CaCO_3 , naturalmente favorecendo a proliferação de colônias bacterianas em todas as camadas da fossa. Mas na fossa alternativa, ocorre um pico de até 300 meq CaCO_3 na camada de BOF, aumentando demasiadamente a alcalinidade do sistema. Estes níveis de alcalinidade tornam o meio inabitável a qualquer espécie microrgânica.

A temperatura não sofre alterações relevantes ao longo da profundidade na fossa alternativa, ocorrendo apenas um aumento mais evidente de 5°C nos dados da Primeira Campanha. Este incremento ocorre a partir dos 3,5 m de profundidade, o que já se refere ao interior da camada da Segunda BR, referente à degradação de nitrato (esta não é alvo deste Trabalho de Formatura). Mas este aumento provavelmente refere-se às reações de desnitrificação, com consumo de material reagente (neste caso a serragem), e liberação de energia concomitante ao processo. Na fossa de controle, não ocorrem alterações da temperatura ao longo da profundidade com relevância para este estudo.

Quanto à condutividade elétrica, nota-se apenas um pico relevante na fossa alternativa, o que não ocorre em momento algum na fossa de controle. Este pico refere-se à passagem do efluente pela camada de BOF, alcançando valores de até 9 mS/cm, enquanto nas outras camadas estes valores encontram-se em torno de 3 a 4 mS/cm. Este pico deve-se à alta quantidade de STD no material reagente BOF, aumentando a condutividade elétrica do meio consideravelmente, caracterizando o aumento do fluxo do efluente ao longo da camada da BR.

Contagem Microrgânica

Segundo Stimson (2005), resultados a partir de análises de coliformes totais, fecais e *C. perfringens* têm-se mostrado excelentes biotracadores em aquíferos tropicais (detalhado no subtópico Biotracadores, na seção Levantamento Bibliográfico). Portanto, dar-se-á principal atenção a valores relacionados a estas espécies bacterianas.

Nas duas últimas campanhas, é evidente o decréscimo absoluto, para valores em UFC/ml, das populações microrgânicas durante e após a passagem do fluxo pela camada de BOF (disposta entre 1,5 e 2,5m de profundidade) na fossa alternativa. Seja devido à adsorção dos biocolóides pelo material, seja pela impossibilidade de sobrevivência destes organismos em condições extremas de pH impostas pela escória siderúrgica, tende a ocorrer uma diminuição da abundância destes organismos nas camadas seguintes ao material. Já na fossa controle, esse decréscimo de microorganismos é bem menos evidente, mais caracterizado pela filtração dos mesmos pelo solo e pela diminuição do alimento disponível.

CONCLUSÕES

Considerando que a Barreira Reativa para a degradação de microorganismos está disposta entre 1,5 e 2,5 m de profundidade, e que através das análises realizadas nos laboratórios a partir dos dados coletados em campo é possível determinar as cargas microrgânicas de entrada e saída na BR, pode-se estipular valor de eficiência de degradação da BR para cada um dos parâmetros bacteriológicos considerados no tempo monitorado.

Para este cálculo, serão considerados os dados referentes às profundidades de 1,25 m (antes da entrada na barreira) e 2,7 m (logo após a saída da barreira). Todos os valores encontram-se na unidade de UFC/ml, e considerados os valores medidos nos aparelhos centrais (c), de leste (e) e de oeste (o) do monitoramento da fossa alternativa.

A seguir são apresentadas as tabelas resultantes deste cálculo:

INICIAL (FA)	Antes da entrada na BR (1,25m)	Após a saída da BR (2,7m)	Taxa de Degradação (%)
Bac. Heterotróficas (c)	9,10E+03	1,80E+05	s/ degradação
Coliformes Totais (c)	48	19	60,4
Coliformes Fecais (c)	0,54	6,6	s/ degradação

Tabela 4: Taxas de degradação obtidos dos dados da Coleta Inicial da FA.

1ª CAMPANHA (FA)	Antes da entrada na BR (1,25m)	Após a saída da BR (2,7m)	Taxa de Degradação (%)
Bac. Heterotróficas (c)	1,1E+04	8,6E+03	21,8
Bac. Heterotróficas (e)	7,2E+03	-	-
Bac. Heterotróficas (o)	1,4E+04	6,5E+01	99,5
Coliformes Totais (c)	1,3E+03	1,0E-02	~100
Coliformes Totais (e)	4,6E+03	-	-
Coliformes Totais (o)	1,4E+03	1,0E-02	~100
Coliformes Fecais (c)	1,1E+03	1,0E-02	~100
Coliformes Fecais (e)	7,0E+02	-	-
Coliformes Fecais (o)	1,1E+03	1,0E-02	~100
E. coli (c)	4,4E+02	1,0E-02	~100
E. coli (e)	1,0E-02	-	-
E. coli (o)	6,6E+02	1,0E-02	~100
Clostridium (c)	2,0E+02	1,0E-02	~100
Clostridium (e)	9,5E+02	-	-
Clostridium (o)	1,0E+03	1,0E-02	~100
C. perfringens (c)	1,0E-02	1,0E-02	s/ degradação
C. perfringens (e)	1,0E-02	-	-
C. perfringens (o)	1,0E-02	1,0E-02	s/ degradação
Colifagos (c)	0,01	0,01	s/ degradação
Colifagos (e)	0,01	0,01	s/ degradação
Colifagos (o)	0,01	0,01	s/ degradação

Tabela 5: Taxas de degradação obtidos dos dados da Primeira Campanha da FA.

2ª CAMPANHA (FA)	Antes da entrada na BR (1,25m)	Após a saída da BR (2,7m)	Taxa de Degradação (%)
Bac. Heterotróficas (c)	6,1E+03	2,1E+03	65,6
Bac. Heterotróficas (e)	7,2E+03	1,5E+01	99,8
Bac. Heterotróficas (o)	7,7E+03	0,0E+00	100
Coliformes Totais (c)	2,2E+04	1,0E+03	95,5
Coliformes Totais (e)	4,9E+03	1,0E-02	~100
Coliformes Totais (o)	4,4E+03	1,0E-02	~100
Coliformes Fecais (c)	2,9E+04	1,0E+03	96,6
Coliformes Fecais (e)	1,2E+04	1,0E-02	~100
Coliformes Fecais (o)	5,4E+03	1,0E-02	~100
E. coli (c)	5,9E+03	8,0E+02	86,4
E. coli (e)	2,4E+03	1,0E-02	~100
E. coli (o)	5,4E+03	1,0E-02	~100
Clostridium (c)	2,1E+03	1,0E-02	~100
Clostridium (e)	1,0E+02	2,0E-02	~100
Clostridium (o)	2,0E+02	1,0E-02	~100
C. perfringens (c)	1,6E+03	1,0E-02	~100
C. perfringens (e)	1,0E+02	1,0E-02	~100
C. perfringens (o)	2,0E+02	1,0E-02	~100
Colifagos (c)	16,2	0,01	99,9
Colifagos (e)	40,3	0,01	~100
Colifagos (o)	7,85	0,01	99,9

Tabela 6: Taxas de degradação obtidos dos dados da Segunda Campanha da FA.

A partir dos valores apresentados nas tabelas acima e da ponderação acerca dos mesmos, verifica-se que, com exceção dos dados da Coleta Inicial que são pouco conclusivos, as taxas de degradação bacteriana estão sempre altas, da ordem de porcentagens superiores a 80%.

Com isso, conclui-se que a barreira para degradação de microorganismos superou as expectativas em torno de seu sucesso, com taxas de degradação microrgânica mais do que a contento.

Mas é importante salientar que, do ponto de vista social do projeto, este método de prevenção contra contaminações bacteriológicas só poderia ser realizado pela comunidade com um auxílio governamental ou com a organização de mutirões dos habitantes locais para a construção destas fossas alternativas de modo coletivo. Isto se deve ao fato da construção desta fossa melhorada ter superado as expectativas de gastos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhajjar, B.J.; Stramer, S.L.; Cliver, D.O.; Harkin, J.M. (1988). Transport Modelling of Biological tracers from septic systems. *Water Resources*, v. 22, p. 907-915.
- Almeida, F.F.M.; Amaral, G.; Cordani, U.G.; Kawashita, K. (1973). The precambrian evolution of the South American cratonic margin South Amazon River. *In: Naim Stehli – The ocean basin and margins*. New York, v. 1, p. 411-446.
- Almeida, F.F.M. (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, v. 48, p.15-26.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1993). Projeto de construção e operação de sistemas de tanques sépticos. NBR 7229/93.
- Baker, M.J. (1996). Laboratory and field studies on the transport and treatment of phosphorous from on site wastewater disposal systems. Waterloo, 195p. Dissertação (Mestrado) – Department of Earth Sciences, University of Waterloo.
- Bales, R.C.; Li, S.; Maguire, K.M.; Yahya, M.T.; Gerba, C.P.; Harvey, R.W. (1995). Virus and bacteria transport in a sandy aquifer, Cape Cod, MA. *Ground Water*, v. 33, p. 653-661.
- Bier, O. (1976). Bacteriologia e Imunologia, em suas aplicações à medicina e à higiene. 17ª edição. São Paulo, Melhoramentos; Rio de Janeiro, FENAME.
- Chapelle, F.H. (1993). *Ground-Water Microbiology & Geochemistry*. John Wiley & Sons, INC. Columbia, South Carolina. USA.

- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Norma CETESB (1988). Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas.
- Deborde, D.C.; Woessner, W.W.; Kiley, Q.T.; Ball, P. (1999) Rapid transport of viruses in a floodplain aquifer: *Water Resources*, v. 33, p. 2229-2238.
- Forbes, D. (2003). Nutrient and pathogen removal in a household septic system using passive porous media filters. Waterloo, 37p. Dissertação (Mestrado) – Department of Earth Sciences, University of Waterloo.
- Foster, S. & Hirata, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO/PAHO – CEPIS. Technical Report. Lima (Peru). 81p.
- Gavaskar, A.R.; Gupta, N.; Sass, B.; Janosy, R.; O'Sullivan, D. (1998). Permeable barriers for groundwater remediation: design, construction and monitoring. Battelle Press, Columbus, OH.
- Gerba, C.P.; Melnick, J.L.; Wallis, C. (1975). Fate of Wastewater Bacteria and Viruses in Soil. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, nº 3, September 1975.
- Harvey, R.W.; George, L.H.; Smith, R.L.; LeBlanc, D.R. (1989). Transport of microspheres and indigenous bacteria through a sandy aquifer: Results of natural and forced-gradient tracer experiments: *Environmental Science and Technology*, v. 23, p. 51-56.
- Harvey, R.W.; Kinner, N.E.; MacDonald, D.; Metge, D.W.; Bunn, A. (1993). Role of physical heterogeneity in the interpretation of small-scale laboratory and field observations of bacteria, microbial-sized microsphere, and bromide transport through aquifer sediments. NSF Grant no. BSC 9012183. 46 ref: p 2713-2721.
- Hasui, Y. (1973). Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul. Instituto de Geociências (Tese de Doutorado). São Paulo. 190p.
- Hasui, Y.; Carneiro, C. D.; Coimbra, A. M. (1975). The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*. 4: 257-266.
- Hirata, R. & Cesarino, A. (2003) Barreiras reativas: Uma tecnologia de baixo custo para aquíferos contaminados. *Meio Ambiente Industrial*, p. 109-113.
- Hirata, R. & Blowes, D. (2004). Development of an alternative septic system design with improved pathogen removal capacity for poor, densely populated peri-urban areas in the developing world. Proposta de projeto submetida à United Nations University, International Network on Water, Environment and Health (UNU/INWEH). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo e Department of Earth Sciences, University of Waterloo.

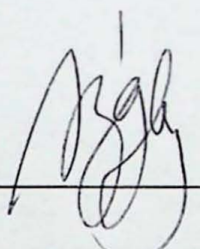
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2000). Censo demográfico do Brasil. URL <http://www.ibge.gov.br>.
- International Business Communications (1999). "Subsurface Barrier Technologies."
- Jowett, C.; Seyfried, P.; Robertson, W.; Jenssen, P.; Tchobanoglous, G.; Dubé, J.P.; Roy, C.; Kachanoski, G.; Forrest, N.; Tyler, J.; Campbell, A. (1995). Alternative Systems: Nutrient Removal and Pathogenic Microbes. Conference Proceedings. Waterloo Centre for Groundwater Research. University of Waterloo, 117p.
- Juliani, C. (1992). O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. *In: Seminário: Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. São Paulo, 1992. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 3-20.*
- Lerner, D.; Issar, A.; Simmers, I. (1990). Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. International Association of Hydrologists. v. 8. Heise. Hannover, 345p.
- Mancini, F. & Riccomini, C. (1994). Estilos estruturais da formação Pindamonhagaba, Bacia de Taubaté, SP. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., Camboriú, 1994. Resumo expandido. Camboriú, SBG, v. 1, p. 564-565.*
- Mikhail, S.A.; Owens, D.R.; Wang, S.S.B.; Lastra, R.; van Huyssteen, E. (1994). Characterization of basic oxygen furnace dust and slag in Steelmaking: MSL No. 691.
- Morrison, S.J. & Spangler, R.R. (1993) Chemical barriers for controlling groundwater contamination. *Environmental Progress*, v. 12, p. 175-181.
- Prefeitura do Município de São Paulo; Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente; Departamento de Educação Ambiental e Planejamento; Divisão Técnica de Planejamento Ambiental (1998) Área de Proteção Ambiental Municipal do Capivari-Monos Relatório Preliminar - Caracterização sócio-ambiental. São Paulo.
- PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). (2006) Relatório do Desenvolvimento Humano. A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água. Nova York, 422pp.
- Proctor, D.M.; Fehling, K.A.; Shay, E.C., Wittenborn, J.L. and Green, J.J.; Avent, C.; Bigham, R.D.; Connolly, M.; Lee, B.; Shepker, T.O.; Zak, M.A. (2000). Physical and Chemical Characteristics of Blast Furnace, Basic Oxygen Furnace, and Electric Arc Furnace Steel Industry Slags. *Environmental Science & Technology*, vol. 34, nº 8, p. 1576-1582.
- Riccomini, C. (1989). O rift continental do sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências (USP), 304p.

- Riccomini, C.; Turcq, B.; Martin, L. (1989). The Colônia Astrobleme. *In: International Symposium on Global Changes in South America During the Quaternary*, São Paulo, 1989. Excursion field guide. São Paulo, INQUA. 14p.
- Riccomini, C. & Coimbra, A. M. (1992). Geologia da Bacia Sedimentar. *In: Negro Jr., A.; Ferreira, A. A.; Alonso, U. R.; Luz, P.A.C. eds. Solos da Cidade de São Paulo*. São Paulo, ABMS/ABEF. p. 37-94.
- Riccomini, C., Coimbra, A. M., Takiya, H. (1992). Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. *In: Seminário de Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo*. Atas, São Paulo, ABAS/ABGE/DBG, p. 21-45.
- Rodriguez S. K. (1998). Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental. Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 171p.
- Sadowski, G.R. (1991). A megafalha de Cubatão no sudeste brasileiro. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 108p.
- Sharma, M.L. & Hughes, M.H. (1985). Groundwater recharge estimation using chloride, deuterium and oxygen - 18 profiles in the deep coastal sands of western Australia. *Journal of Hydrology*, n. 81, p. 93-109.
- Silva, S.R.; Kendall, C.; Wilkison, D.H.; Ziegler, A.C.; Chang, C.C.Y.; Avanzino, R.J. (2000). A new method for collection of nitrate from fresh water and the analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. *Journal of Hydrology*, v. 228, p. 22-36.
- Smyth, D.J.A.; Blowes, D.W.; Ptacek, C.J.; Baker, M.J.; Ford, G.; Foss, S.; Bernstene, E. (2002). Removal of phosphate and waterborne pathogens from wastewater effluent using permeable reactive materials. *In: Proceedings of the 55th Canadian Geotechnical/3rd Joint IAH-CNC/CGS Groundwater Specialty Conference*. Niagara Falls, Canada.
- Stimson, J. (2005). Development of an alternative latrine design utilizing a permeable reactive barrier for pathogen and nutrient attenuation. Waterloo, 75p. Dissertação (Doutorado) – Department of Earth Sciences, University of Waterloo.
- Takiya, H. (1997). Estudo da sedimentação neogênico-quaternária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana. São Paulo, 152p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- United States Environmental Protection Agency (1998) Permeable reactive barrier technologies for contaminant remediation. EPA 600-R-98-125.

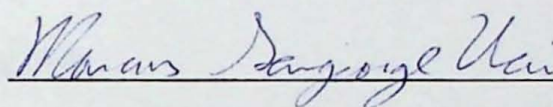
Vieira, S. R. S. S. (1996). Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos complexos Embu e Pilar no Bloco Juquitiba, SP. Tese de Doutorado. Dpto GMG, Instituto de Geociências (USP). São Paulo, 210p.

São Paulo, 07 de Novembro de 2007

De acordo:

P/CTF-2007 

Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata
Orientador



Aluno Marcus Sangiorgio Ucci
Graduando

ANEXOS

(c) =	Monitoramento central das fossas
(e) =	Monitoramento do leste das fossas
(o) =	Monitoramento do oeste das fossas

Legenda das Tabelas A.

Prof.	pH (c)	pH (e)	pH (o)	t (c)	t (e)	t (o)	Eh (c)	Eh (e)	Eh (o)	CE (c)	CE (e)	CE (o)	meq (c)	meq (e)	meq (o)
1,25	5,88	6,35	6,10	19	18,9		315	287	315	0,28	0,43		14,5145		
1,75	5,24	6,25	5,17	19,7	20,5	19,4	320	269	325	0,21	0,21	0,2	0,7007	0,625625	
2,25	12,45	12,38	12,52	21,3	20,6	20,4	-145	-100	-205	7,43	7,39	7,58	315,7154		329,1288
2,7	6,5	6,55	6,50	22,5	19,2	19,1	170	155	70	0,09	0,14	0,12	1,2012	1,35135	
3,6	11,7	12,15		22	19,5		-58	-105		1,7	2,6		101,9018	114,114	
3,7	11,72	11,85	11,31	22,3	19,5	18,9	-167	-120	-85	1,69	1,78	1,25			
3,8	11,36	11,75		21,8	19,4		-193	-145		1,38	1,45		99,6996		
3,9	9,6	10,40		21,8	19,3		-142	-90		0,92	0,52				
4	8,3	6,43	6,98	22,2	19,9	19,1	-76	75	120	0,94	0,45	0,64	66,7667	29,029	
4,5	6,51	6,31		22,6	21,1		12	102		0,67	0,5		48,6486	31,2312	

Tabela A1: Parâmetros físicos da fossa alternativa (Coleta Inicial)

Prof.	pH (c)	pH (e)	pH (o)	t (c)	t (e)	t (o)	Eh (c)	Eh (e)	Eh (o)	CE (c)	CE (e)	CE (o)
1,25	7,28	7,91	7,33	14,4	14,4	14,7	-167,4	-265,5	-130,1	1,51	1,83	1,41
1,75	7,2	7,11	7,04	15,7	16,4	15,3	-94,1	-153,2	-191,5	2,32	1,42	1,42
2,25	12,6	12,58	12,62	16,7	16,7	16,2	-159,9	-234,2	-159,1	8,82	8,83	8,77
2,7	9,31	7,42	11,78	16,2	15,8	16,1	-12	70,3	-135,8	0,58	0,53	1,66
3,6	12,03	11,48		16,6	14,5		-113,9	-25		2,42	0,98	
3,7	12,16	11,39	11,49	18	17,1	19,1	-92,5	-58	-80	4,12	0,89	1,48
3,8	12,23	11,45	11,38	17,9	16,5	19,8	-142	-70	-90,4	3,43	0,86	1,26
3,9	12,29	10,21	11,61	16,7	17,7	19,5	-191	-44,5	-114	4,65	5,33	1,68
4	12,32	12,22	12,08	18,7	17,6	18,7	-231,4	-16	-146,9	5,65	4,17	3,3
4,5	12,12	11,96		20,1	21,6		-270	-259		3,94	3,05	

Tabela A2: Parâmetros físicos da fossa alternativa (Primeira Campanha)

Prof.	pH (c)	pH (e)	pH (o)	t (c)	t (e)	t (o)	Eh (c)	Eh (e)	Eh (o)	CE (c)	CE (e)	CE (o)
1,25	7,02	7,35	7,11	25,4	24,1	25,3	-257,2	-171,5	-162,7	1,84	2,43	2,05
1,75	6,6	6,81	6,76	25,3	26,6	24,7	-44,6	-105,3	-110,8	1,51	1,64	1,46
2,25	12,08	11,98	12,14	26,7	27,7	25,2	-256,8	-272,6	-277,4	8,57	8,52	8,65
2,7	7,84	8,65	11,44	28	26	27,2	-39,9	53	-23	1,19	1,89	2,52
3,6	11,51	7,95	11,60	23,6	24,3	25,3	-143	-5	-162	2,18	1,69	2,99
3,7	11,3	7,44	11,57	23,1	27,8	25,4	-85	60	-155	2	1,59	2,99
3,8	11,54	7,83	11,72	23,6	23,9	23,5	-200	52	-182	2,5	1,58	3,31
3,9	11,6	7,63	11,77	23,6	24	23,6	-230	42	-207	2,98	1,68	3,33
4	11,69	11,80	11,74	23,9	25,3	23,3	-139	-160	-234	3,45	3,99	3,32
4,5	11,68	7,80		23,5	23,4		-200	34,6		2,98	1,76	

Tabela A3: Parâmetros físicos da fossa alternativa (Segunda Campanha)

Prof.	pH (c)	pH (e)	pH (o)	t (c)	t (e)	t (o)	Eh (c)	Eh (e)	Eh (o)	CE (c)	CE (e)	CE (o)	meq (c)	meq (e)	meq (o)
2,2	5,38	5,17	5,74	19,9	20,4	22,5	306	318	226	0,23	0,26		7,007	1,7017	
2,7	5,08	5,25		20,2	21,8		295	254		0,21	0,35		1,85185	1,976975	
3,75	5,40	5,70	6,27	19,7	20,7	22,9	156	179	150	0,09	0,1	0,35	3,5035		
4,75	6,60	6,47		19,7	19,2		162	214		0,57	0,47		37,8378		

Tabela A4: Parâmetros físicos da fossa de controle (Coleta Inicial)

Prof.	pH (c)	pH (e)	pH (o)	t (c)	t (e)	t (o)	Eh (c)	Eh (e)	Eh (o)	CE (c)	CE (e)	CE (o)
2,2	7,07	6,91	6,85	16,90	17,60	16,00	-170,00	185,1	-138,4	2,56	3,8	1,35
2,7	6,9	7,48	5,93	16,30	17,20	16,60	-185,00	-265	-28,2	2,68	5,97	0,94
3,75	6,01	5,54	5,78	18,70	18,00	19,60	35,00	48,5	112	0,56	0,71	1,66
4,75	6,38	6,46	6,06	19,80	19,40	19,50	142,5	135,5	159	2,43	2,71	2,16

Tabela A5: Parâmetros físicos da fossa de controle (Primeira Campanha)

Prof.	pH (c)	pH (e)	pH (o)	t (c)	t (e)	t (o)	Eh (c)	Eh (e)	Eh (o)	CE (c)	CE (e)	CE (o)
2,20	6,80	6,51	6,73	27,70	31,20	27,10	-158,00	-130,00	-126,00	2,24	2,24	1,80
2,70	6,85	6,92	6,90	23,30	24,70	23,20	-156,10	-172,00	-175,00	3,03	3,72	3,16
3,75	6,39	6,42	5,71	24,50	24,90	24,80	46,00	45,00	21,00	1,57	1,76	0,88
4,75	6,39	6,36	6,37	22,70	22,20	22,30	87,00	118,00	61,10	2,12	2,08	1,80

Tabela A6: Parâmetros físicos da fossa de controle (Segunda Campanha)

UFC mL-1 FC CETESB

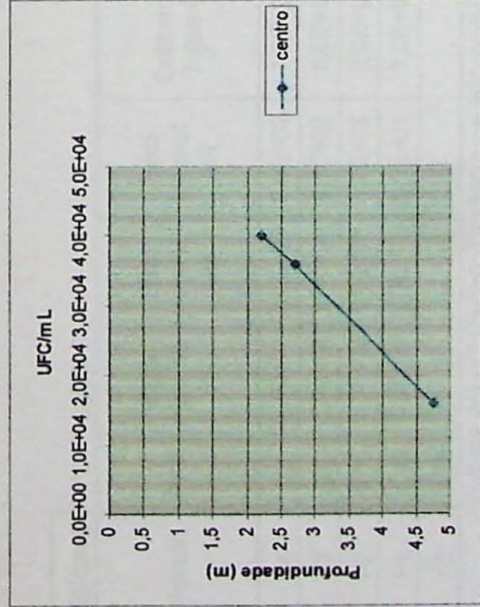
Instrumentos	Prof.	Bacs Heterot. (c)	Coliformes Totais (c)	Coliformes Fecais (c)
P4	2,2	4,00E+04	250	5,8
P3	2,7	3,60E+04	90	2,2
P1	4,75	1,60E+04	0,01	0,01
A1	4,75			

Tabela A7: Parâmetros Microbiológicos da fossa de controle (Coleta Inicial)

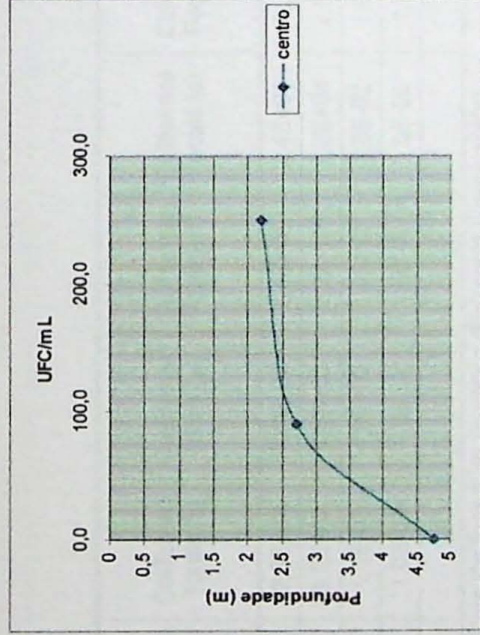
UFC mL-1 FA CETESB

Instrumentos	Prof.	Bacs Heterot. (c)	Bacs Heterot. (e)	Coliformes Totais (c)	Coliformes Totais (e)	Coliformes Fecais (c)	Coliformes Fecais (e)
P5	1,25	9,10E+03		48		0,54	
P4	1,75	7,40E+03	6,70E+03	40	7	0,11	0,06
P3	2,25	1	1	0,01	0,01	0,01	0,01
P2	2,7	1,80E+05		19		6,6	
Z5	3,6	43		0,01		0,01	
Z3	3,8	620		1,08		0,01	
Z1	4	8,10E+06		2,00E+06		1,60E+05	
P1	4,5	7,60E+06		6,00E+05		3,50E+03	
A1	4,5						

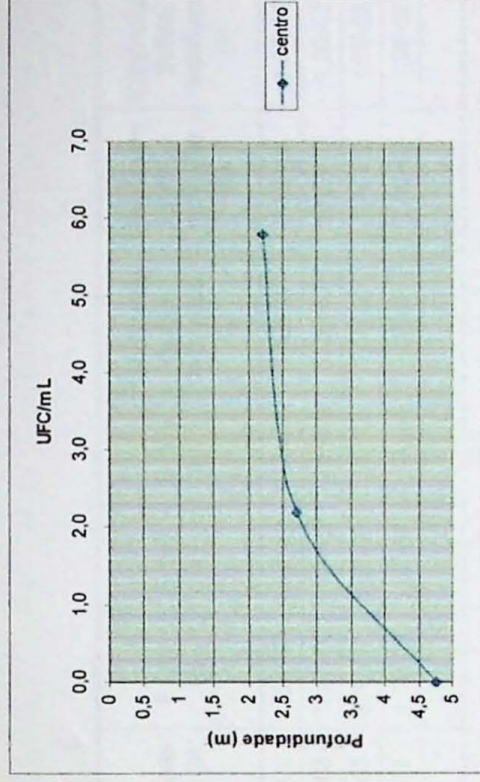
Tabela A8: Parâmetros Microbiológicos da fossa alternativa (Coleta Inicial)



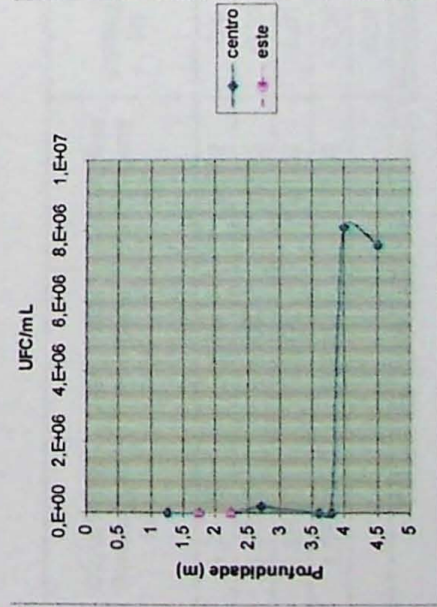
População de Bactérias Heterotróficas com a profundidade - Campanha inicial (FC)



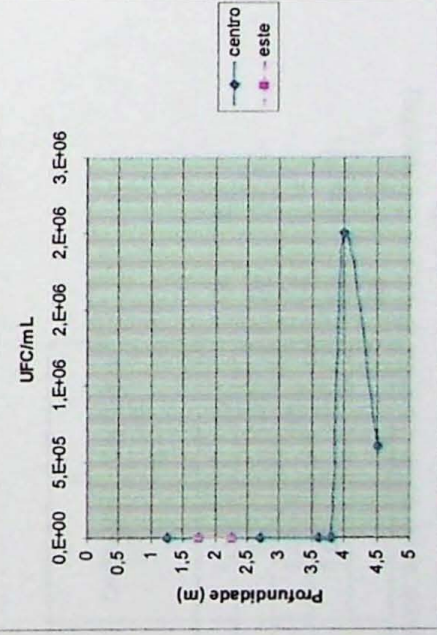
População de Coliformes Totais com a profundidade - Campanha inicial (FC)



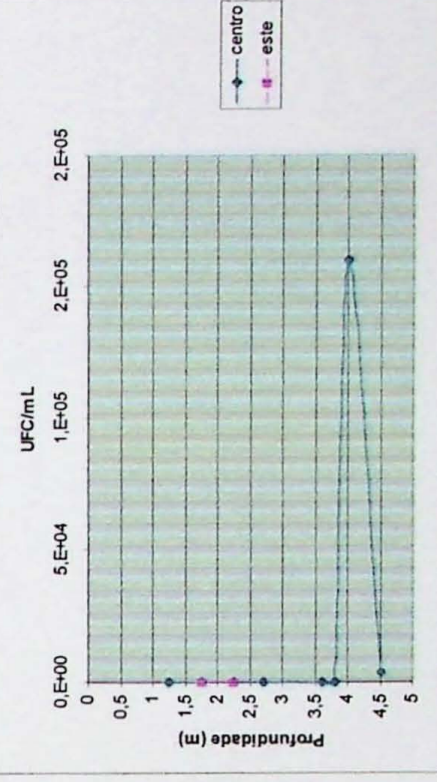
População de Coliformes Fecais com a profundidade - Campanha inicial (FC)



População de Bactérias Heterotróficas com a profundidade - Campanha inicial (FA)



População de Coliformes Totais com a profundidade - Campanha inicial (FA)



População de Coliformes Fecais com a profundidade - Campanha inicial (FA)

UFC/mL		FC Coleta 1														
Instrum.	Prof.	Bacs Heterot. (c)	Bacs Heterot. (e)	Bacs Heterot. (o)	Coliformes Totais (c)	Coliformes Totais (e)	Coliformes Totais (o)	Coliformes Fecais (c)	Coliformes Fecais (e)	Coliformes Fecais (o)	E. coli (c)	E. coli (e)	E. coli (o)	Clostridium Sulfito-redutores (c)	Clostridium Sulfito-redutores (e)	Clostridium Sulfito-redutores (o)
P4	2,2	3,4E+03	2,9E+03	8,9E+02	7,2E+04	2,8E+04	6,0E+02	2,5E+05	2,4E+04	4,0E+02	1,5E+05	9,6E+03	1,0E+02	1,0E+02	1,3E+03	1,0E-02
P3	2,7	1,5E+03	1,6E+04	6,2E+03	5,0E+03	3,0E+02	4,5E+03	2,0E+02	1,2E+04	2,8E+03	1,3E+02	7,4E+03	2,2E+03	3,0E+02	1,6E+03	1,0E-02
P2	3,75	5,0E+03	5,7E+03	8,7E+02	2,0E+03	1,0E-02	4,0E+02	1,0E+02	1,0E-02	1,0E+03	6,0E+01	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
P1	4,75	7,2E+02	2,3E+03	8,0E+01	1,0E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
A1	4,75															

Tabela A9 (1ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa de controle (Primeira Campanha)

Clostridium Perfringens (c)	Clostridium Perfringens (e)	Clostridium Perfringens (o)	Colifagos (c)	Colifagos (e)	Colifagos (o)	Instrum.	Prof.
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,9	2,15	0,4	P4	2,2
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	5	0,25	P3	2,7
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P2	3,75
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	2,35	0,01	0,01	P1	4,75
			0,01			A1	4,75

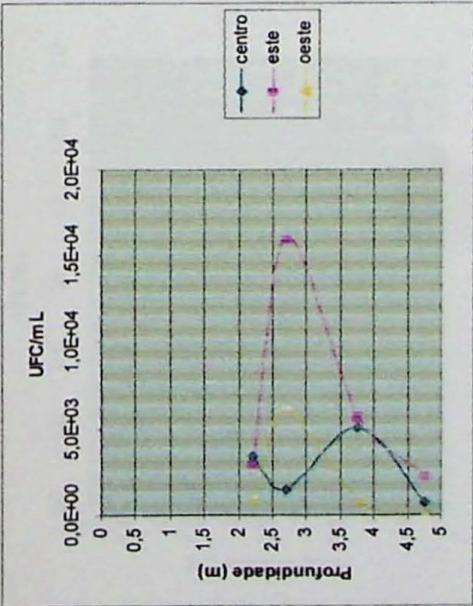
Tabela A9 (2ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa de controle (Primeira Campanha)

UFC/mL	FA	Coleta	Prof.	Bacs Heterot. (c)	Bacs Heterot. (e)	Bacs Heterot. (o)	Coliformes Totais (c)	Coliformes Totais (e)	Coliformes Totais (o)	Coliformes Fecais (c)	Coliformes Fecais (e)	Coliformes Fecais (o)	E. coli (c)	E. coli (e)	E. coli (o)	Clostridium Sulfito-Redutores (c)	Clostridium Sulfito-Redutores (e)	Clostridium Sulfito-Redutores (o)
		1																
P5	1,25	1,1E+04	7,2E+03	1,4E+04	1,4E+03	1,3E+03	4,6E+03	1,4E+03	1,1E+03	7,0E+02	1,1E+03	1,1E+03	4,4E+02	1,0E-02	6,6E+02	2,0E+02	9,5E+02	1,0E+03
P4	1,75	6,2E+03	6,6E+03	7,6E+03	1,0E-02	1,0E-02	1,9E+03	2,0E+02	1,0E+02	1,8E+03	3,0E+02	3,0E+02	5,0E+01	1,4E+03	3,0E+02	3,0E+02	3,0E+02	6,0E+02
P3	2,25	1,0E+01	7,0E+00	2,2E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
P2	2,7	8,6E+03		6,5E+01	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
Z5	3,6	5,0E+01	1,4E+03		1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	8,6E-01	
Z4	3,7	1,1E+02	1,4E+03	1,8E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	3,0E-02	
Z3	3,8	2,0E+01	6,6E+03	4,8E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	3,1E+00	1,0E-02
Z2	3,9	3,0E+01	8,0E+03	1,5E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
Z1	4	1,0E+01	6,3E+01	6,0E+01	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
P1	4,5	1,0E+01	4,0E+01		1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
A1	4,5																	

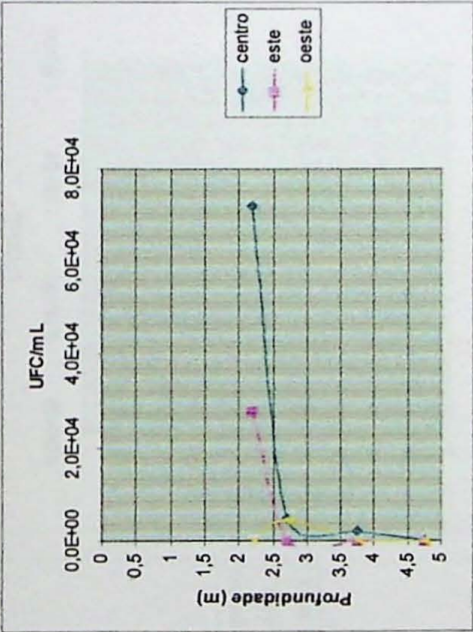
Tabela A10 (1ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa alternativa (Primeira Campanha)

Clostridium Perfringens c	Clostridium Perfringens e	Clostridium Perfringens o	Colifagos c	Colifagos e	Colifagos o	Instrum.	Prof.
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P5	1,25
3,0E+02	1,0E-02	1,0E-02	1	0,6	3,25	P4	1,75
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P3	2,25
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P2	2,7
1,0E-02	1,7E-01		0,01	0,05		Z5	3,6
			0,01	0,01	0,01	Z4	3,7
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,1	0,05	0,01	Z3	3,8
			0,01	0,01	0,05	Z2	3,9
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,05	0,01	Z1	4
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,15	0,01		P1	4,5
			0,01			A1	4,5

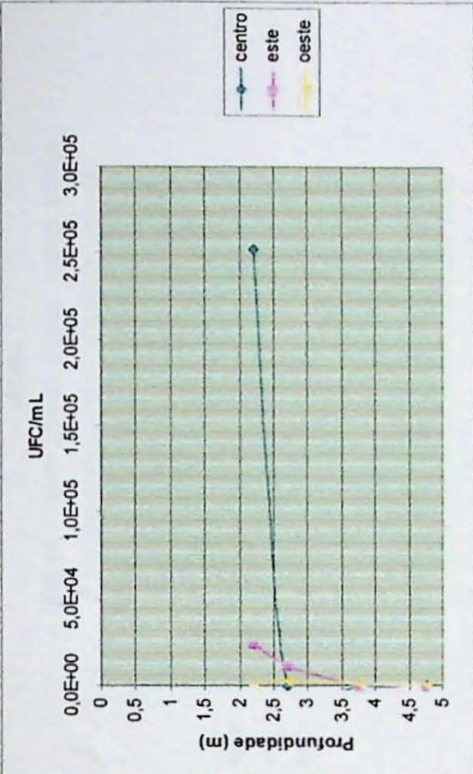
Tabela A10 (2ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa alternativa (Primeira Campanha)



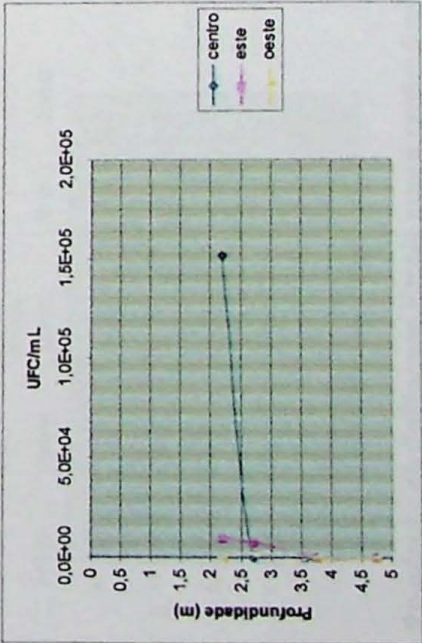
População de Bactérias Heterotróficas com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



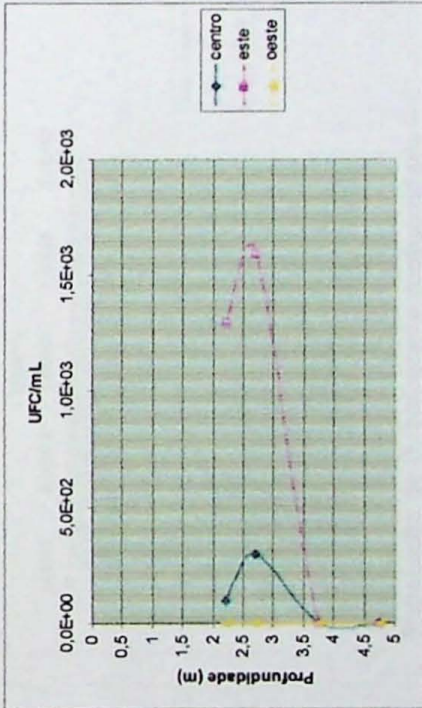
População de Coliformes Totais com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



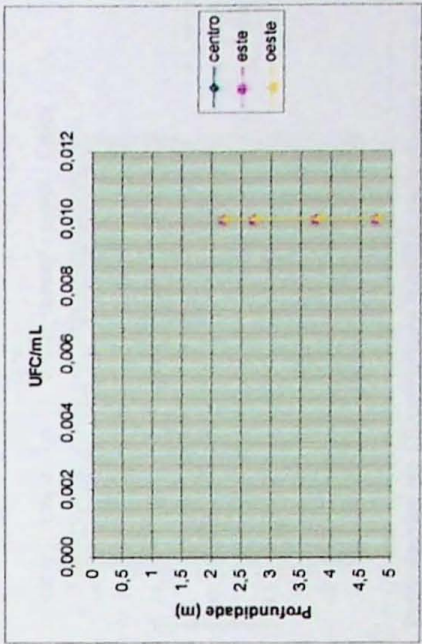
População de Coliformes Fecais com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



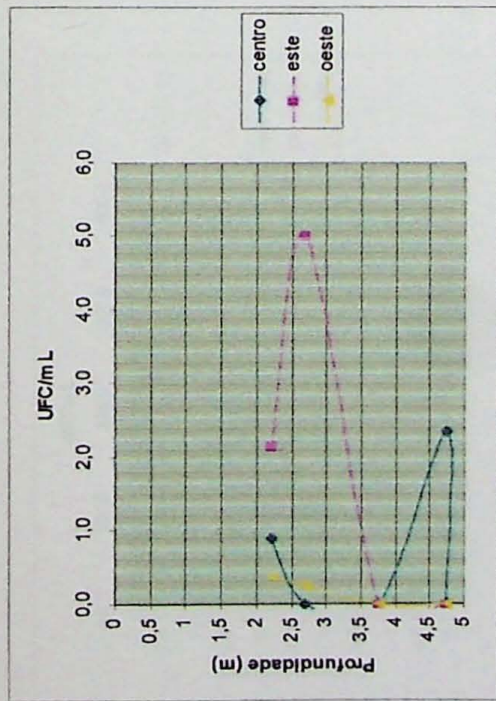
População de *E. coli* com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



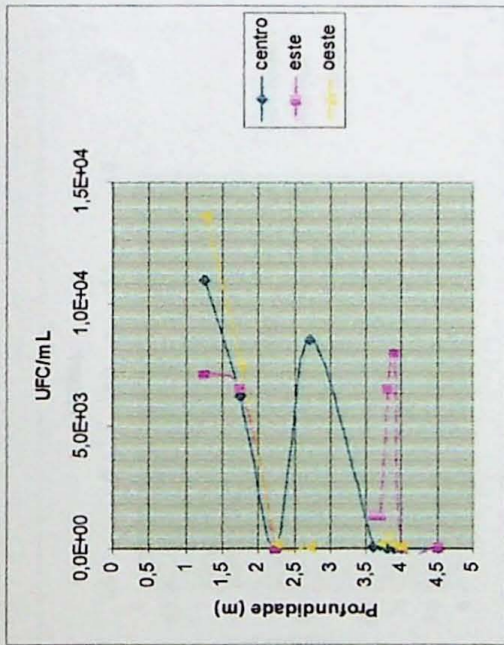
População de *Clostridium* sulfito-redutores com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



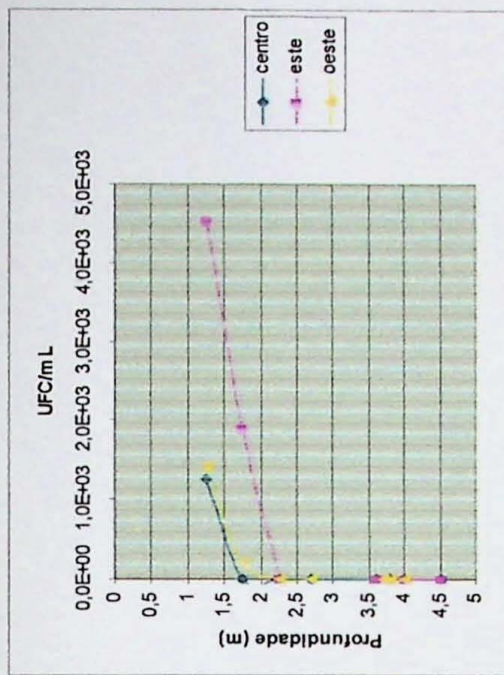
População de *Clostridium perfringens* com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



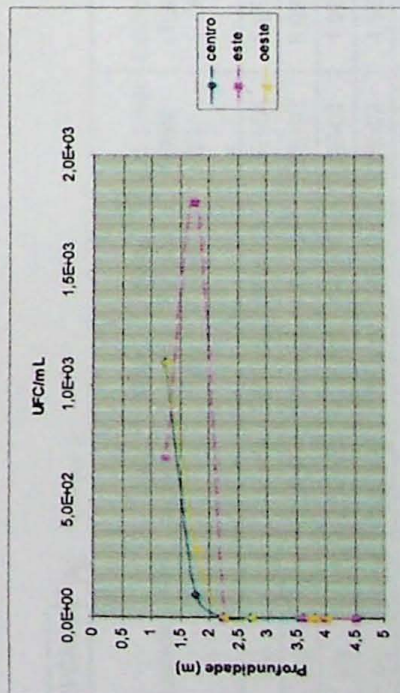
População de Colifagos com a profundidade – Primeira Campanha (FC)



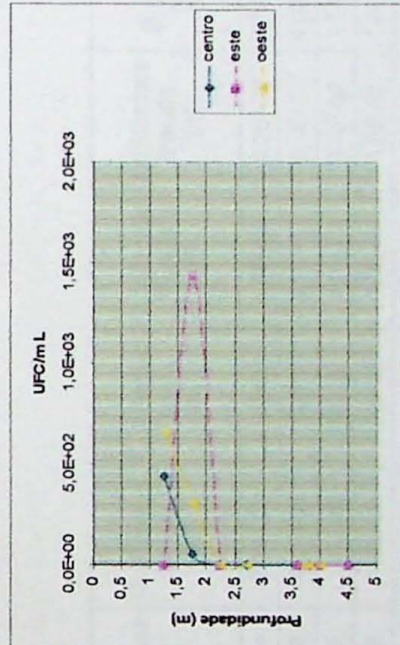
População de Bactérias Heterotróficas com a profundidade – Primeira Campanha (FA)



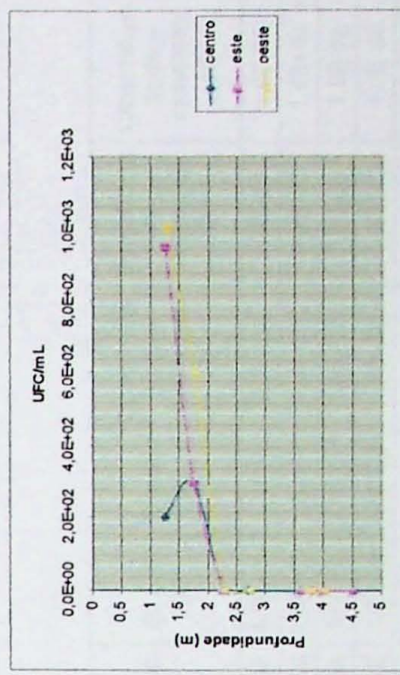
População de Coliformes Totais com a profundidade – Primeira Campanha (FA)



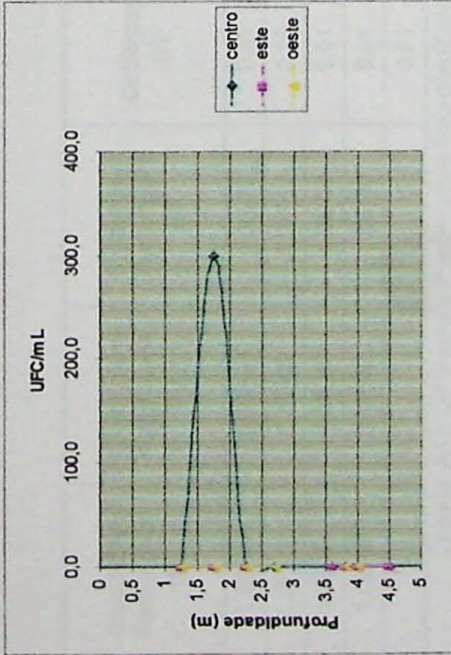
População de Coliformes Fecais com a profundidade – Primeira Campanha (FA)



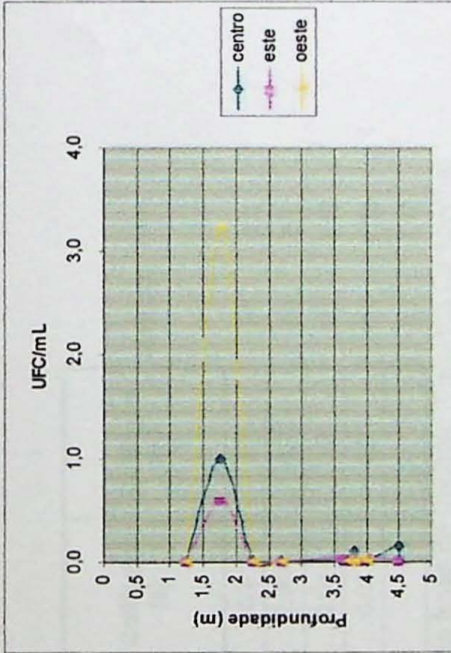
População de *E. coli* com a profundidade – Primeira Campanha (FA)



População de Clostridium sulfito-redutores com a profundidade – Primeira Campanha (FA)



População de *Clostridium perfringens* com a profundidade – Primeira Campanha (FA)



População de Coliformos com a profundidade – Primeira Campanha (FA)

FC		Coleta 2															
UFC/mL	Instrum.	Prof.	Bacs Heterot. (c)	Bacs Heterot. (e)	Bacs Heterot. (o)	Coliformes Totais (c)	Coliformes Totais (e)	Coliformes Totais (o)	Coliformes Fecais (c)	Coliformes Fecais (e)	Coliformes Fecais (o)	E. coli (c)	E. coli (e)	E. coli (o)	Clostridium Sulfito-redutores (c)	Clostridium Sulfito-redutores (e)	Clostridium Sulfito-redutores (o)
	P4	2,2	1,8E+04	1,6E+04	9,9E+03	2,6E+04	1,9E+04	2,0E+03	2,1E+04	4,0E+03	2,0E+02	1,0E-02	4,0E+03	1,0E-02	2,0E+02	5,0E+03	1,0E-02
	P3	2,7	1,2E+04	5,3E+03	1,3E+04	3,5E+03	8,0E+03	4,7E+03	1,0E+03	5,0E+03	6,1E+03	4,0E+02	1,0E+03	1,2E+03	1,0E+03	6,0E+02	1,0E+04
	P2	3,75	9,5E+03	9,5E+03	1,4E+03	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E+03	1,0E-02	1,0E-02
	P1	4,75	4,3E+03	1,0E+03	7,4E+03	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
	A1	4,75															

Tabela A11 (1ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa de Controle (Segunda Campanha)

Clostridium Perfringens (c)	Clostridium Perfringens (e)	Clostridium Perfringens (o)	Colifagos (c)	Colifagos (e)	Colifagos (o)	Instrum. Prof.
1,0E-02	3,0E+03	1,0E-02	0,05	3,3	0,01	P4 2,2
1,0E+03	1,2E+02	2,0E+03	0,15	2,95	0,05	P3 2,7
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P2 3,75
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P1 4,75
			0,01			A1 4,75

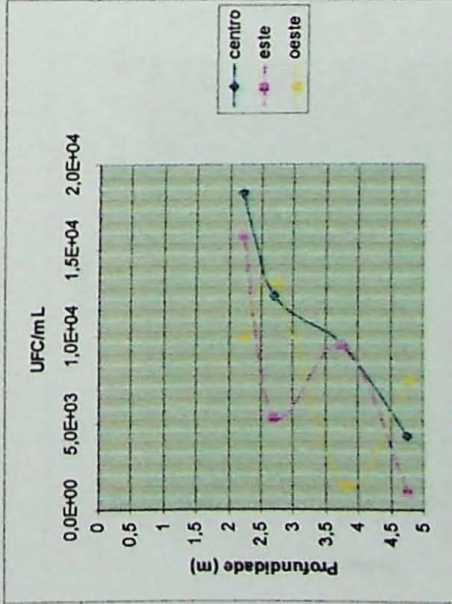
Tabela A11 (2ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa de Controle (Segunda Campanha)

UFC/mL		FA Coleta 2														
Instrum.	Prof.	Bacs Heterot. (c)	Bacs Heterot. (e)	Bacs Heterot. (o)	Coliformes Totais (c)	Coliformes Totais (e)	Coliformes Totais (o)	Coliformes Fecais (c)	Coliformes Fecais (e)	Coliformes Fecais (o)	E. coli (c)	E. coli (e)	E. coli (o)	Clostridium Sulfito-redutores (c)	Clostridium Sulfito-redutores (e)	Clostridium Sulfito-redutores (o)
P5	1,25	6,1E+03	7,2E+03	7,7E+03	2,2E+04	4,9E+03	4,4E+03	2,9E+04	1,2E+04	5,4E+03	5,9E+03	2,4E+03	5,4E+03	2,1E+03	1,0E+02	2,0E+02
P4	1,75	3,5E+01	1,8E+04	1,1E+04	1,0E-02	1,0E+03	2,0E+03	1,0E-02	4,5E+03	1,2E+03	1,0E-02	4,5E+03	1,2E+03	1,0E+02	1,0E+03	1,0E+03
P3	2,25	0,0E+00		2,0E+01	1,0E-02		1,0E-02	1,0E-02		1,0E-02	1,0E-02		1,0E-02	1,0E-02		1,0E-02
P2	2,7	2,1E+03	1,5E+01	0,0E+00	1,0E+03	1,0E-02	1,0E-02	1,0E+03	1,0E-02	1,0E-02	8,0E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	2,0E-02	1,0E-02
Z4	3,7	1,1E+02	2,4E+04	1,0E+01	1,0E-02	1,0E+02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	2,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
Z1	4	4,1E+02	0,0E+00	0,0E+00	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02
P1	4,5	2,0E+01	4,1E+03		1,0E-02	2,0E-02		1,0E-02	2,0E-02		1,0E-02	2,0E-02		1,0E-02	1,0E-02	
A1	4,5															

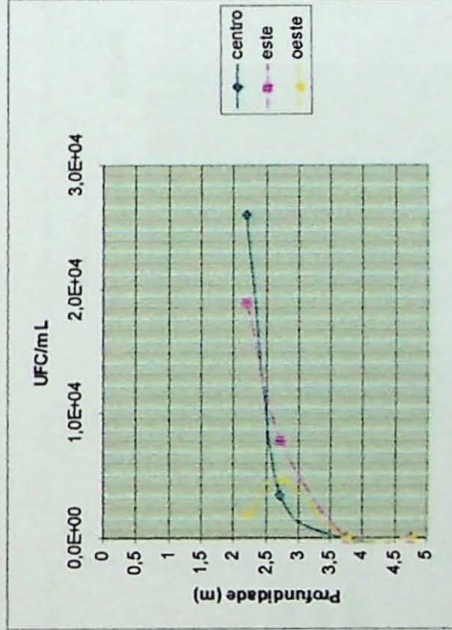
Tabela A12 (1ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa alternativa (Segunda Campanha)

Clostridium Perfringens (c)	Clostridium Perfringens (e)	Clostridium Perfringens (o)	Colifagos (c)	Colifagos (e)	Colifagos (o)	Instrum.	Prof.
1,6E+03	1,0E+02	2,0E+02	16,2	40,3	7,85	P5	1,25
1,0E-02	1,0E-02	8,0E+02	0,01	9,55	0,5	P4	1,75
1,0E-02		1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P3	2,25
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	P2	2,7
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	1,5	0,01	Z4	3,7
1,0E-02	1,0E-02	1,0E-02	0,01	0,01	0,01	Z1	4
1,0E-02	1,0E-02		0,01	0,01		P1	4,5
			0,01			A1	4,5

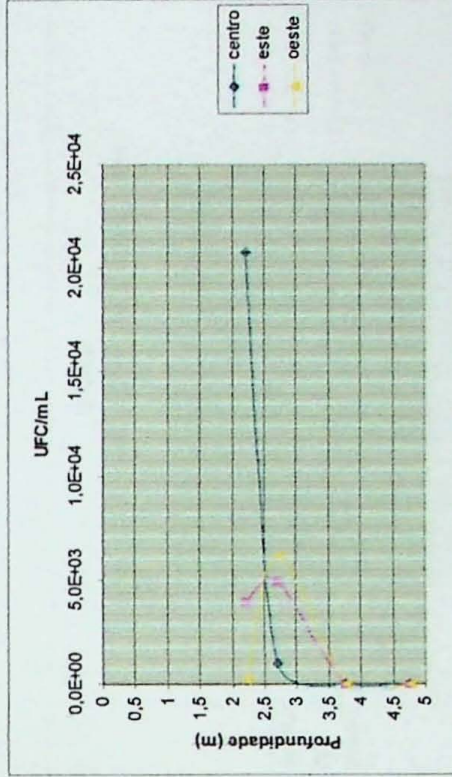
Tabela A12 (2ª Parte): Parâmetros Microbiológicos da fossa alternativa (Segunda Campanha)



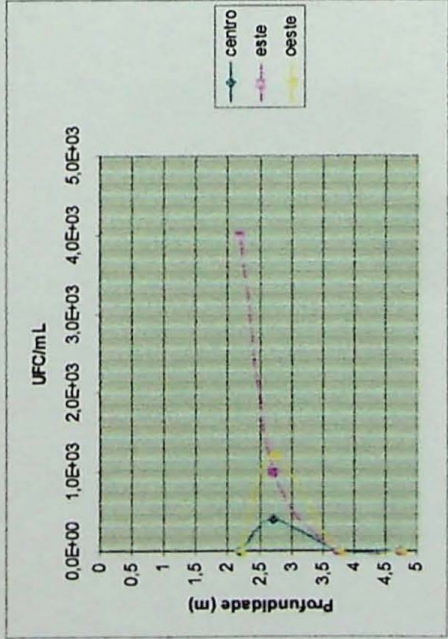
População de Bactérias Heterotróficas com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



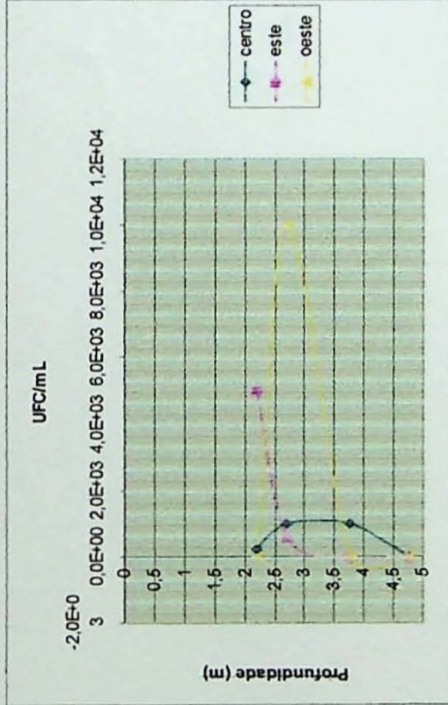
População de Coliformes Totais com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



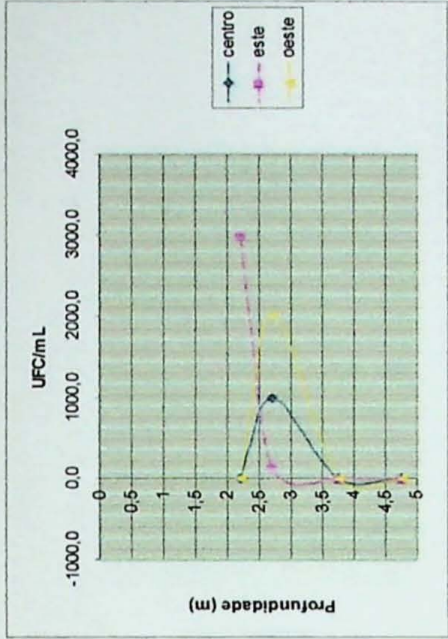
População de Coliformes Fecais com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



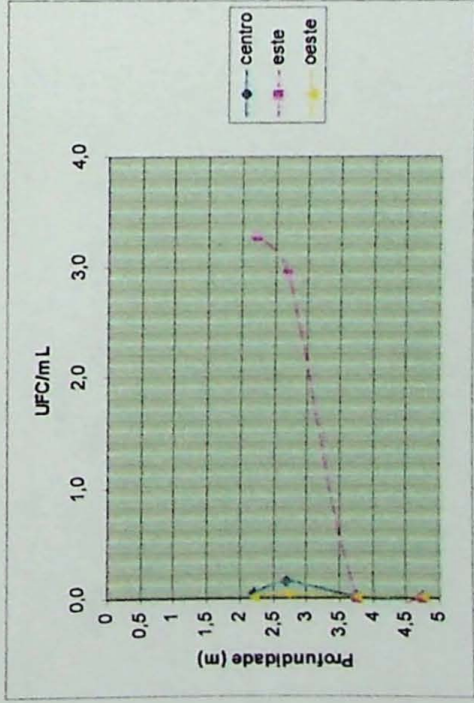
População de *E. coli* com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



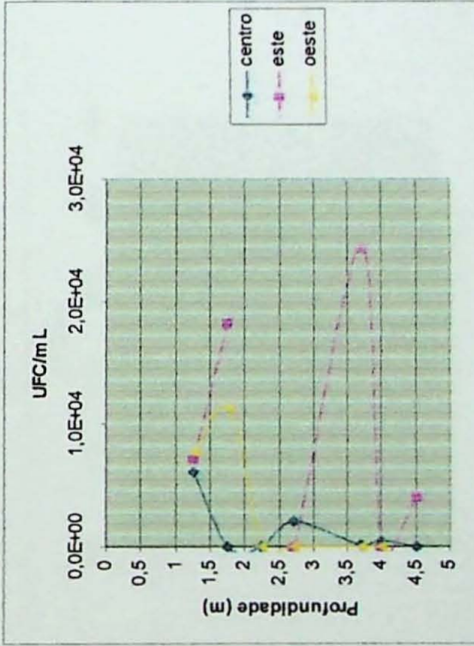
População de *Clostridium* sulfito-redutores com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



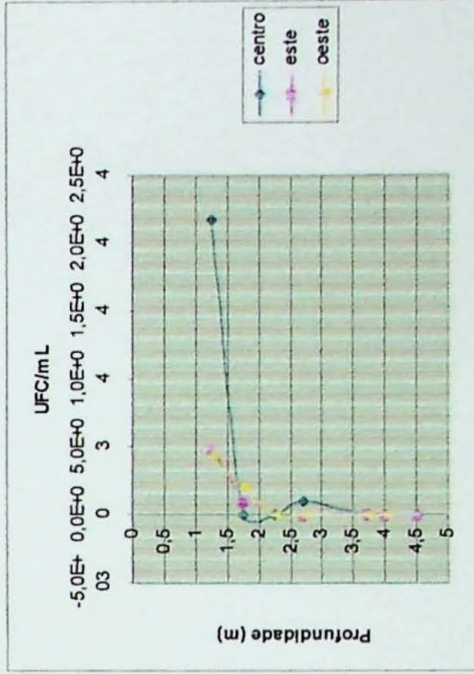
População de *Clostridium perfringens* com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



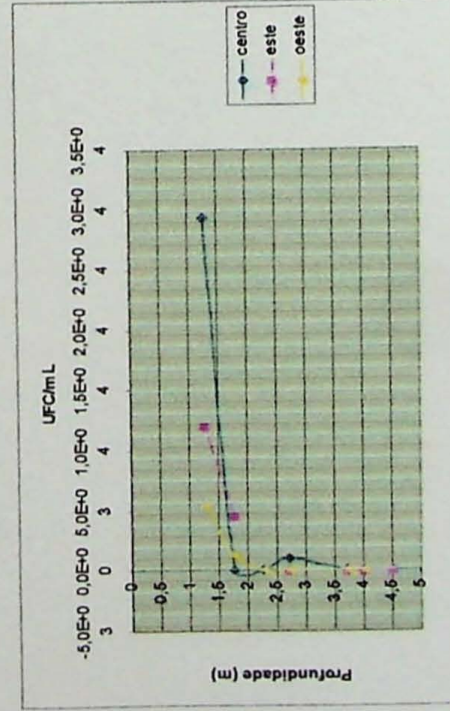
População de Colifagos com a profundidade – Segunda Campanha (FC)



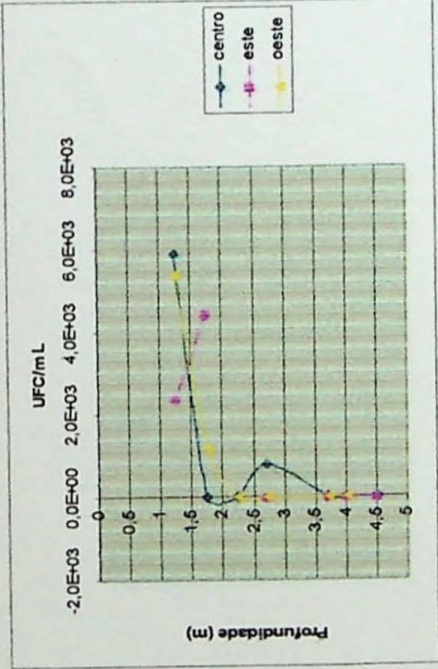
População de Bactérias Heterotróficas com a profundidade – Segunda Campanha (FA)



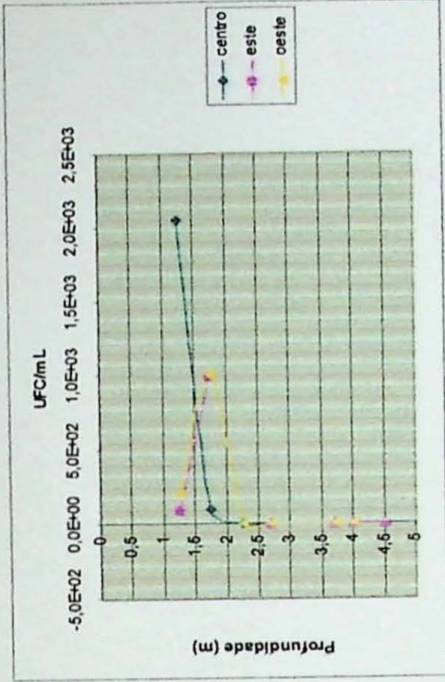
População de Coliformes Totais com a profundidade – Segunda Campanha (FA)



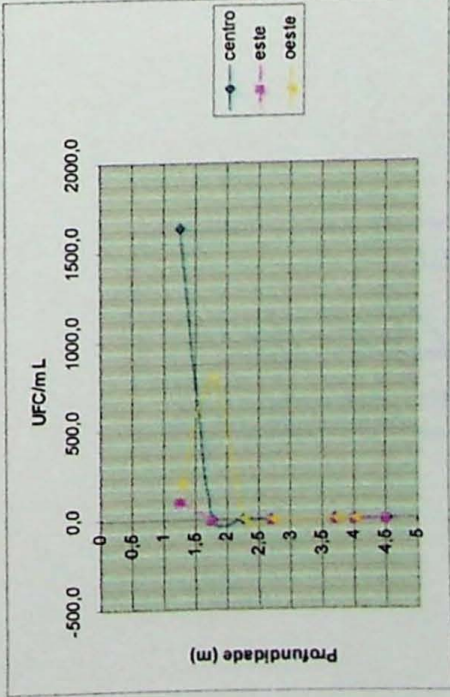
População de Coliformes Fecais com a profundidade – Segunda Campanha (FA)



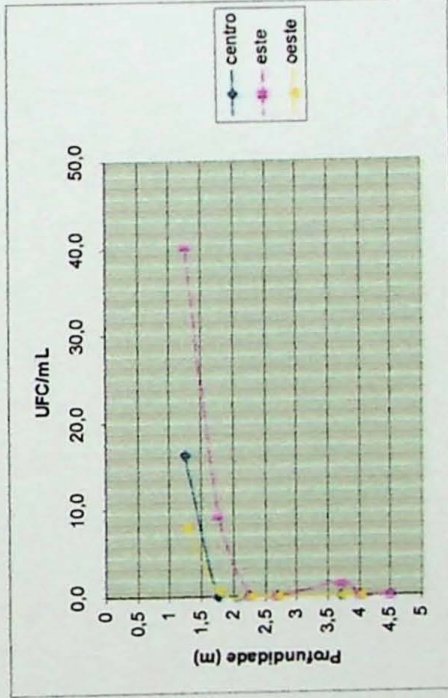
População de *E. coli* com a profundidade – Segunda Campanha (FA)



População de *Clostridium sulfito-redutores* com a profundidade – Segunda Campanha (FA)



População de *Clostridium perfringens* com a profundidade – Segunda Campanha (FA)



População de Colifagos com a profundidade – Segunda Campanha (FA)

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>02/05/08</i>

