

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO DO
MUNICÍPIO DE CASCAVEL - PR**

ELMO ROWE JUNIOR

**CASCAVEL – PR
JULHO – 2007**

ELMO ROWE JUNIOR

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO DO
MUNICÍPIO DE CASCAVEL - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial à obtenção do grau de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Décio Lopes Cardoso.

CASCAVEL – PARANÁ

JULHO – 2007

ELMO ROWE JUNIOR

“Diagnóstico ambiental da área do aterro sanitário do Município de Cascavel”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação “*Stricto Sensu*” em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Décio Lopes Cardoso

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Carlos Barros Junior

Centro de Tecnologia, UEM

Prof^a. Dr^a. Simone Damasceno Gomes

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 17 de julho de 2007.

*A Carlos Alberto Marion “in memoriam”,
pelo profissionalismo e amizade.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor, Décio Lopes Cardoso, orientador e amigo, pelo apoio, confiança e pelas longas discussões que tiveram como fruto este trabalho.

Às Professoras Simone Damasceno e Maria Hermínia Tavares, pelas sugestões e contribuições realizadas no exame de qualificação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela troca de experiências profissionais e oportunidade.

Ao Município de Cascavel, em especial ao Secretário Municipal de Meio Ambiente Leopoldo Fiewski, pela oportunidade e apoio para a realização da pesquisa.

Aos colegas de Secretaria de Meio Ambiente que conhecem, melhor do que todos, as dificuldades enfrentadas por nós, no nosso dia a dia.

À Engenheira Coleta, em especial ao Gerente Luis Carlos de Moura Boeira, pelo apoio na realização das coletas de solo.

À FUNDETEC, em especial ao Presidente Mário José Bracht, Clair Basso e Emanoele Leite, pelo apoio na realização das análises de solo.

Ao Instituto Ambiental do Paraná, em especial à Bióloga Jussara N. Hickson, pelo fornecimento das análises de efluente e água.

Aos amigos, Luis Carlos Marcon, Leomar Bucco, Marcelo Hamerski, que contribuíram para a execução deste trabalho.

À Marcelo Rançan, estagiário da Secretaria de Meio Ambiente, pelo apoio nas coletas de solo.

Aos grandes amigos, Daniel Thomé Schroder e Albino J. Pieniak.

Aos meus pais, Elmo Rowe e Lucy Maria e à minha namorada, Karen E. Marca, pelo incentivo na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	28
3.2 DIAGNÓSTICO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO.....	33
3.2.1 Preparo das Amostras	35
3.2.2 Análise de pH.....	35
3.2.3 Análise da Condutividade Elétrica	36
3.2.4 Análise da Matéria Orgânica.....	36
3.2.5 Mapas Temáticos.....	36
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PERCOLADO DO ATERRO	37
3.3.1 Coleta de Amostras.....	38
3.3.2 DETERMINAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	39
3.3.3 Coleta de Amostras.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 DIAGNÓSTICO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO	41
4.1.1 Mapas Temáticos do pH do Solo	41
4.1.2 Mapas temáticos da Condutividade Elétrica do Solo	47
4.1.3 Mapas Temáticos da Matéria Orgânica	53
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PERCOLADO (CHORUME) DO ATERRO SANITÁRIO.....	57
4.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	59
5 CONCLUSÕES.....	61
6 SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES	63

REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICE	72
APÊNDICE A - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	73
APÊNDICE B - pH DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	75
ANEXO	77
ANEXO A – MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte da seção de um aterro sanitário.	17
Figura 2 - Pluma de contaminação proveniente de aterro industrial.	24
Figura 3 - Curva de distribuição de tamanho das partículas.	25
Figura 4 - Comportamento da CH em função do GC.	26
Figura 5 - Disposição dos poços de monitoramento (em planta).	27
Figura 6 - Componentes básicos de um poço de monitoramento.	27
Figura 7 - Croqui de localização e acesso ao aterro sanitário de Cascavel – PR.	28
Figura 8 - Fluxograma do sistema de tratamento de chorume.	30
Figura 9 - Visão geral do sistema de tratamento de percolados.	32
Figura 10 - Trado mecânico utilizado no aterro sanitário.	33
Figura 11 - Coleta de solo realizado no aterro sanitário.	34
Figura 12 - Distribuição dos pontos de coleta de solo.	34
Figura 13 - Local de coleta do chorume (tratado).	38
Figura 14 - Coleta de água do poço de monitoramento.	40
Figura 15 - pH do solo a 1 metro de profundidade.	42
Figura 16 - pH do solo a 2 metros de profundidade.	43
Figura 17 - pH do solo a 3 metros de profundidade.	44
Figura 18 - pH do solo a 4 metros de profundidade.	45
Figura 19 - pH do solo a 5 metros de profundidade.	46
Figura 20 - Condutividade elétrica a 1 metro de profundidade.	48
Figura 21 - Condutividade elétrica a 2 metros de profundidade.	49
Figura 22 - Condutividade elétrica a 3 metros de profundidade.	50
Figura 23 - Condutividade elétrica a 4 metros de profundidade.	51
Figura 24 - Condutividade elétrica a 5 metros de profundidade.	52
Figura 25 - Matéria orgânica a 1 metro de profundidade.	54
Figura 26 - Matéria orgânica a 2 metros de profundidade.	55
Figura 27 - Matéria orgânica a 3 metros de profundidade.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coeficientes de infiltração para diferentes tipos de solo	19
Tabela 2 -	Processos físicos e químicos na migração de contaminantes	21
Tabela 3 -	Origens de alguns íons encontrados no chorume.....	22
Tabela 4 -	Valores de alguns parâmetros de qualidade do chorume	23
Tabela 5 -	Localização dos poços de monitoramento	32
Tabela 6 -	Metodologias aplicadas na caracterização do percolado.....	38
Tabela 7 -	Metodologias para a caracterização das águas subterrâneas	39
Tabela 8 -	Caracterização do chorume in natura	57
Tabela 9 -	Caracterização do chorume pós-tratamento	58
Tabela 10 -	Qualidade da água no poço de monitoramento	59
Tabela 11 -	Qualidade da água no poço escavado.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

RSU	- Resíduos sólidos urbanos
CE	- Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
MO	- Matéria Orgânica (%)
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CH	- Condutividade Hidráulica
GC	- Grau de compactação
k	- Coeficiente de permeabilidade (cm/s)
pH	- Potencial Hidrogeniônico
DBO ₅	- Demanda Bioquímica de oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
GC	- Grau de compactação
LVdf	- Latossolo Vermelho distroférico
CI	- Coeficiente de infiltração
ARS	- Aterro de resíduos sólidos
Fundetec	- Fundação de Desenvolvimento Tecnológico de Cascavel
IAPAR	- Instituto Agrônomo do Paraná
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
SUDERSHA	- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SEMA	- Secretaria de Estado de Meio Ambiente (Paraná)
Cd	- Cádmio
Cu	- Cobre
Zn	- Zinco
Cr	- Cromo
Ni	- Níquel
Hg	- Mercúrio

RESUMO

A presente pesquisa foi desenvolvida na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste – *campus* de Cascavel, utilizando a área do Aterro Sanitário de Cascavel para a obtenção de dados sobre contaminação, provenientes da disposição de resíduos sólidos urbanos. Monitorando o fluxo de contaminantes originados do aterro sanitário, com base num diagnóstico conjugado utilizando-se de análises de solo (feitas por meio de perfurações localizadas ao longo da área do aterro), qualidade do percolado (antes e pós-tratamento) e monitoramento de lençol freático (poços de monitoramento) pode-se verificar a eficiência do sistema de drenagem, impermeabilização de base e tratamento de percolado, apontando os pontos nos quais eles possam estar sendo operados de forma deficiente. O experimento foi conduzido em campo, utilizando-se de uma área de 7056 m² a jusante do depósito de resíduos sólidos, onde estão localizados o sistema de tratamento de percolados e o sistema de monitoramento de águas subterrâneas. Para caracterizar o percolado e as águas subterrâneas foram realizadas quatro coletas de cada ponto, nas quais se verificaram os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, DBO, DQO e metais pesados (Hg, Zn, Cd, Ni, Cr e Cu). Foram coletadas amostras de solo, de metro em metro, até a profundidade final de 5 metros, totalizando 375 amostras. As amostras foram levadas até o laboratório onde se realizaram as medições de pH, condutividade elétrica e matéria orgânica. Posteriormente, foram gerados os mapas de contaminação em cada profundidade, utilizando-se o *software* SURFER32. Os resultados obtidos demonstram que o percolado do aterro sanitário de Cascavel, possui elevada carga orgânica e baixos níveis de contaminação por metais pesados. Os mapas de contaminação gerados para cada profundidade demonstram claramente os locais em que o percolado teve maior influência na qualidade do solo. Verificam-se também maiores níveis de variação no pH e de condutividade elétrica do solo nas áreas próximas ao aterro e menores variações nas áreas próximas ao sistema de monitoramento. Quanto às águas subterrâneas, o sistema de monitoramento do aterro está possivelmente comprometido devido à contaminação por águas superficiais.

Palavras-chave: aterro sanitário, chorume, monitoramento.

ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF THE AREA OF THE SANITARY LANDFILL OF THE MUNICIPAL DISTRICT OF CASCAVEL – PR

ABSTRACT

This present research was developed in the State University of the West of Paraná - Unioeste - using the area of Cascavel's Sanitary landfill for the obtaining of coming data of contamination of the disposition of solid residues. Being like this monitoring the flow of originated pollutants of the sanitary landfill, through a conjugated diagnosis being used of soil analyses (done through located perforations along the area of the embankment), quality of the leachate (before and after-treatment) and monitorament system of groundwater, it can verify the efficiency of the drainage system, base impermeabilization and leachate treatment, pointing the points where the same ones can be being operated in a deficient way. The experiment was driven in field, being used an area of 7056 m² jusant of the deposit of solid residues, where are located the system of leachate treatment and the monitorament system of groundwater. To characterize the leachate and the groundwaters, 4 collections of each point were accomplished, where the following parameters were verified: pH, Electric Conductivity, DBO, DQO and heavy metals (Hg, Zn, Cd, Ni, Cr and Ass). Soil samples were collected, of meter in meter, until the final depth of 5 meters, totaling 375 samples. The samples then were taken to the laboratory where they took place the pH, electric conductivity and organic matter, measurements, being generated later the maps of contamination to each depth, using the software SURFER32. The obtained results demonstrate that the leachate of the sanitary embankment of Cascavel, possesses high organic load and low levels of contamination for heavy metals. The maps of contamination generated for each depth demonstrate clearly the places where the leachate had higher influences in the quality of the soil. It is also verified larger variation levels in the pH and of electric conductivity of the soil in the close areas to the embankment, and smaller variations in the close areas to the monitorament system. As for the groundwaters, the system of monitorament of the embankment is possibly committed due to the contamination for superficial waters.

Keywords: sanitary landfill, leachate, monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a preocupação com a proteção de áreas destinadas ao abastecimento público é muito grande, pois a disponibilidade de água é cada vez menor no mundo. Entre as prováveis fontes de poluição das águas estão os aterros sanitários, aterros controlados e lixões existentes no Brasil e em todo o mundo.

Entre as técnicas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU), estão: aterros controlados e aterros sanitários. Estes apresentam menor relação de custo, especialmente quando se dispõe de áreas apropriadas.

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário.

O impacto de um aterro de RSU na qualidade da água subterrânea depende de vários fatores, dentre os quais, talvez o mais importante seja a natureza da barreira que pretende limitar e controlar a migração de contaminantes. Barreiras de solo, contendo argilominerais em quantidade suficiente para produzir baixa permeabilidade, são muito utilizadas para evitar a rápida migração de percolados dos aterros.

Quando a escolha da área parte de uma avaliação detalhada em termos de levantamento geotécnico, obtendo-se dados confiáveis em relação a solo e geologia local, pode-se adotar um sistema simplificado de impermeabilização de fundo e lateral, ou seja, podem-se projetar as trincheiras com a execução de compactação de camadas de solo local no fundo das trincheiras.

Um aspecto importante dos resíduos sólidos urbanos contidos nos aterros é a decomposição da matéria orgânica presente, resultando na geração de gás, principalmente metano, e de chorume - líquido de cor escura, odor desagradável e composição química variada, incluindo metais pesados e matéria orgânica. O chorume constitui um fator preocupante, pois pode infiltrar-se no solo e contaminar as águas subterrâneas e superficiais.

As características físico-químicas e microbiológicas do percolado são função da composição, origem e idade dos resíduos originalmente dispostos (OLIVEIRA; JUCÁ 2004).

Para definição do processo a ser aplicado ao tratamento do percolado é necessário: o conhecimento do projeto, no caso de aterro sanitário, de suas características e quantidade do percolado e do grau de tratamento desejado, solicitado pelo órgão ambiental. O tratamento adequado, econômica e ambientalmente viáveis, do percolado tornou-se, nas últimas décadas, objeto de estudo de vários pesquisadores nas mais diversas áreas que tratam do meio ambiente.

A caracterização hidrogeológica e geotécnica do solo e a composição do chorume no aterro constituem ferramentas essenciais para o gerenciamento dos seus impactos, por ser umas das principais fontes de poluição de solos e águas na zona de influência. Portanto, monitorando-se o fluxo de contaminantes originados do aterro sanitário, com base num diagnóstico realizado por análises de solo (feitas por meio de perfurações localizadas ao longo da área de maior influência do aterro), em conjunto com a caracterização do percolado (antes e depois do tratamento) e o monitoramento de lençol freático (poços de monitoramento) pode-se verificar a eficiência do sistema de drenagem; impermeabilização de base e tratamento de percolado, apontando os pontos nos quais eles possam estar sendo operados de forma deficiente.

Considerando as questões pontuadas acima foram estabelecidos como objetivos para esta pesquisa, em relação ao aterro sanitário da cidade de Cacavel - PR:

- caracterizar o percolado e avaliar o seu sistema de tratamento;

- avaliar o possível deslocamento da pluma de contaminação proveniente da trincheira (disposição dos resíduos sólidos) e do sistema de tratamento de chorume (lagoas de estabilização) e sua inter-relação;
- verificar a eficiência do sistema de monitoramento e a qualidade atual da água subterrânea no entorno do aterro sanitário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A palavra lixo deriva do latim *lix*, que significa cinzas, é definida FERREIRA (2000, p.847) como: sujeira, coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor.

Porém, na linguagem técnica, lixo é sinônimo de resíduos sólidos e é definido como restos das atividades humanas, considerado pelos geradores como inúteis ou descartáveis (IPT/CEMPRE, 2000).

Resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), são os resíduos no estado sólido e semi-sólido, resultantes das atividades de uma determinada comunidade: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Estão inclusos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e esgoto, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou que exijam, para sua disposição no meio, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia possível.

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos (RS) podem ser classificados, também, quanto à periculosidade. Assim:

1 - Classe I (perigosos): são os que apresentam risco à saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuírem uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

2 - Classe IIA (não-inertes): podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém, não se enquadram como resíduos classes I ou IIB.

3 - Classe IIB (inertes): não têm constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), o Brasil possui uma população aproximada de 170 milhões de habitantes, produzindo diariamente cerca de 126 mil toneladas de resíduos sólidos. Quanto à destinação final, os dados relativos às formas de disposição final de resíduos sólidos, distribuídos de acordo com a população dos municípios, obtidos junto ao PNSB indicam que 63,6% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos sólidos em “lixões”, somente 13,8% informam que utilizam aterros sanitários e 18,4% dispõem seus resíduos em aterros controlados, totalizando 32,2%. Os 5% restantes não declaram o destino de seus resíduos.

Segundo CONDER (2001), o aterro sanitário (Figura 1) é um equipamento projetado para receber e tratar o lixo produzido pelos habitantes de uma cidade, com base em estudos de engenharia, para reduzir ao máximo os impactos causados ao meio ambiente. Preferencialmente, deve possuir uma vida útil superior a 10 anos, prevendo-se ainda o seu monitoramento por alguns anos após o seu fechamento. No processo de decomposição dos resíduos sólidos, ocorre a liberação de gases e líquidos (chorume ou percolato) muito poluentes, o que leva um projeto de aterro sanitário a exigir cuidados como: impermeabilização do solo, implantação de sistemas de drenagem eficazes, entre outros, evitando uma possível contaminação da água, do solo e do ar.

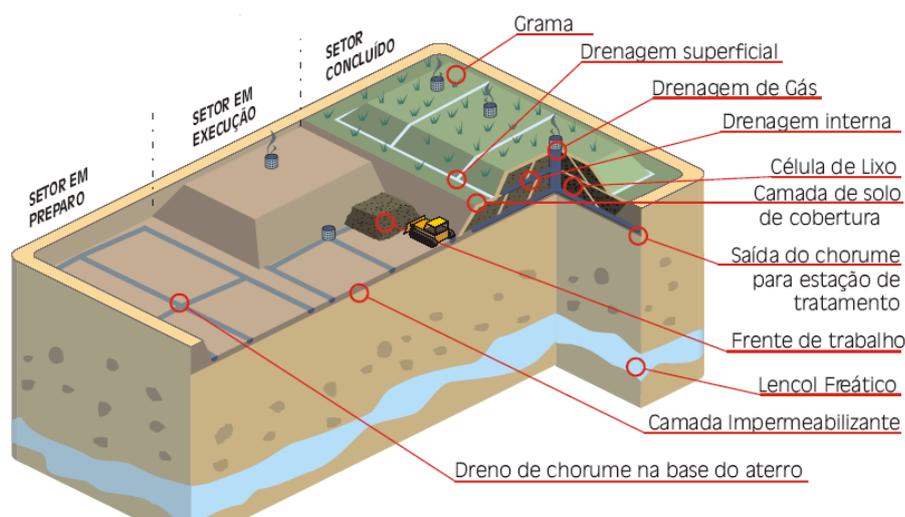


Figura 1 - Corte da seção de um aterro sanitário.

Fonte: Adaptado de CONDER (2001).

Segundo LEITE e ZUQUETTE (1995), o aterro sanitário é o método de disposição mais difundido em todo o mundo e é a solução mais econômica se comparada aos processos de compostagem e de incineração.

A NBR 13896 (ABNT, 1997b) fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, os operadores dessas instalações e as populações vizinhas.

Dentre essas condições, as que têm maior relevância quanto à escolha de uma área, são descritas conforme segue:

a) topografia - é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;

b) geologia e tipos de solos - são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;

c) recursos hídricos - deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.

Segundo as normas de projeto e execução de aterros sanitários, eles devem dispor de sistemas de impermeabilização de base (*liners*), para minimizar a migração de contaminantes presentes no chorume gerado, de forma que não atinjam o solo de fundação e, conseqüentemente, aquíferos existentes. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais e Equipamentos para Saneamento - ASFAMAS, solos de baixa permeabilidade (10^{-6} cm/s), a princípio, não necessitam de geomembrana para proteção contra a percolação de chorume, porém cada vez está sendo mais difícil a escolha de um local com as características adequadas, pois é muito grande a pressão das comunidades, entidades ambientais e lideranças regionais (ASFAMAS, 2005)

Assim, muitas vezes, restam somente locais não propícios à implantação do aterro sanitário, tornando-se necessária a implantação de uma barreira artificial à infiltração do percolato.

No estado do Paraná, segundo a Resolução Conjunta nº 01/2006 SEMA/IAP/SUDERHSA, de 21 de agosto de 2006, os aterros sanitários de municípios com população urbana acima de 10.001 habitantes necessitam, obrigatoriamente, do uso de geomembranas para a impermeabilização do solo (PARANÁ, 2006).

Na Tabela 1 é apresentado o coeficiente de infiltração para os diferentes tipos de solos. Considera-se que com o tempo a permeabilidade do solo tende a diminuir devido ao processo de colmatação ocasionado pela presença de sólidos no percolato.

Tabela 1 - Coeficientes de infiltração para diferentes tipos de solo

CLASSIFICAÇÃO	COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO (L.m ⁻² .dia ⁻¹)
Argila – lodo argiloso	82-305
Silte – lodo siltoso	341
Areia – lodo arenoso	201-533
Cascalho	512-1829

Fonte: Adaptado de ANCID (2001).

Segundo OLIVEIRA e JUCÁ (2004), a impermeabilização de base em aterros sanitários é necessária, devido ao alto potencial poluente do percolato e ao fato de minimizarem a contaminação ambiental. Em geral, esses sistemas são constituídos de mantas impermeabilizantes associadas a camadas de solo compactado, de formações naturais argilosas, ou formados unicamente por camadas de solos argilosos compactados. As mantas de impermeabilização (geomembranas) são caras e oneram o custo de confecção das células do aterro. Por outro lado, os solos argilosos aparecem como uma alternativa barata e eficiente para a impermeabilização superior, lateral e de fundo.

Segundo HAMADA (2004), a compactação do solo local para as bases de aterros constitui uma forma pouco custosa de preparação, resultando na redução da permeabilidade e garantindo um confinamento maior do chorume,

apesar de, algumas vezes, não atingir os valores exigidos pelos órgãos ambientais.

Conforme descrito por DANIEL (1993), o procedimento de compactação visa à criação de uma barreira protetora, denominada de *liner*, considerada como revestimento de base e laterais em aterros e obras similares ou como cobertura de aterros. Como revestimentos de base são indicados quando se deseja reduzir o coeficiente de permeabilidade e a migração de contaminantes no solo, de forma a atenuar a concentração dos contaminantes, caso atinjam as águas subterrâneas.

Geralmente, as barreiras argilosas constituem uma boa solução para a impermeabilização de base em aterros de RSU. No entanto, esse bom desempenho não pode ser assumido a priori, sua eficiência hidráulica depende de diversos fatores, como: o método de compactação e a composição mineralógica do material argiloso, além da interação entre os argilominerais e o percolado. A argila em si pode atuar também como um importante meio para a atenuação de alguns dos constituintes químicos do chorume, devido a processos como adsorção, precipitação e biodegradação. Talvez, uma das mais importantes funções dos *liners* argilosos seja a capacidade de atenuação dos contaminantes em longo prazo (ROWE; QUIGLEY; BOOKER, 1995).

Dentro desse contexto, alguns métodos geofísicos vêm sendo utilizados para detectar e monitorar a contaminação gerada por líquidos percolados dos depósitos de resíduos industriais e urbanos. Devido às características químicas desses resíduos que se refletem, normalmente, em aumento da condutividade elétrica no local onde estão dispostos, utilizam-se principalmente os métodos elétricos com bons resultados, conforme Benson *et al.* (1982) citados por ELIS e ZUQUETE (2002).

De modo geral, há uma preocupação maior com o fluxo hidráulico de percolados através da barreira. Entretanto, a questão de maior relevância é a magnitude do transporte de contaminantes pelo *liner* e seu impacto no ambiente. Há situações, por exemplo, em que tanto uma geomembrana de alta qualidade quanto um *liner* argiloso com condutividade hidráulica muito baixa permitem a passagem de percolado sob um gradiente hidráulico e, no entanto, o impacto ambiental é desprezível. Por outro lado, em situações nas quais não

há fluxo hidráulico através da barreira, pode haver um transporte significativo de massa do contaminante por difusão (ROWE; KROL, 1998).

A contaminação do solo é a principal causa da deterioração das águas subterrâneas (BOSCOV, 1997). Os processos de contaminação no solo ocorrem lentamente e, freqüentemente, sem conseqüências imediatas, porém, em longo prazo, podem ter efeitos sérios e, possivelmente, irreversíveis. Os contaminantes podem ter sido produzidos no estado líquido (efluentes) ou resultarem da degradação ou percolação de águas pluviais por resíduos sólidos (chorume ou percolado). Para o aperfeiçoamento do projeto de disposição de resíduos, torna-se cada vez mais importante entender os mecanismos fundamentais de transporte de contaminantes em solos, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Processos físicos e químicos na migração de contaminantes

PROCESSOS FÍSICOS	PROCESSOS QUÍMICOS
Advecção	Adsorção – dessorção
Dispersão ou dispersão hidrodinâmica - Dispersão mecânica - Dispersão molecular	Precipitação – dissolução Atividade biológica Óxido – redução Formação de complexos e quelação

Fonte: Adaptado de NOBRE (1987).

A geração, caracterização e potencial de contaminação dos percolados constituem uma preocupação recente e importante, pois, até 1965, as pessoas não tinham conhecimento dos impactos relativos à degradação ambiental dos recursos hídricos e das áreas localizadas próximas ao local de disposição final dos resíduos sólidos. Autores como SISINO (1996), FLECK (2003) e PAES (2003) afirmam que a qualidade das águas superficiais e/ou subterrâneas pode ser alterada quando ocorre despejo do percolado sem tratamento, devido às suas elevadas concentrações orgânicas e inorgânicas.

Segundo SANTOS *et al.* (2004), o chorume produzido nos processos de degradação do lixo urbano em aterros sanitários é um líquido que apresenta características de altas cargas de contaminantes orgânicos e inorgânicos e, sendo assim, representa uma fonte de poluição significativa, seja em grandes

centros ou pequenos aglomerados urbanos. A determinação das características físico-químicas dessa lixívia e de sua biodegradabilidade são etapas fundamentais na decisão técnico-econômica para a aplicação da melhor tecnologia disponível àquela situação específica, segundo uma visão mais moderna de gestão integrada do resíduo e de seus subprodutos gerados.

O chorume é um líquido de alto poder poluidor e de composição bastante heterogênea, conforme apresentado na Tabela 3, possui uma elevada DBO₅ (de até 60.000 mgO₂/L), DQO (de até 90.000 mgO₂/L), metais pesados e altas concentrações de bactérias coliformes (fecais ou termotolerantes e totais), indicadores de contaminação fecal (SISINO; OLIVEIRA, 2000).

Tabela 3 - Origens de alguns íons encontrados no chorume

ÍONS	ORIGEM
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos e outros alimentos
PO ₄ ⁻³ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻²	Material orgânico de diversas origens
Cu ⁺² , Fe ⁺² , Sn ⁺²	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas
Hg ⁺² , Mn ⁺²	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes
Ni ⁺² , Cd ⁺² , Pb ⁺²	Baterias recarregáveis (celulares, telefones sem fio, automóveis)
Al ⁺³	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e raios X
As ⁺³ , Sb ⁺³ , Cr ⁺³	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos

Fonte: Adaptado de SEGATO e SILVA (2000).

O chorume dos resíduos recém-dispostos (lixo novo) é de qualidade diferente do resultante dos resíduos que já se encontram a mais tempo depositados (lixo velho), conforme valores mostrados na Tabela 4. Pode-se notar, por exemplo, através do pH, que, no princípio, tende a ser ácido, passando para a faixa alcalina em chorume de lixo velho, bem como a DBO₅ e a DQO que, inicialmente, são altas e tendem a decrescer drasticamente com o passar do tempo como resultado da biodegradação da matéria orgânica (SISINO, 1996).

Os principais componentes do chorume podem ser reunidos em quatro grupos: cátions e ânions, metais pesados, compostos orgânicos variados e microorganismos (BATSTONE; SMITH; WILSON, 1989).

Tabela 4 - Valores de alguns parâmetros de qualidade do chorume

PARÂMETROS	SOUTH FLORIDA			
	POHLAND e HARPER (1985)	LANDFILSS (1987)	EHRIG (1989)	QASIN e CHIANG (1994)
pH	4,7 – 8,8	6,1 – 7,5	4,5 – 9,0	5,2 – 6,4
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	4 - 57.700	-	20 - 40.000	80 - 28.000
DQO (mg O ₂ /L)	31 - 71.700	530 - 3.000	500 - 60.000	400 - 40.000
Cloreto (mg/L)	30 - 5.000	112 - 2.360	100 - 5.000	70 – 1330
Amônia (mg/L)	2 - 1.030	9,4 - 1.340	30 - 3.000	56 – 482
Fósforo Tot (mg/L)	0,2 - 120	1,5 – 130	0,1 – 30	8 – 35
Ferro (mg/L)	4 - 2.200	1,8 – 22	3 - 2.100	0,6 – 325
Cádmio (mg/L)	70 - 3.900	< 0,005	< 0,05 - 0,140	< 0,05
Chumbo (mg/L)	0,001 - 1,44	< 0,105	0,008 - 1,020	0,5 - 1,0
Zinco (mg/L)	0,06 - 220	-	0,03 – 120	0,1 – 30

Fonte: Adaptado de acordo com parâmetros de REINHART e GROSH (1998).

As tecnologias utilizadas para efluentes industriais, como os processos biológicos e físico-químicos, são aplicadas em alguns casos, entretanto, a capacidade de certos microrganismos para degradar substâncias orgânicas tóxicas é muito limitada. De acordo com FERREIRA *et al.* (2001), o tratamento de chorume representa ainda um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, pois suas características se alteram em função das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, com a idade do aterro.

Segundo LEITE (2004), a matéria orgânica do solo apresenta maiores concentrações nas camadas superficiais (<1m) e diminui com o aumento da profundidade. De acordo a sua distribuição no solo, análises de matéria orgânica em amostras de solos contaminados por chorume de aterros sanitários podem ser utilizadas para identificar a pluma de contaminação.

Conforme descrito por MELO (2000), o conhecimento de áreas destinadas à disposição de resíduos, bem como o monitoramento dos resíduos aterrados, dos líquidos e gases gerados, torna-se necessário para que sejam

adotadas soluções viáveis e sustentáveis tanto do ponto de vista ambiental e sanitário como sócio-econômico para evitar os possíveis impactos ambientais provocados pela disposição de resíduos.

Segundo TRANCHES JÚNIOR (2001), a utilização de mapas temáticos, gerados por *softwares* que utilizam técnicas de interpolação, que transformam dados X,Y,Z, criando mapas, facilitam a visualização da possível pluma de contaminação e o diagnóstico da área estudada, conforme se pode verificar na Figura 2.

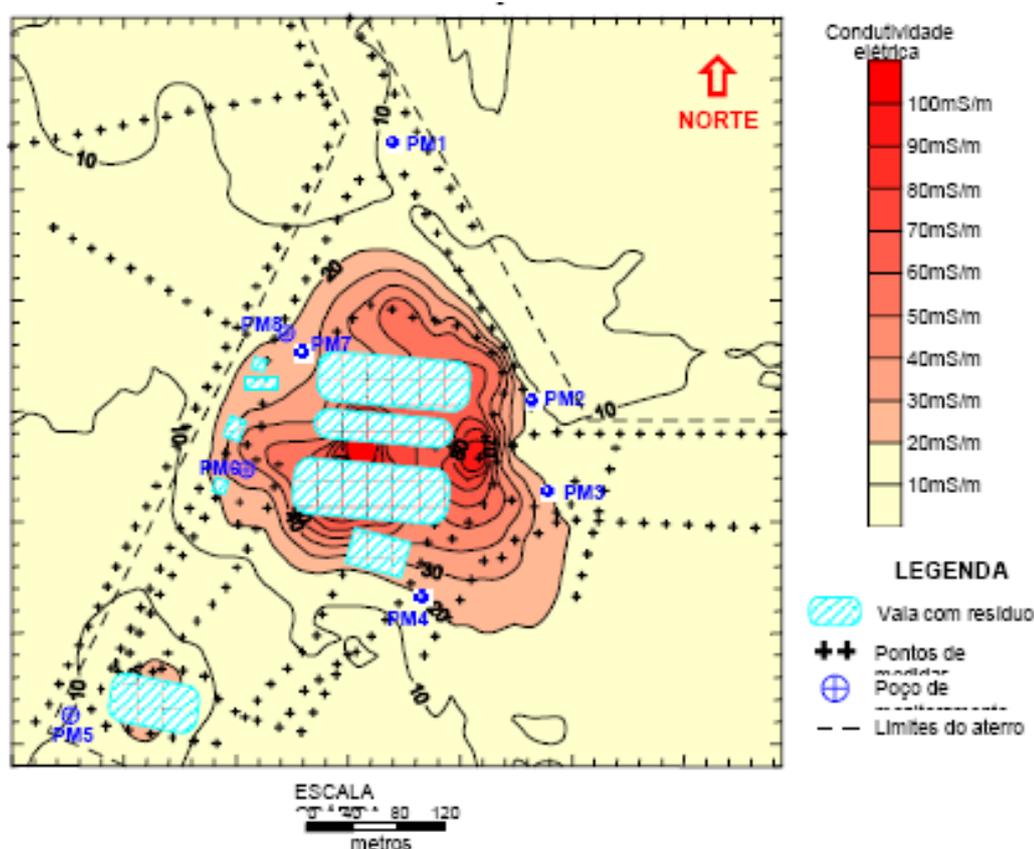


Figura 2 - Pluma de contaminação proveniente de aterro industrial.

Fonte: Adaptado de CETESB (1999).

Visando identificar o grau de poluição de águas e solos, provocado por metais pesados e substâncias orgânicas liberadas pelo processo de lixiviação e pela degradação dos resíduos, SOUSA (2002) focou seu estudo na contaminação de solo provocada pelos principais metais pesados presentes em lixo urbano: Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, Ag, e Mn.

Segundo CARDOSO (2003), o solo da região do Aterro de Resíduos Sólidos, próximo ao distrito de Espigão Azul, taxonomicamente, trata-se de um Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), muito profundo, com textura muito argilosa (EMBRAPA, 1999).

A curva de distribuição dos tamanhos das partículas é mostrada na Figura 3, a seguir, o que permite inferir as frações texturais do solo como argila (67 %), silte (19 %) e areia (14%).

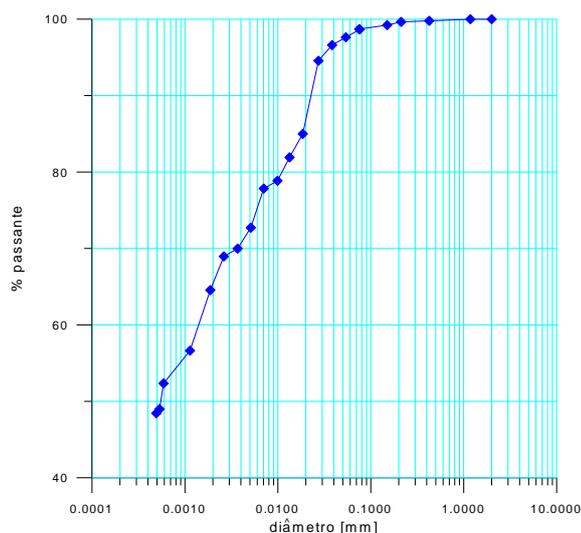


Figura 3 - Curva de distribuição de tamanho das partículas.

Fonte: Adaptado de CARDOSO (2003).

Na Figura 4 é apresentado o comportamento do coeficiente de condutividade hidráulica do solo (k) em função do grau de compactação (GC). O comportamento exibido justifica claramente a fixação do grau mínimo de compactação em 95 %; pois a partir de 92 % de compactação nota-se uma queda acentuada na condutividade hidráulica, para valores menores do que o preconizado pela NBR 13896. Dessa forma, todas as amostras atendem ao requisito quanto ao parâmetro permeabilidade.

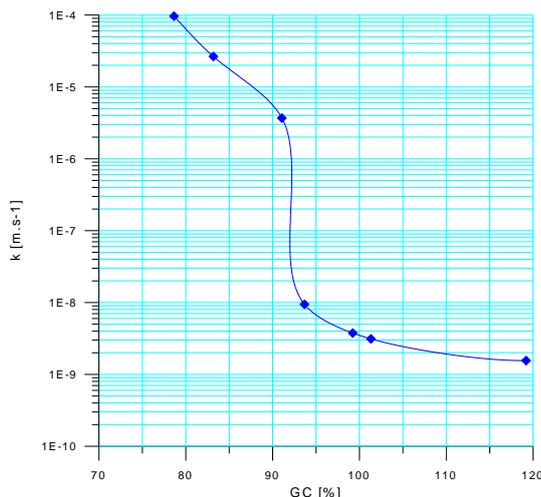


Figura 4 - Comportamento da CH em função do GC.

Fonte: Adaptado de CARDOSO (2003).

Segundo CASSINI (2003), os coeficientes de infiltração fornecidos pelos solos da área indicam condições de permo-porosidade muito boas, variando entre 80 e 105 litros/(m²*dia), com lençol freático profundo, variando de 10 a 15 metros.

Segundo a NBR 13895 (ABNT, 1997a) a rede de monitoramento do aterro sanitário deve possuir um ou mais poços localizados a montante da instalação a ser monitorada, a fim de que possa ser avaliada a qualidade original da água subterrânea. Devem ser distanciados de forma a evitar a sua própria contaminação por uma eventual difusão remontante (Figura 5). Devem ser instalados pelo menos três poços, não alinhados, a jusante da instalação, para avaliar uma possível interferência desta na qualidade original da água subterrânea local. Os principais componentes de um poço de monitoramento são mostrados na Figura 6.

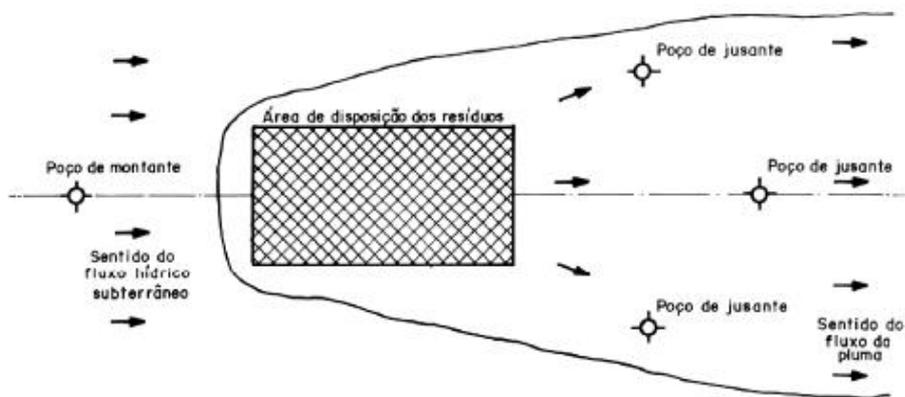


Figura 5 - Disposição dos poços de monitoramento (em planta).

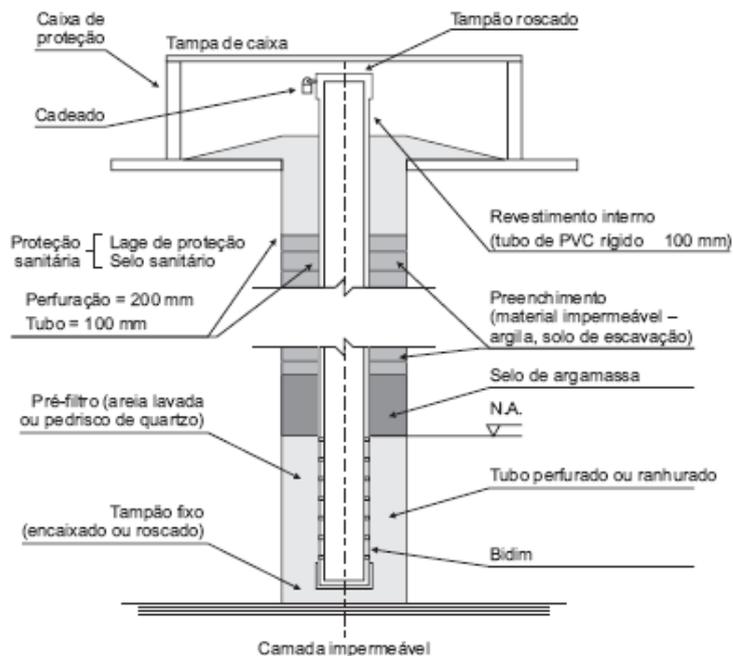


Figura 6 - Componentes básicos de um poço de monitoramento.

Um plano de monitoramento pode ter implicações financeiras consideráveis, sobretudo para municípios de pequeno porte. Portanto, é de fundamental importância a adequação de seu dimensionamento para garantir sua efetiva execução, possibilitando a obtenção de um conjunto mínimo de dados representativos e confiáveis e um controle tecnológico eficaz ao longo da operação do sistema Héroux (1999) citado por PROSAB (2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A área do aterro sanitário de Cascavel está localizada ao norte da cidade (Coordenadas UTM referência: 0248801 e 7249331). O acesso, a partir da cidade de Cascavel, é realizado, tomando-se a estrada asfaltada em direção à localidade de Espigão Azul. Tendo como referência um cemitério à direita, segue-se por mais aproximadamente 700 metros até uma entrada à esquerda, seguindo por estrada de chão até a área do Aterro Sanitário (Figura 7).

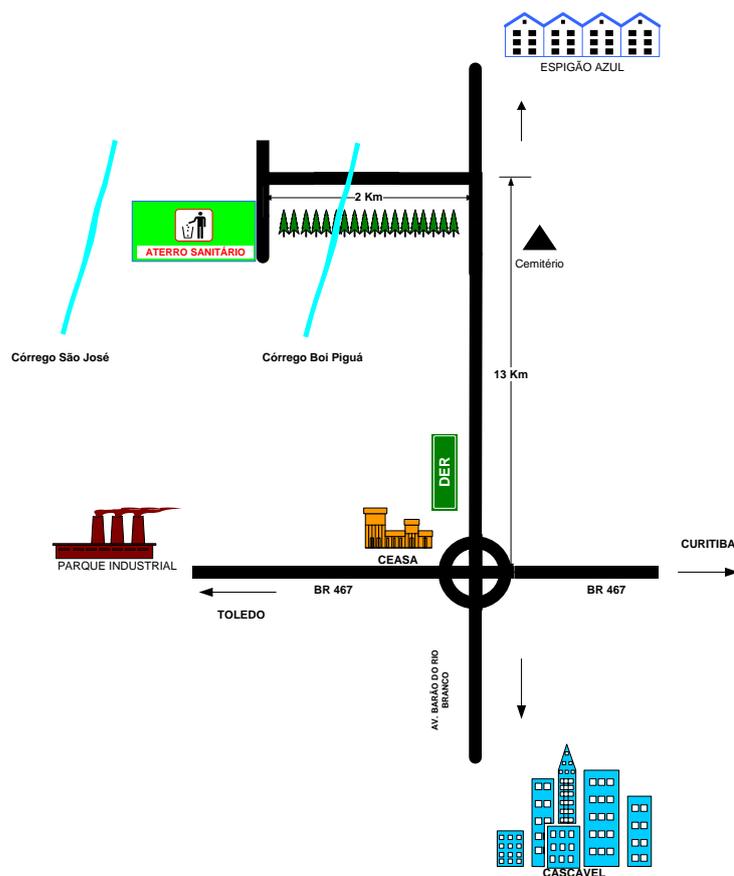


Figura 7 - Croqui de localização e acesso ao aterro sanitário de Cascavel – PR.

A área do aterro sanitário (área total 237.800m²) está localizada no interflúvio das nascentes do Rio Boi Pigua (24,6% da área) e do Córrego São José (75,4% da área), sub-bacia do Rio Azul, afluente da margem esquerda do Rio Piquiri.

O aterro de resíduos sólidos (ARS) de Cascavel é o maior sítio de disposição de resíduos da região oeste do Paraná e está em operação desde o ano de 1995.

Recebe em média 200 toneladas/dia de resíduos domiciliares (classe IIA, conforme descrito na NBR 10004 (ABNT, 2004), a área se encontra totalmente cercada, com cortina vegetal, sistema de recepção, balança rodoviária e vigilância 24 hs.

A coleta de resíduos e operação do aterro é realizada por empresa terceirizada, por 11 caminhões compactadores, caminhão caçamba, retroescavadeira e trator de esteira.

Desde o início de sua operação em 1995, todas as trincheiras foram impermeabilizadas utilizando o princípio da compactação de solo local para a redução de sua permeabilidade, com intuito de reduzir significativamente o transporte de contaminantes no solo.

No aterro, os gases são captados e conduzidos pela própria malha horizontal de drenagem de líquidos até atingirem os drenos verticais (espaçados a cada 20 m) que servem de exaustores, conduzindo-os até o topo do aterro onde são queimados com o uso de *Flares*.

A drenagem de águas pluviais é realizada por meio de canaletas de concreto de 30 cm que circundam toda a área do aterro sanitário.

O sistema de tratamento de líquidos percolados do Aterro Sanitário de Cascavel, com capacidade de projeto para tratar 72 m³/dia de percolado, é constituído por lagoas de estabilização (lagoa anaeróbia, lagoa aerada e lagoa facultativa), tratamento físico-químico e recirculação do percolado, conforme mostrado na Figura 8.

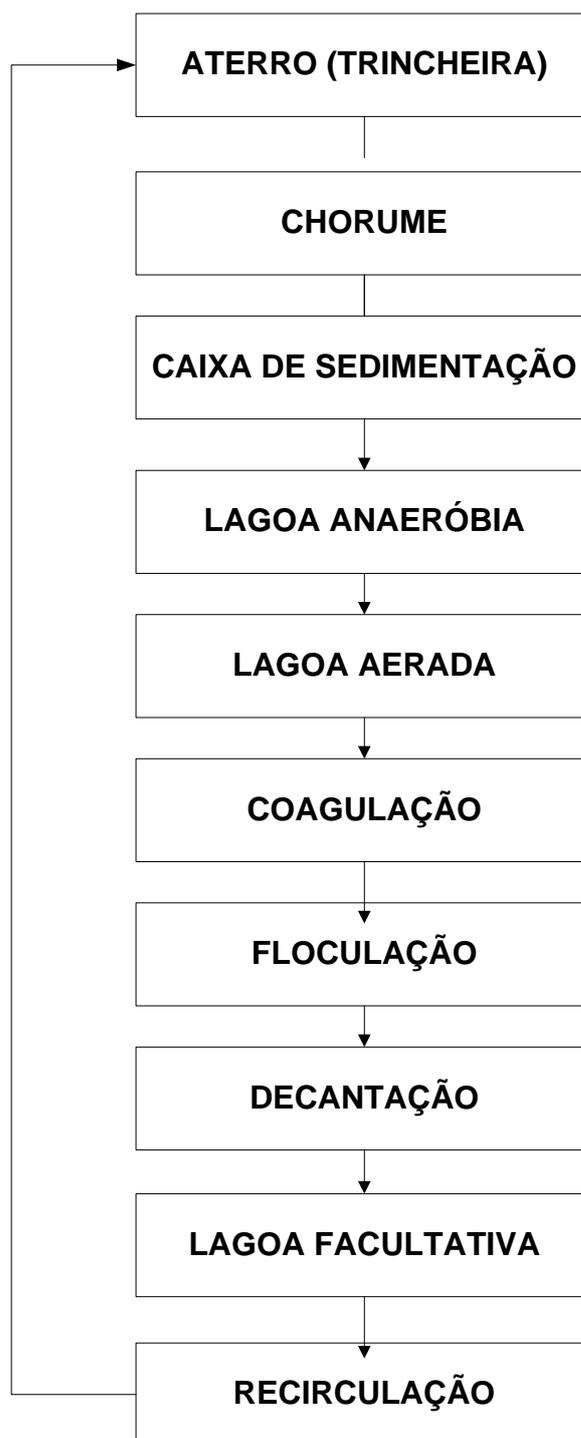


Figura 8 - Fluxograma do sistema de tratamento de chorume.

O sistema de tratamento anaeróbio (lagoa anaeróbia) é constituído de um tanque, impermeabilizado com geomembrana, de grande profundidade (4,5 m) que tem a função de reduzir a possibilidade de penetração de oxigênio produzido na superfície para as demais camadas. As lagoas anaeróbias

removem, aproximadamente, de 50 a 60 % da DBO afluente, sendo assim o efluente ainda possui altas taxas de matéria orgânica e necessita de unidades posteriores de tratamento.

O sistema de tratamento aeróbio (lagoa aerada) é constituído por tanque impermeabilizado com geomembrana, de profundidade (3,5 m), composto por dois aeradores mecânicos de superfície (potência de 6CV cada), sendo estas unidades de eixo vertical que, ao rodarem causam um grande turbilhonamento na água, que propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida. Desse modo consegue-se uma maior introdução de oxigênio, comparada a uma lagoa facultativa convencional, permitindo que a decomposição da matéria orgânica ocorra mais rapidamente e o requisito de área seja bem menor.

O tratamento físico-químico é constituído por 3 etapas e tem como principal função clarificar o chorume proveniente do sistema de aeração. A coagulação é realizada por sais de ferro (cloreto férrico) e a floculação é realizada em sistema de mistura lenta, em que os coágulos advindos do processo anterior tendem a se juntar formando flocos, aumentando assim sua densidade e, posteriormente, são separados por um processo de decantação e destinados a lagoa facultativa.

Após o tratamento físico-químico o percolado é enviado para uma lagoa facultativa com para uma maior remoção de DBO_5 do percolado. Esta lagoa é constituída de um tanque de profundidade 1,5 m, no qual o procedimento de impermeabilização adotado é o de redução de permeabilidade por compactação do solo da base. Na camada mais superficial tem-se a zona aeróbia e na camada de fundo, onde ocorre o depósito de DBO_5 sedimentável, forma-se uma zona anaeróbia, na qual os sedimentos sofrem o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios e são convertidos lentamente em gás carbônico, água, metano e outros.

Após a passagem pela lagoa facultativa o percolado é recirculado por um sistema motobomba constituído por uma bomba centrífuga de 15 CV de potência, com capacidade de recircular até 40 m³/h. A recirculação tem a função de reduzir a carga orgânica do percolado, aumentar a produção de metano, promover a redução do volume de percolado devido à

evapotranspiração e reduzir os custos do processo de tratamento. A Figura 9 fornece uma visão geral do sistema de tratamento de percolados.



Figura 9 - Visão geral do sistema de tratamento de percolados.

A área do aterro sanitário de Cascavel apresenta um solo espesso e o lençol freático tem uma profundidade média de 14 metros. Está sendo monitorada por 3 poços de monitoramento localizados a jusante do sistema de tratamento de percolados, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Localização dos poços de monitoramento

POÇO DE MONITORAMENTO	COORDENADAS UTM
1	0247833-7249197
2	0247826-7249227
3	0247822-7249263

3.2 DIAGNÓSTICO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Para a realização do diagnóstico da pluma de contaminação do Aterro Sanitário foram retiradas amostras nas profundidades de um, dois, três, quatro e cinco metros, a fim de verificar o deslocamento de contaminantes proveniente do depósito de resíduos nas diferentes camadas.

Os furos foram executados por um trado mecânico (Figura 10), com diâmetro de 100 mm e com conectores de aço de um metro. O solo foi coletado manualmente na extremidade inicial do trado nas diferentes profundidades, entre os meses de abril e junho de 2007.

As coletas de material foram realizadas em diferentes pontos, distribuídos a jusante da trincheira e do sistema de tratamento de chorume da seguinte forma: em rede de 15 pontos por 2 linhas distanciadas 6 metros, na região entre a trincheira e o sistema de tratamento, uma rede de 15 pontos por 1 linha distanciadas 6 metros, entre as lagoas do sistema de tratamento de percolados e uma rede de 15 pontos por 2 linhas distanciadas 6 metros, na região entre o sistema de tratamento e os poços de monitoramento de lençol freático (Figura 11), totalizando 375 amostras de solo.



Figura 10 - Trado mecânico utilizado no aterro sanitário.



Figura 11 - Coleta de solo realizado no aterro sanitário.

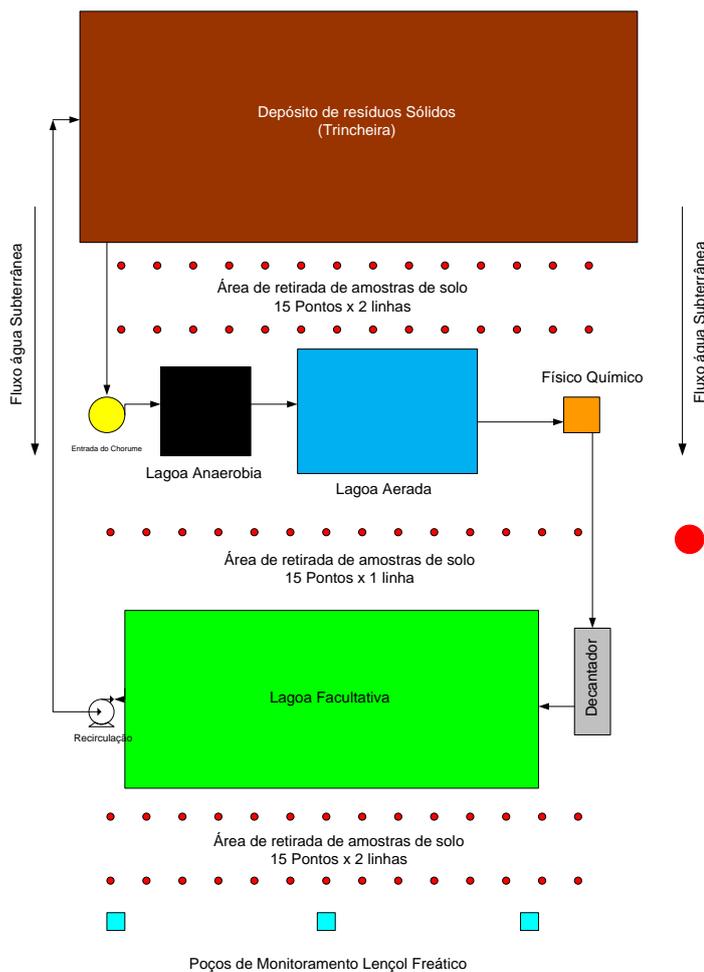


Figura 12 - Distribuição dos pontos de coleta de solo.

As análises físico-químicas definidas para este trabalho foram: condutividade elétrica, pH e matéria orgânica, em virtude de serem análises que apresentam resultados expressivos (indicadores) em pequena periodicidade, possibilitando a realização de um maior número de análises.

As análises de laboratório (no total de 825) foram realizadas no laboratório de solos da Fundetec – IAPAR.

3.2.1 Preparo das Amostras

As amostras coletadas em campo foram numeradas, homogeneizadas, secadas em estufa a 60°C, durante 48 horas, e estocadas para a obtenção dos parâmetros.

3.2.2 Análise de pH

O pH foi analisado pelo método descrito pela EMBRAPA (1997), medindo-se a concentração efetiva em água de íons H⁺ na solução do solo, foi determinado em suspensão 1:2,5 de solo: CaCl₂ 0,01M. Foram colocados 10 g de solo em um béquer e em seguida adicionados 25 ml de solução de CaCl₂. A amostra foi agitada por 15 minutos e mantida em repouso por 1 hora. A leitura foi realizada com potenciômetro da marca¹ DIGIMED.

¹ As marcas e modelos de equipamentos e materiais citados neste trabalho não constituem recomendação comercial, por parte do autor, mas somente indicativo do que foi utilizado neste estudo.

3.2.3 Análise da Condutividade Elétrica

A condutividade é a medida da habilidade de uma solução aquosa que conduz a corrente elétrica. Essa habilidade depende da presença de íons, na sua concentração total, mobilidade e valência e da temperatura de medição.

A maioria dos compostos inorgânicos são relativamente bons condutores. Em controvérsia, moléculas de compostos orgânicos que não se dissociam em solução aquosa conduzem uma corrente muito pobre. A unidade no Sistema Internacional é dada em mili Siemens por metro (mS/m).

A condutividade elétrica foi obtida pelo método da EMBRAPA (1997) a partir da diluição de 10 g de solo em um béquer e em seguida adicionados 25 ml de água destilada. A amostra foi agitada por 15 minutos e mantida em repouso por 1 hora. A leitura foi realizada com um condutivímetro da marca TEC-4MP da Tecnal.

3.2.4 Análise da Matéria Orgânica

A matéria orgânica foi determinada por meio carbono orgânico obtido por via úmida com solução sulfocrômica e a dosagem por volumetria de oxirredução com sulfato ferroso como titulante e difenilamina sulfonato de bário como indicador, utilizando-se o fator 1.724 para converter carbono em matéria orgânica, conforme Perraud (1976) citado por REZENDE (2005).

3.2.5 Mapas Temáticos

Para as atividades de confecção do mapa temático foi utilizado um microcomputador Athlon 1600 Mhz, 320 Mb de memória Ram, ambos contendo o sistema operacional Windows 98, programas Microsoft Office e Surfer32.

Para a criação dos mapas temáticos seguiu-se a seguinte metodologia:

1 - Geração de arquivo de coordenadas X, Y, Z – para cada uma das perfurações, um arquivo contendo as coordenadas X, Y e Z, em que as duas primeiras colunas (X e Y) representam as coordenadas do local da perfuração, e a terceira coluna (Z) representa o valor numérico atribuído a cada tipo de análise. Cada linha do arquivo de coordenadas representa uma das análises realizadas, criando-se um arquivo para cada análise daquela camada analisada. Estes arquivos foram gerados para servirem de dados de entrada no *Software Surfer 32*.

2 - Uso do *software Surfer 32* – os arquivos de coordenadas são exportados para o *software Surfer 32*, para aplicação das técnicas de geoprocessamento. Este *software* possui técnicas de interpolação que transformam dados X,Y,Z de uma superfície, em mapas com qualidade de apresentação e impressão. O *software* cria isolinhas, vetores, imagens, pontos cotados e mapas 3D (superfície). Muito usado para modelagem numérica do terreno, análise de superfícies e geração de mapas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PERCOLADO DO ATERRO

Para a determinação da eficiência do tratamento de percolados, foi necessário caracterizar o chorume produzido no aterro sanitário de Cascavel - PR.

Foram coletadas quatro amostras de chorume *in natura* e quatro amostras do chorume pós tratamento, nas datas de 23/06/2005, 04/11/2005, 20/02/2006 e 19/04/2007, respectivamente e foram analisados os seguintes parâmetros nas amostras coletadas: pH, DBO₅, DQO e metais pesados (Cd, Cu, Cr, Zn, Ni, Mg).

As análises foram realizadas no Laboratório do IAP, em Toledo – PR e no Laboratório Senai-Cetsan em Curitiba – PR, de acordo com a APHA (1995).

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros utilizados para caracterizar o chorume e os métodos empregados.

Tabela 6 - Metodologias aplicadas na caracterização do percolado

PARÂMETROS/UNIDADE	MÉTODOS ANALÍTICOS
1. pH	Método potenciômetro com medidor de pH, calibrado com soluções tampão de pH 7 e 9.
2. DBO ₅ (mgO ₂ /l)	Método dos frascos padrão, com incubação a 20°C por 5 dias.
3. DQO (mgO ₂ /l)	Método da refluxação fechada do dicromato de potássio
4. Metais pesados (mg/l) (Cádmio, chumbo, zinco, cobre, cromo, zinco e mercúrio)	Espectroscopia de Absorção Atômica.

3.3.1 Coleta de Amostras

Para coletar e conservar as amostras de chorume foi adotada a técnica descrita no *Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água* da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1986). Para os parâmetros físicos e químicos, foram utilizados 5 litros de amostras e para as análises de metais, foi utilizado cerca de 1 litro de amostra.



Figura 13 - Local de coleta do chorume (tratado).

3.3.2 DETERMINAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para se determinar a qualidade da água subterrânea do entorno, necessitou-se caracterizar a água proveniente de um poço escavado (utilizado para a diluição de produtos químicos) e dos poços de monitoramento de lençol freático, instalados a jusante do aterro sanitário, com profundidade média de 14 metros.

Em virtude do lençol freático na área do aterro ser do tipo livre e com baixa vazão dois dos três poços de monitoramento não possuíam percolados suficientes para a coleta, sendo utilizado somente o poço nº2 e o poço escavado, para a caracterização da água subterrânea. As amostras foram coletadas nas datas de 13/11/2006, 04/12/2006, 17/01/2007 e 26/02/2007.

Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, cloretos, DBO₅, DQO e metais pesados (Cd, Cu, Cr, Zn, Ni, Mg).

As análises foram realizadas no Laboratório do IAP de Toledo-PR e no Laboratório Senai Cetsan em Curitiba - PR, de acordo com a APHA (1995).

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros e os métodos empregados para caracterizar a água dos poços de monitoramento e do poço escavado.

Tabela 7 - Metodologias para a caracterização das águas subterrâneas

PARÂMETROS/UNIDADE	MÉTODOS ANALÍTICOS
1. pH	Método potenciômetro com medidor de pH, calibrado com soluções tampão de pH 7 e 9.
2. DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Método dos frascos padrão, com incubação a 20°C por 5 dias.
3. DQO (mgO ₂ /L)	Método da refluxação fechada do dicromato de potássio
4. Condutividade elétrica	Método eletrométrico
5. Cloretos (mgCl ⁻ /L)	Método argentométrico de Mohr, com solução titulante nitrato de prata 0,049 N e cromato de potássio como solução indicadora.
6. Metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco e mercúrio)	Espectroscopia de Absorção Atômica.

3.3.3 Coleta de Amostras

Para a coleta e conservação das amostras dos poços de monitoramento utilizou-se a técnica descrita no Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água (CETESB, 1986). Para os parâmetros físicos e químicos, foram utilizados cerca de 5 litros de amostras e para as análises de metais, foi utilizado cerca de 1 litro de amostra coletado por um amostrador do tipo *bailer*.



Figura 14 - Coleta de água do poço de monitoramento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DIAGNÓSTICO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO

4.1.1 Mapas Temáticos do pH do Solo

A Figura 15 apresenta o mapa temático do pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 1m.

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 1m foi de 3,4 a 5,1. A Figura 15 mostra claramente a maior influência no pH do solo na área próxima à disposição de resíduos (trincheira). A área em vermelho (canto superior esquerdo da figura) demonstra que o local é passível de um maior contato com contaminantes. Encontra-se nessa área a tubulação que conduz o percolado até o sistema de tratamento e a área utilizada por um tanque de recirculação que, no início de sua operação, não havia recebido nenhum tratamento adequado para a redução da permeabilidade do solo, posteriormente o tanque foi desativado e preenchido com terra, devido a mudanças na legislação. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro a variação de pH foi baixa, mostrando a influência no solo entre o percolado bruto e o percolado tratado.

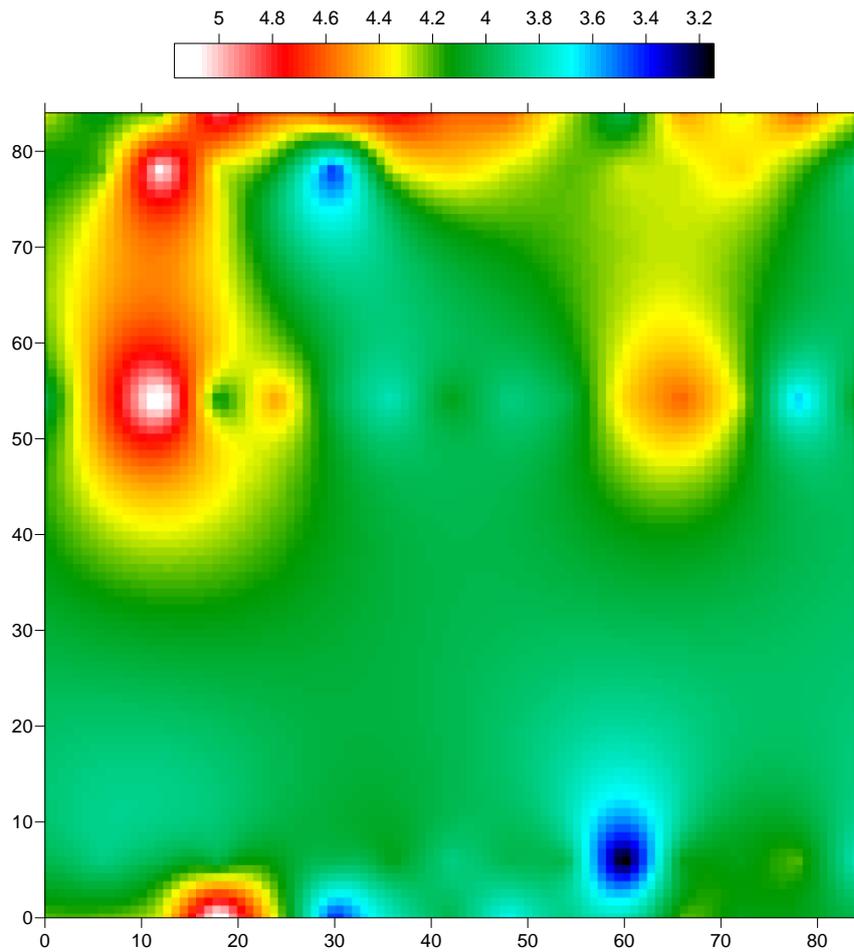


Figura 15 - pH do solo a 1 metro de profundidade.

A Figura 16 apresenta o mapa temático de pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 2 metros.

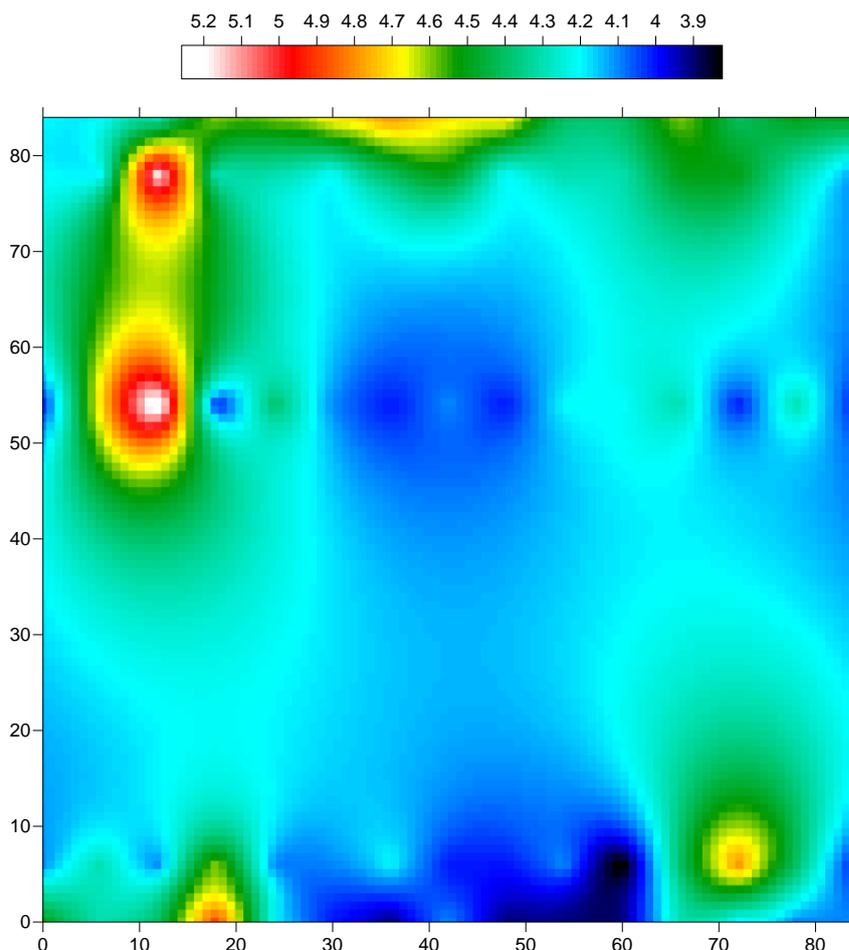


Figura 16 - pH do solo a 2 metros de profundidade.

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 2 metros foi de 4 a 5,3. A Figura 16 continua mostrando claramente a maior influência no pH do solo na área próxima a disposição de resíduos (trincheira). Essa figura demonstra uma possível transição entre a área afetada pela tubulação que conduz o percolado até o tratamento, com a área utilizada pelo tanque de recirculação, mostrada pelos dois círculos vermelhos localizados no canto superior esquerdo da figura. No restante da área, a variação do pH não foi muito afetada, salvo as duas contribuições pontuais na parte inferior da figura, localizados entre o sistema de tratamento e os poços de monitoramento.

A Figura 17 apresenta o mapa temático de pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 3 metros.

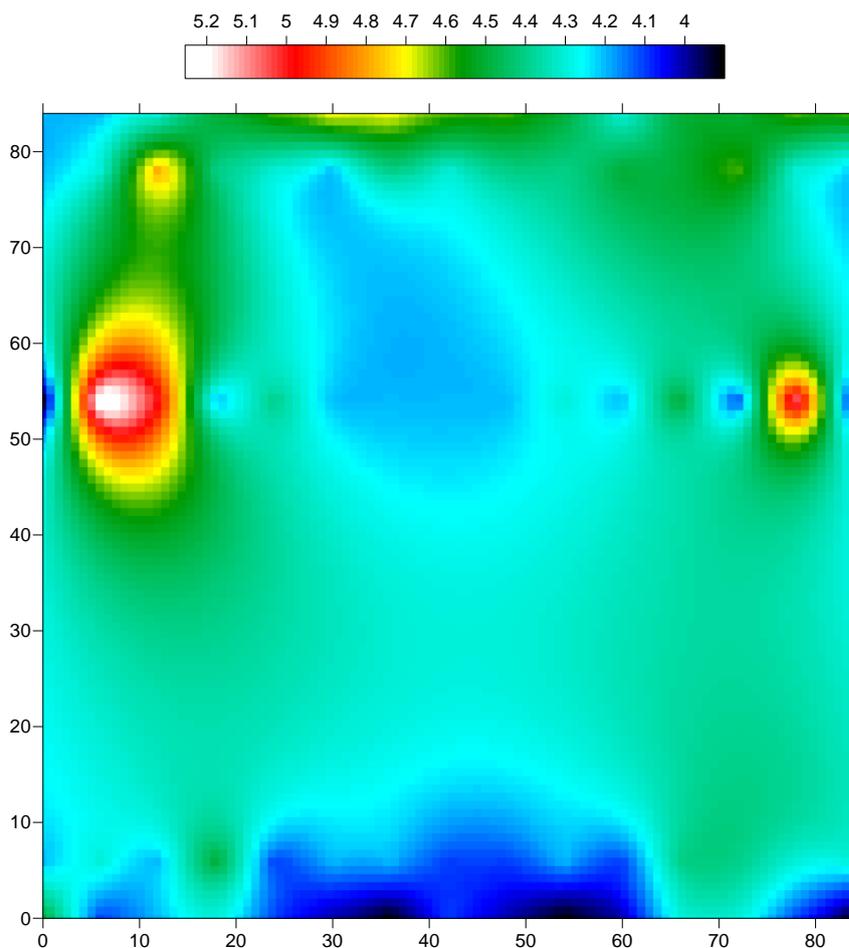


Figura 17 - pH do solo a 3 metros de profundidade.

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 3 metros foi de 3,9 a 5,3. A Figura 17 mostra claramente que a influência no pH do solo na área próxima à disposição de resíduos (trincheira) em relação à área influenciada pelo percolado tratado diminuiu. Isto se deve ao processo de atenuação de contaminantes provenientes do solo. A área afetada pelo tanque de recirculação continua sendo claramente mostrada pela área vermelha localizada no canto superior esquerdo, enquanto que a área afetada pela tubulação já está menor. No canto superior direito verifica-se uma alteração no pH do solo, possivelmente ocasionada pela interferência da lagoa facultativa do sistema de tratamento.

A Figura 18 apresenta o mapa temático de pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 4 metros.

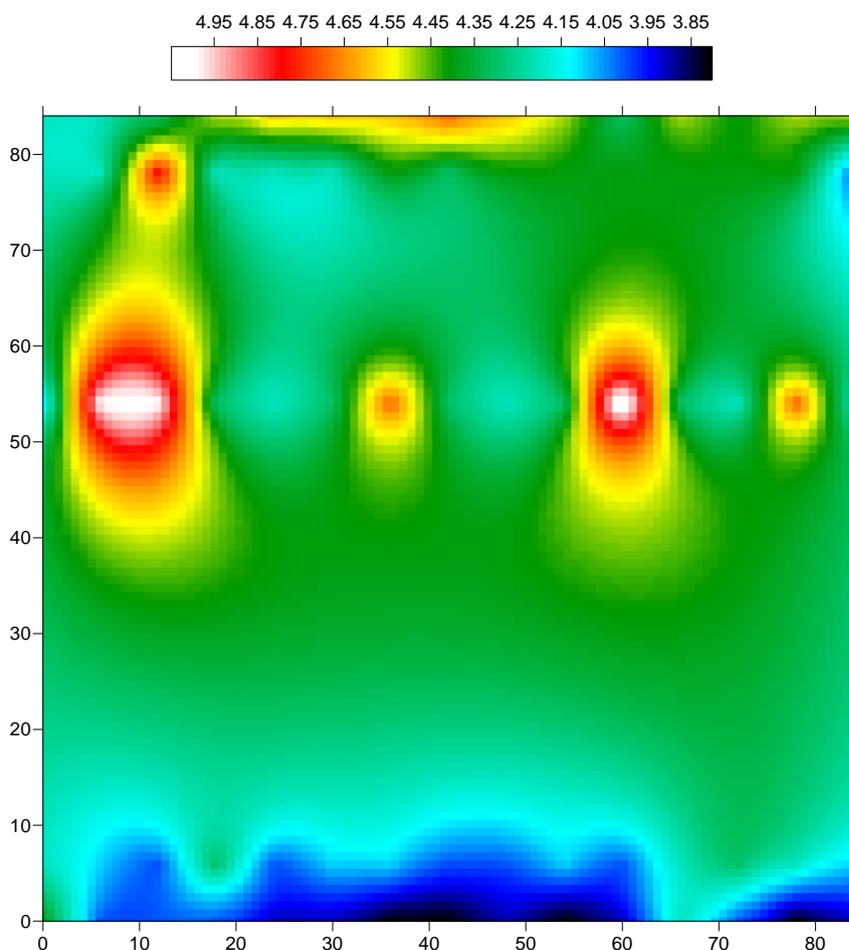


Figura 18 - pH do solo a 4 metros de profundidade.

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 4 metros foi de 4 a 5,1. A Figura 18 continua mostrando com nitidez a área afetada pelo percolado na área do antigo tanque de recirculação. Nesta figura verifica-se a presença de três áreas em destaque, situadas na parte central seguindo até a extremidade direita, esses pontos demonstram a influência da lagoa de tratamento facultativa, na área em que o solo não recebeu um procedimento de redução de permeabilidade adequado. Na área próxima ao sistema de monitoramento (poços de monitoramento) do aterro, comparando-se com a Figura 17, praticamente não ocorreu variação de pH, mostrando o mesmo perfil.

A Figura 19 apresenta o mapa temático de pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 5 metros.

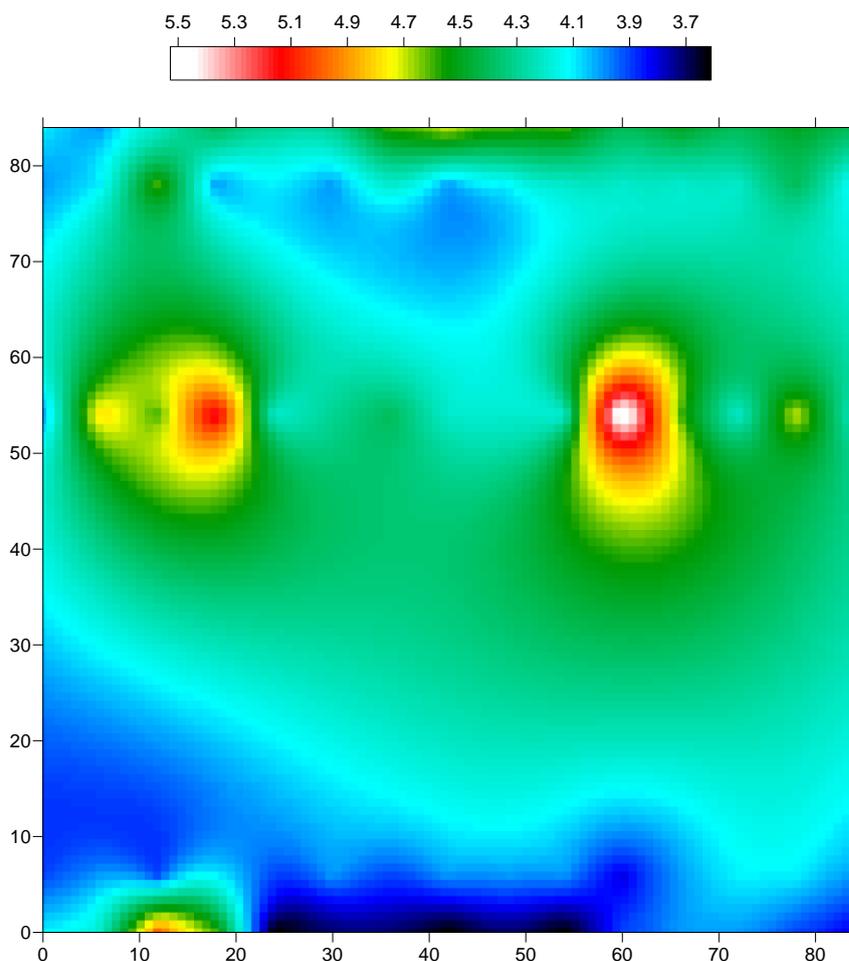


Figura 19 - pH do solo a 5 metros de profundidade.

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 5 metros foi de 3,9 a 5,6. A Figura 19 demonstra que a área no qual se localizava ao antigo tanque de recirculação, não possui mais uma variação significativa de pH. Comparando-se as figuras 18 e 19, verifica-se a redução da variação de pH na parte central da área estudada. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro a variação de pH foi baixa, verifica-se um maior valor de pH na parte inferior esquerda da figura, próxima a um dos poços de monitoramento. O maior valor de pH obtido nas amostras coletadas nesta profundidade, localiza-se na parte central a direita, e está possivelmente relacionada a percolação de chorume proveniente da lagoa de tratamento facultativa.

Conforme descrito por Neiro (2003), o pH de um latossolo distroférico vermelho, utilizado para a agricultura, obtido até a profundidade de 1,2 metros, varia de 4,3 a 4,9, sendo que o pH decresce com o aumento da profundidade.

Conforme Scherer (2007), o pH de um latossolo distroférico vermelho varia de 4,8 a 5,2, nas profundidades de 0 a 1,2 metros quando o solo é utilizado para a agricultura e adubado com esterco de suínos.

Segundo Martins (2002), o pH de um latossolo distroférico vermelho varia de 4,5 a 4,9 quando coletados a 5 cm de profundidade em diferentes povoamentos florestais.

Os resultados de pH obtidos para o latossolo distroférico vermelho, em área utilizada para aterro sanitário, com a variação de profundidade até 5 metros, condizem com os dados obtidos para o mesmo tipo de solo, quando utilizado para fins de agricultura e povoamentos florestais.

Verifica-se também que amostras de solo com valores de pH acima de 5,0 condizem com as áreas que tiveram maior contato com o percolado *in natura*.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a variação de pH em relação à profundidade. Verifica-se na grande maioria das amostras que o valor de pH decresce com o aumento da profundidade, conforme demonstrado por Neiro (2003).

4.1.2 Mapas temáticos da Condutividade Elétrica do Solo

A Figura 20 apresenta o mapa temático de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 1 metro.

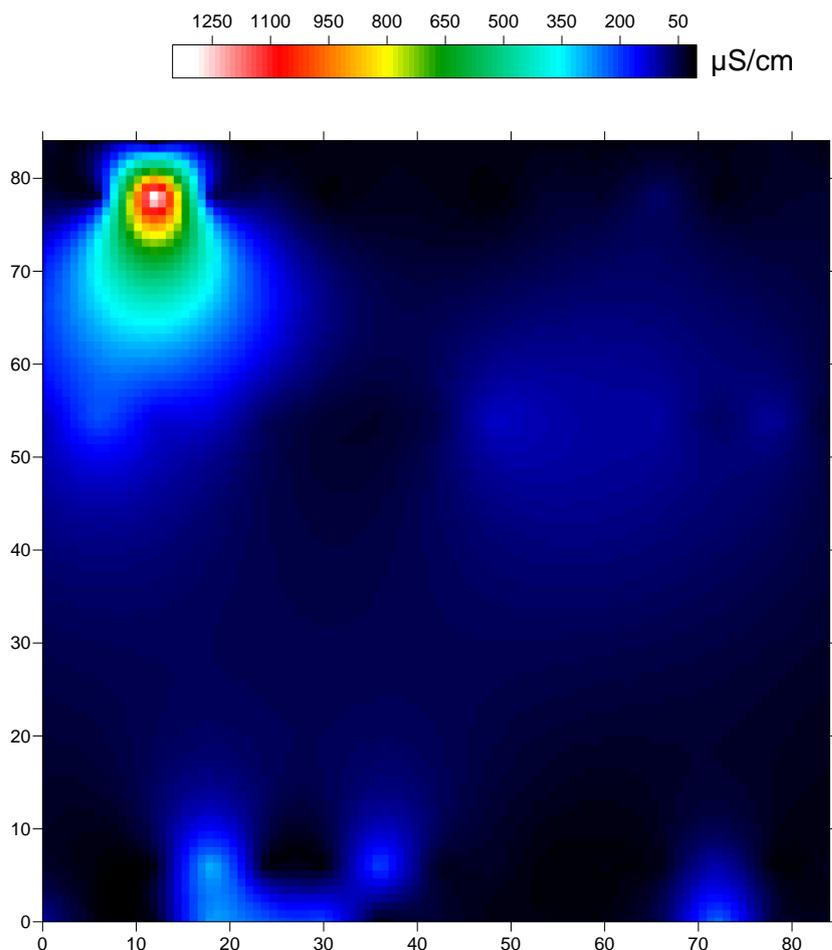


Figura 20 - Condutividade elétrica a 1 metro de profundidade.

A variação de condutividade elétrica, expressa em $\mu\text{S/cm}$, na área amostrada, na profundidade de 1 metro foi de 8 a 1390. A Figura 20 mostra com nitidez a área afetada pela tubulação que conduz o percolado ao sistema de tratamento (áreas vermelhas). Quanto à área do antigo tanque de recirculação, verifica-se uma pequena alteração de condutividade (áreas verdes), quando comparado com o restante da área. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, foram constatados os menores valores de condutividade, fator que, possivelmente, é explicado pelo processo de tratamento do percolado.

A Figura 21 apresenta o mapa temático de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 2 metros.

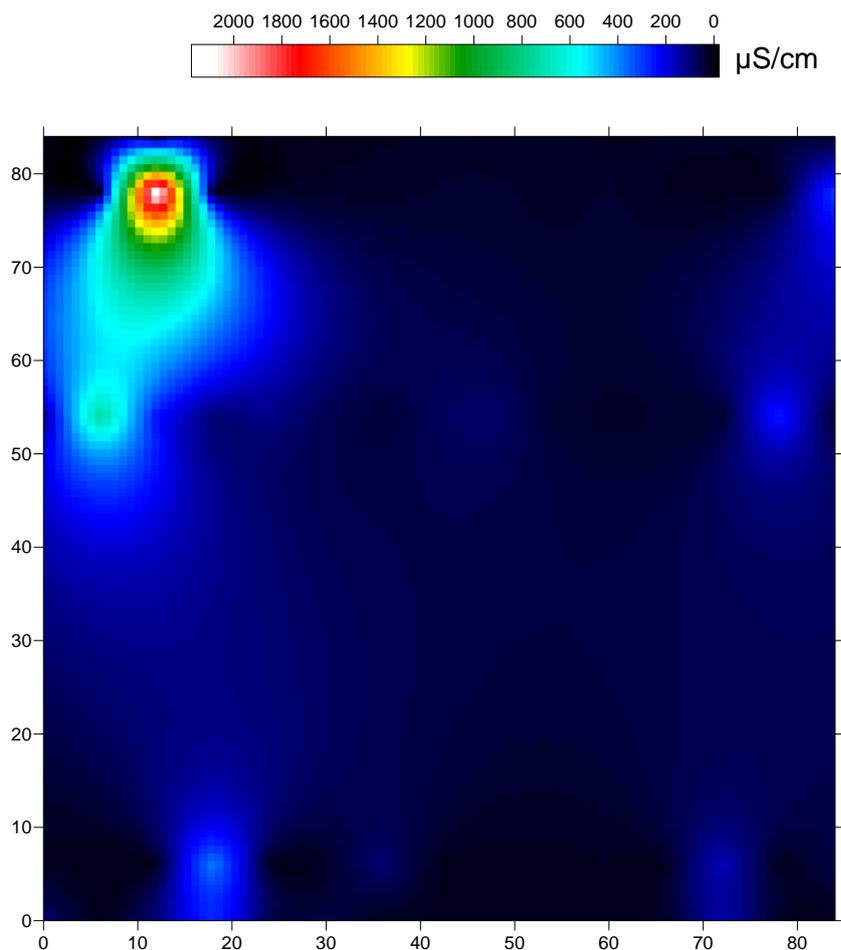


Figura 21 - Condutividade elétrica a 2 metros de profundidade.

A variação de condutividade elétrica, expressa em $\mu\text{S/cm}$, na área amostrada, na profundidade de 2 metros foi de 8 a 2238. A Figura 21 continua mostrando com nitidez que a área afetada pela tubulação que conduz o percolado ao sistema de tratamento possui as maiores condutividades (áreas vermelhas). Quanto à área do antigo tanque de recirculação, verifica-se um aumento significativo de condutividade (áreas verdes), passando de $220 \mu\text{S/cm}$ (ponto C2 1m) para $734 \mu\text{S/cm}$ (ponto C2 2m), quando comparado à Figura 20. Isso pode estar relacionado com altura da lâmina de percolado quando a ela estava em operação. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, os valores permaneceram sem alteração significativa em relação à profundidade de 1 metro.

A Figura 22 apresenta o mapa temático de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 3 metros.

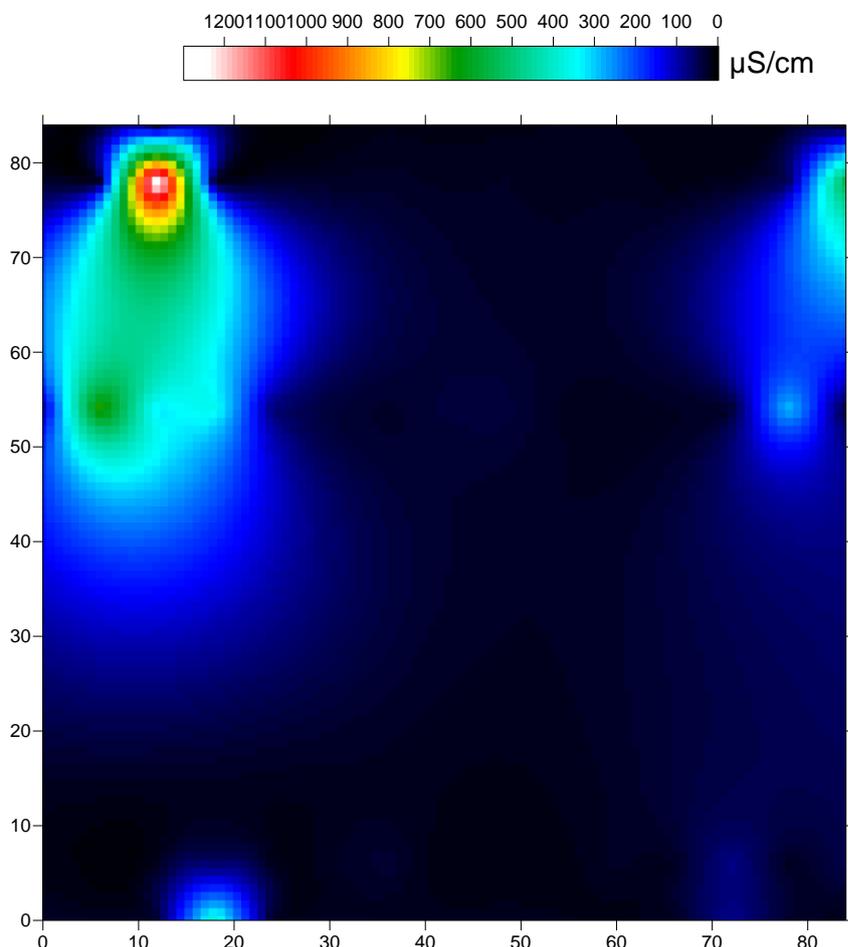


Figura 22 - Condutividade elétrica a 3 metros de profundidade.

A variação de condutividade elétrica, expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$, na área amostrada, na profundidade de 3 metros foi de 7 a 1335. A Figura 22 mostra que os valores de condutividade elétrica na área afetada pelo antigo tanque de recirculação, em relação à profundidade de 2 metros, permanece constante. A área afetada pela tubulação que conduz o percolado ao sistema de tratamento ainda possui as maiores condutividades (áreas vermelhas). Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, não ocorreram alterações significativas de condutividade elétrica.

A Figura 23 apresenta o mapa temático de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 4 metros.

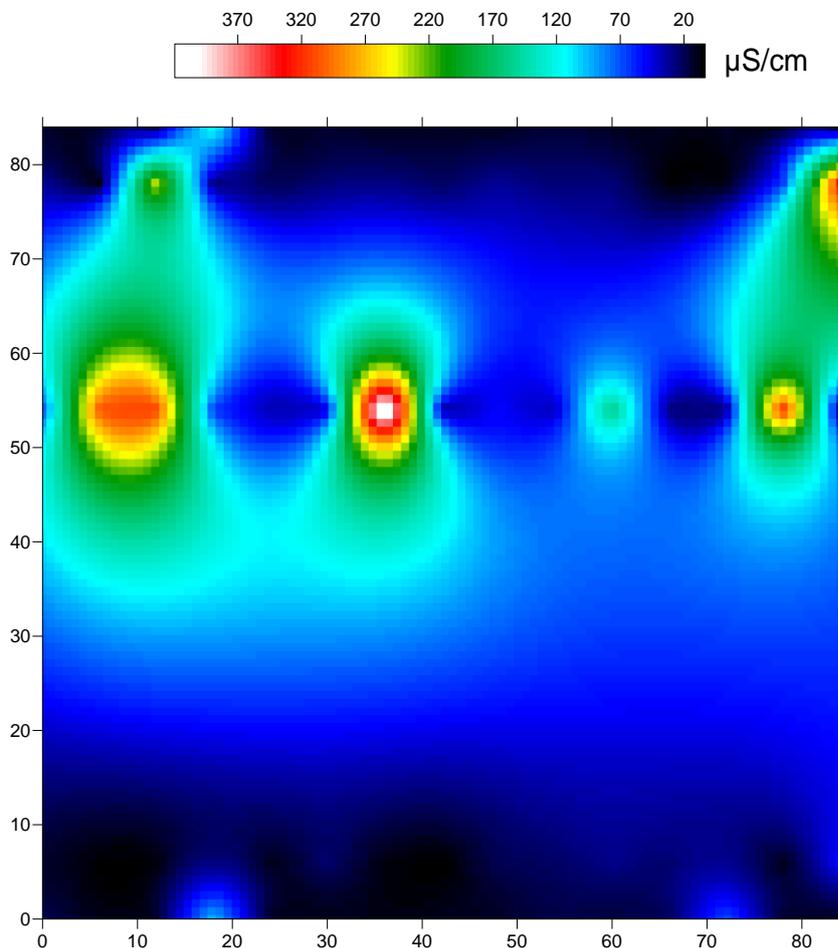


Figura 23 - Condutividade elétrica a 4 metros de profundidade.

A variação de condutividade elétrica, expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$, na área amostrada, na profundidade de 4 metros foi de 3 a 452. A Figura 23 mostra o aparecimento de uma linha paralela de valores de condutividade elétrica próxima à da área afetada pelo antigo tanque de recirculação, possivelmente ocasionada pela interferência da lagoa de tratamento facultativa e, nas áreas que o solo não recebeu nenhum procedimento de redução de permeabilidade, o formato desta figura se torna parecido com a forma da Figura 18. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, não ocorreram alterações significativas de condutividade elétrica.

A Figura 24 apresenta o mapa temático de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 5 metros.

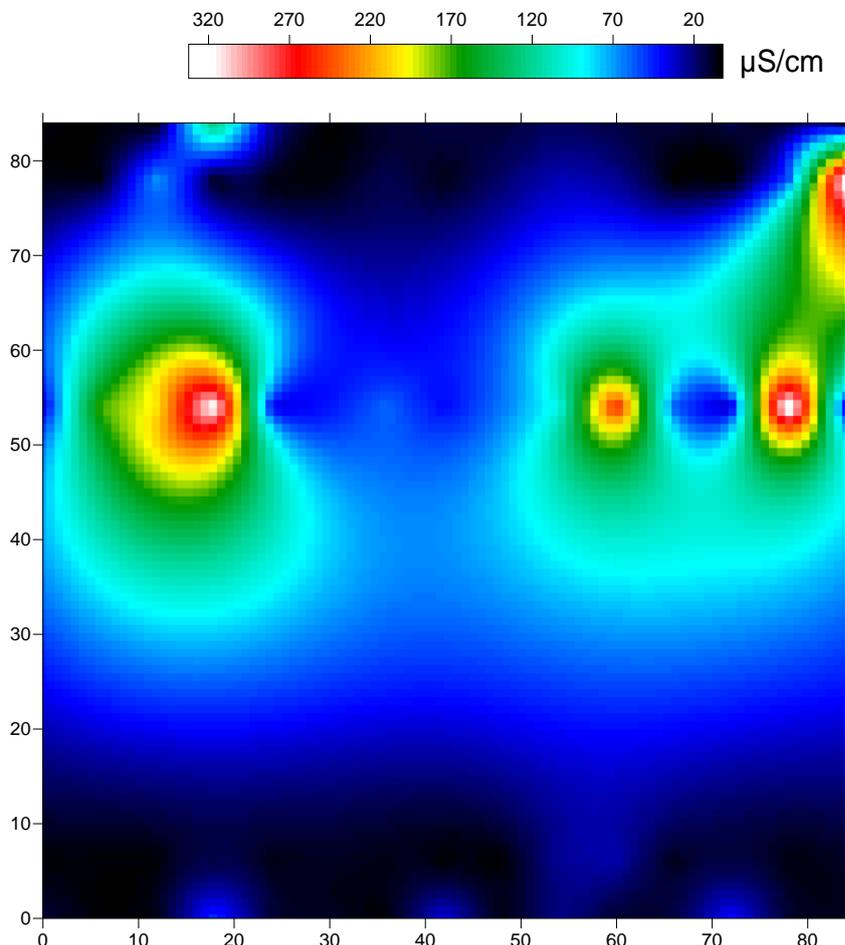


Figura 24 - Condutividade elétrica a 5 metros de profundidade.

A variação de condutividade elétrica, expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$, na área amostrada, na profundidade de 5 metros foi de 3 a 344. A Figura 24 mostra visualmente uma grande diferenciação de cores em relação às figuras anteriores. Nesta profundidade, verifica-se a menor variação de condutividade elétrica, demonstrando a atenuação da contaminação no perfil do solo. Na área inicialmente afetada pela tubulação que conduz o percolado, verifica-se que os valores de condutividade elétrica já estão bem menores. Os maiores valores de condutividade nesta figura ainda são apresentados em sua área central e, possivelmente, foram afetados pelo percolado devido à falta de procedimentos

de redução de permeabilidade do solo. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, não ocorreram alterações significativas de condutividade elétrica.

Segundo Machado (2006), os valores de CE obtidos para um latossolo vermelho distroférico, por meio de um equipamento móvel de campo, a uma profundidade de 0 a 5 cm varia de 19 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 137 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com um valor médio de 52 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Para a EMBRAPA (2006), o valor limite da condutividade elétrica de um solo, para fins agrícolas é de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Considerando-se o que foi descrito anteriormente, verifica-se que a grande maioria das amostras de solo coletado na área do aterro sanitário apresenta valores de condutividade elétrica dentro do limite estabelecido pela Embrapa para fins agrícolas.

Quanto aos valores obtidos por Machado (2006), verifica-se que as amostras de solo do aterro sanitário possuem o mesmo padrão de condutividade elétrica, salvo as amostras que tiveram maior contato com percolado.

Considerando as cinco imagens verifica-se que a condutividade elétrica do solo é mais elevada (ELIS; ZUQUETE 2002) em áreas que não tiveram um processo de impermeabilização adequado e que tiveram contato com o percolado *in natura*.

4.1.3 Mapas Temáticos da Matéria Orgânica

A Figura 25 apresenta o mapa temático de matéria orgânica (%) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 1 metro.

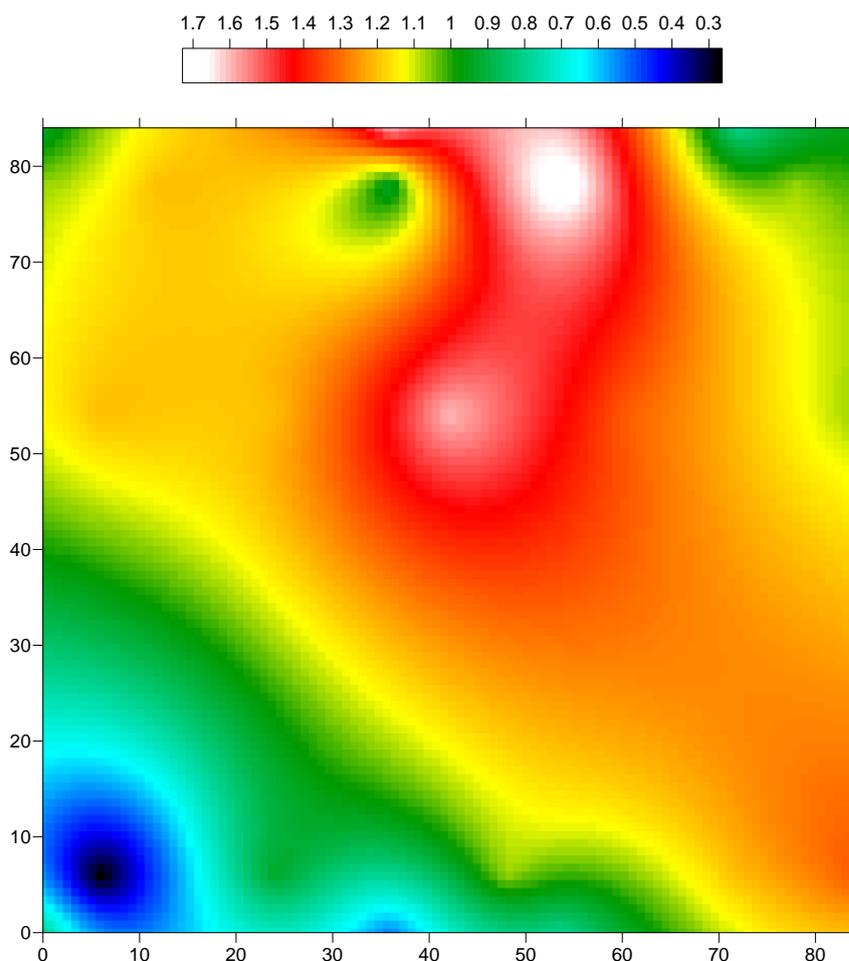


Figura 25 - Matéria orgânica a 1 metro de profundidade.

A variação de matéria orgânica, expressa em %, na área amostrada, na profundidade de um metro foi de 0,26 a 1,74. A Figura 25 mostra visualmente uma grande diferenciação em relação aos mapas de pH e CE. O único fator distinto que pode ser observado com clareza é que a concentração de matéria orgânica é maior quando mais próxima da área da trincheira, isso pode ocorrer devido à alta carga orgânica do chorume bruto.

A Figura 26 apresenta o mapa temático de matéria orgânica (%) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 2 metros.

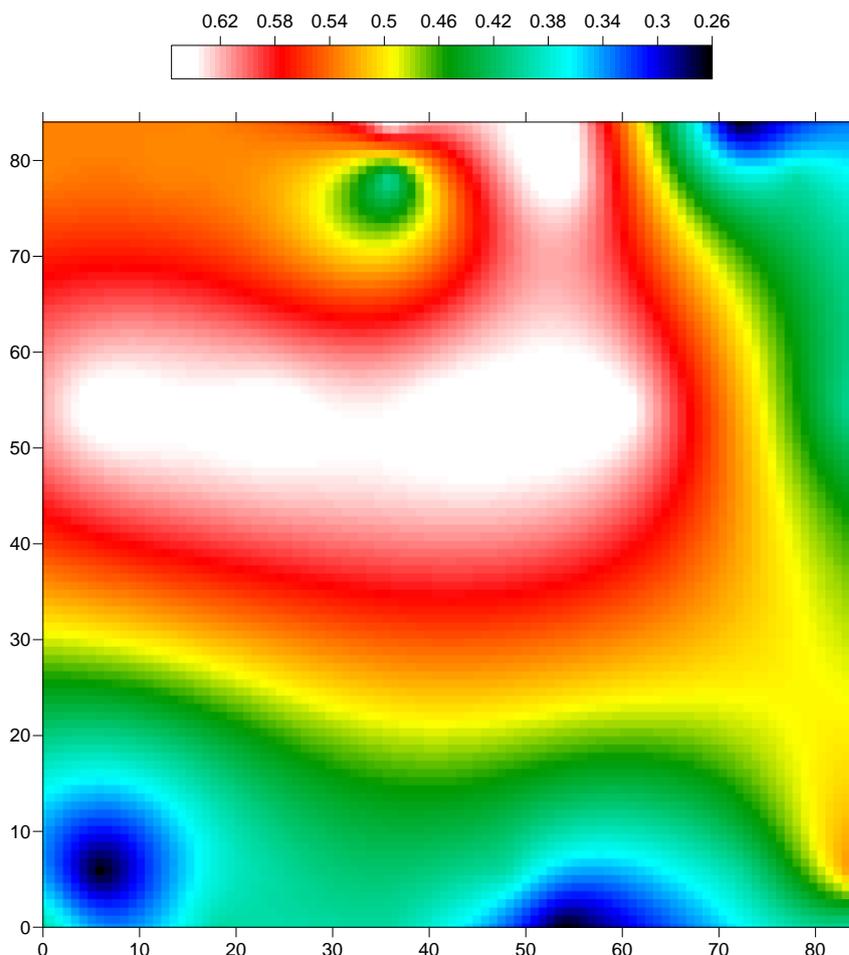


Figura 26 - Matéria orgânica a 2 metros de profundidade.

A variação de matéria orgânica, expressa em %, na área amostrada, na profundidade de 2 metros foi de 0,26 a 0,66. A Figura 26 continua mostrando visualmente uma grande diferenciação em relação aos mapas de pH e CE. Verifica-se que a concentração de matéria orgânica é maior quando mais próxima da área da trincheira, porém, com uma variação bem menor, demonstrando o poder de atenuação do solo em relação à profundidade.

A Figura 27 apresenta o mapa temático de matéria orgânica (%) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 3 metros.

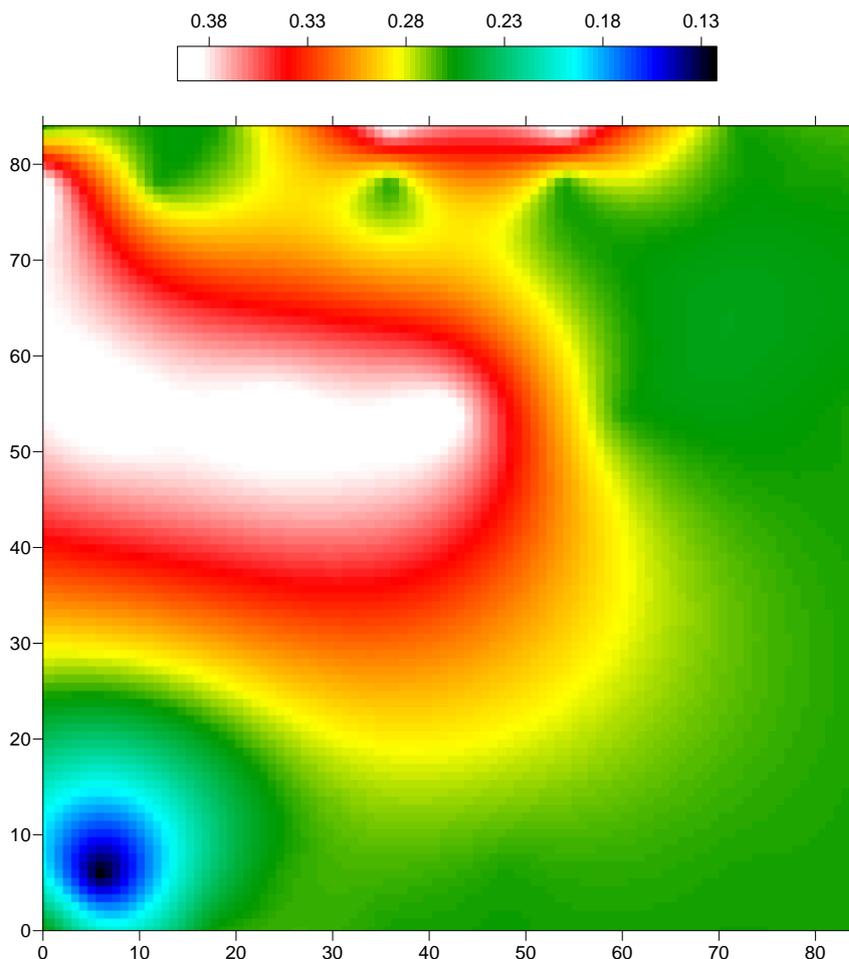


Figura 27 - Matéria orgânica a 3 metros de profundidade.

A variação de matéria orgânica, expressa em %, na área amostrada, na profundidade de 3 metros foi de 0,12 a 0,26. A Figura 27 mostra que, apesar da grande diferenciação de cores, a variação de matéria orgânica em toda a área é praticamente constante.

Em relação aos mapas de pH e CE, visualmente não se observa uma correlação entre eles. Verifica-se que a concentração de matéria orgânica ainda é maior quando mais próxima da área da trincheira, em comparação com os valores de MO das áreas próximas ao sistema de monitoramento.

Conforme descrito por LEITE (2004), o solo apresenta maiores concentrações nas camadas superficiais (<1m) e diminui com o aumento da profundidade, o que é visualizado nos mapas obtidos, porém a análise de matéria orgânica não demonstrou potencial para diagnosticar uma possível pluma de contaminação proveniente do depósito de resíduos. A concentração

de matéria orgânica apresentou resultados com pouca variação na diferentes profundidades, sendo que na profundidade de três metros o valor já era praticamente constante em toda a área, não sendo necessário continuar a amostragem em profundidades superiores.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PERCOLADO (CHORUME) DO ATERRO SANITÁRIO

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos para o chorume *in natura* do aterro sanitário, para as quatro amostras coletadas.

Tabela 8 - Caracterização do chorume *in natura*

PARÂMETRO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	MÉDIA
pH	7,52	7,56	7,46	7,74	7,49
DBO ₅ (mg/L)	8000	5633	3800	1363	4699
DQO (mg/L)	9730	7707	6215	2440	6523
Cd (mg/L)	0,015	NC	ND	NC	0,015
Pb (mg/L)	ND	NC	ND	NC	ND
Cu (mg/L)	0,05	NC	ND	NC	0,05
Cr (mg/L)	0,30	NC	ND	NC	0,3
Hg (µg/L)	ND	NC	ND	NC	ND
Ni (mg/L)	0,14	NC	0,14	NC	0,14
Zn (mg/L)	1,87	NC	0,87	NC	1,37

Notas: ND = não detectado;

NC = não caracterizado.

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos para o chorume pós-tratamento do aterro sanitário, para as quatro amostras coletadas, tendo como referência os valores preconizados na licença de operação do aterro e na Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2007).

Tabela 9 - Caracterização do chorume pós-tratamento

PARÂMETRO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	MÉDIA	VMP
pH	8,16	7,97	8,12	8,18	8,10	5 a 9*
DBO ₅ (mg/L)	ND	ND	ND	182,1	182,1	100**
DQO (mg/L)	784	775	865	650	769	150**
Cd (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	0,2*
Pb (mg/L)	ND	ND	ND	3,12	ND	0,5*
Cu (mg/L)	ND	ND	ND	0,80	ND	1,0*
Cr (mg/L)	0,10	ND	ND	0,55	0,33	0,5*
Hg (µg/L)	NC	NC	NC	ND	ND	10,0*
Ni (mg/L)	ND	ND	ND	0,02	ND	2,0*
Zn (mg/L)	0,12	0,11	0,29	1,4	0,48	5,0*

Notas: ND = não detectado;

NC = não caracterizado;

SR = sem referência;

VMP = valor máximo permissível para lançamento;

* Resolução 357/05 do Conama;

** IAP = Licença de operação.

Os resultados demonstram a alta carga poluidora do chorume *in natura*, tendo como valor médio uma DBO₅ de 4700 mg/L e 6500mg/L de DQO. Os valores do pH do chorume são constantes, com um valor médio de 7,5, indicando a predominância de resíduos aterrados há mais tempo (SISINO; OLIVEIRA 2000). Os níveis de metais pesados e seus valores indicam predominância de disposição final de resíduos orgânicos como restos de alimento, conforme descrito por SEGATO (2000), RAY e CHAN (1986) e LO (1996). De acordo com descrito na NBR 10004 (ABNT, 2004), considerando-se a análise do percolado, o aterro sanitário está sendo utilizado conforme especificado em seu licenciamento ambiental por resíduos da classe IIA, conforme os valores apresentados na Tabela 8.

Quanto ao sistema de tratamento de percolado, ele diminui significativamente a concentração de matéria orgânica presente no percolado, conforme os valores apresentados na Tabela 9. Segundo FERREIRA *et al.* (2001), o tratamento do percolado ainda é um grande desafio devido à variação de vazão, características físico-químicas e do tempo de aterramento dos resíduos.

Segundo os parâmetros de lançamento, descritos na Licença de Operação do Aterro Sanitário emitida pelo IAP, o percolato do aterro sanitário não possui as características necessárias para seu destino em corpos hídricos, devido aos parâmetros DBO₅ e DQO. Atualmente é adotada a técnica da recirculação.

Quanto aos parâmetros de lançamento, descritos pela Resolução 357/05 - Conama, o percolato do aterro sanitário não possui restrições de lançamento em corpos hídricos, conforme descrito na Tabela 9.

4.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A Tabela 10 apresenta os valores obtidos das amostras coletadas no poço de monitoramento 2, em comparação com os valores máximos permissíveis, descritos pela Portaria 518/04 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2007).

Tabela 10 - Qualidade da água no poço de monitoramento

PARÂMETRO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	MÉDIA	VMP
pH	6,69	6,01	5,72	6,08	6,13	6 a 9,5
CE (µS/cm)	14,5	121,6	1651	1938	932	SR
Cl ⁻ (mg/L)	369	221	336	322	312	250
DBO ₅ (mg/L)	6,0	3,0	2,0	17	7,0	SR
DQO (mg/L)	56	49	58	54	54,3	SR
Cd (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	0,005
Pb (mg/L)	0,02	ND	0,01	ND	0,015	0,01
Cu (mg/L)	0,035	0,019	0,018	0,012	0,021	2
Cr (mg/L)	0,02	0,02	ND	ND	0,02	0,05
Hg (mg/L)	0,14	ND	ND	ND	ND	1
Ni (mg/L)	0,02	ND	ND	ND	ND	SR
Zn (mg/L)	0,17	0,12	0,05	0,10	0,11	5

Notas: ND = não detectado;

SR = sem referência;

VMP = valor máximo permissível, conforme Portaria 518/04 - Anvisa.

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos das amostras coletadas no poço escavado no aterro, em relação aos valores máximos permissíveis, descritos pela Portaria 518/04 – ANVISA (ANVISA, 2007).

Tabela 11 - Qualidade da água no poço escavado

PARÂMETRO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	MÉDIA	VMP
pH	6,53	5,4	5,12	5,13	5,55	6 a 9,5
CE ($\mu\text{S/cm}$)	127,9	39,4	49,2	47,7	66,1	SR
Cl ⁻ (mg/L)	4,5	2,0	ND	0,4	1,73	250
DBO ₅ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	SR
DQO (mg/L)	ND	3,2	8,6	2,9	3,68	SR
Cd (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	0,005
Pb (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Cu (mg/L)	0,01	ND	ND	ND	0,01	2
Cr (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	0,05
Hg ($\mu\text{g/L}$)	1,65	1,55	1,06	1,05	1,33	1
Ni (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	SR
Zn (mg/L)	0,04	ND	ND	0,09	0,065	5

Notas: ND = não detectado;

SR = sem referência;

VMP = valor máximo permissível, conforme Portaria 518/04 da Anvisa.

A comparação dos valores obtidos nos dois poços (tabelas 10 e 11), considerando-se o fluxo da água subterrânea, a tipologia de solo (CARDOSO, 2003) e a profundidade do lençol freático (CASSINI, 2003) sugerem que a água do poço de monitoramento está suscetível à contaminação por águas superficiais. Tal entendimento é demonstrado pela diferença de valores médios entre os parâmetros CE: 932 $\mu\text{S/cm}$ para o poço de monitoramento e 66,1 $\mu\text{S/cm}$ do poço escavado e Cl⁻: 312 mg/L para o poço de monitoramento e 1,73 mg/L para o poço escavado.

Comparados com os valores máximos permissíveis, estabelecidos pela Portaria 514/04 - Anvisa, dois parâmetros chamam a atenção por estarem em descadordo com a portaria, no poço de monitoramento o valor de Cl⁻ se encontra acima do valores de referência, já no poço escavado a concentração de Hg encontra-se 0,33 $\mu\text{g/L}$ acima do valor de referência descrito pela norma, devendo ser alvo de constante monitoramento.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados da pesquisa realizada, pode-se concluir que:

- As áreas que tiveram maior variação nos valores de pH e condutividade elétrica foram aquelas que não sofreram nenhum processo de redução de permeabilidade e que tiveram contato com chorume bruto;

- O solo do aterro possui grande poder de atenuação de contaminantes, verificando-se a menor variação dos parâmetros em maiores profundidades;

- Os valores de pH e condutividade elétrica do solo são diretamente proporcionais, demonstrando os padrões representados nos mapas temáticos;

- Os mapas gerados pelo SURFER32 condizem com o histórico de utilização da área, demonstrando a veracidade dos resultados obtidos em laboratório pelas análises de solo;

- A variação de valores de pH e condutividade elétrica são maiores nas áreas próximas à trincheira de resíduos, quando comparados com valores próximos do sistema de monitoramento do aterro sanitário;

- Verifica-se visualmente nos mapas de matéria orgânica, a variação de concentração de matéria orgânica em relação à profundidade do solo, demonstrando o poder de atenuação de contaminantes no solo, atuando como um reator físico químico;

- Os mapas de matéria orgânica não demonstram potencial de avaliação de deslocamento de pluma de contaminação, devido à baixa variação da concentração nas profundidades estudadas;

- Não existe uma correlação visual dos mapas de MO com os mapas de pH e condutividade elétrica e nem com o histórico da área;

- Os parâmetros de qualidade do percolado *in natura* indicam a predominância de aterramento de resíduos domiciliares (relação de DQO/DBO₅ e baixos índices de metais pesados);

- Os resultados dos parâmetros obtidos no poço de monitoramento do aterro, quando comparados aos valores obtidos no poço escavado, demonstram uma possível contaminação por águas superficiais, haja vista sua atual localização e aspectos construtivos;

- O sistema de monitoramento do aterro sanitário precisa ser readequado, de acordo com as normas da ABNT, em virtude do alinhamento dos atuais poços e pela possível contaminação ocasionada por águas pluviais;

- As áreas utilizadas para o aterramento dos resíduos e para o sistema de tratamento de percolado devem receber, no mínimo, um procedimento de impermeabilização baseado na redução do coeficiente de permeabilidade do solo, conforme pode ser verificado pelas análises de pH e condutividade elétrica do solo.

6 SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES

Considerando os dados obtidos neste trabalho, pode-se sugerir como objetivo para futuras pesquisas:

- Comparar os mapas de condutividade elétrica obtida por meio das coletas e análises de solo com métodos geofísicos;

- Verificar em laboratório a contaminação de solos por percolados de aterros, mais especificamente os parâmetros utilizados neste trabalho e a relação com os dados encontrados em campo;

- Readequar o sistema de monitoramento de águas subterrâneas do aterro, visto que ele se encontra suscetível à contaminação por águas superficiais e fora das normas técnicas que regem o assunto;

- Efetuar sondagens e coletas de solo ao redor de toda a área do aterro sanitário e comparar os resultados apresentados;

- Realizar novas coletas de solo, na área amostrada e comparar com os resultados obtidos neste trabalho;

- Verificar por meio de poços de monitoramento de fase gasosa, a eficiência do sistema de drenagem de gases e a possível pluma de contaminação ocasionada pela percolação no solo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Portaria 518** de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://anvisa.gov.br/legis/portarias/518_04.htm Acesso em: 10 de maio 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examinations of water and wastewater**. 19th ed. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995. 953 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13895**: Construção de poços de monitoramento e amostragem - Procedimento, Rio de Janeiro, 1997a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE MATERIAIS PARA SANEAMENTO – ASFAMAS. Aterro Sanitário. Local: São Paulo ASFAMAS, 2005.

AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON IRRIGATION AND DRAINAGE – ANCID. Open Channel Seepage & Control – **Literature review of earthen channel seepage remediation techniques**. Australia: ANCID, 2001, 111 p.

BATSTONE R.; SMITH J.; WILSON D. The Safe Disposal of Hazardous Wastes – The Special Needs and Problems of Developing Countries. **World Bank Technical**, Washington D. C., n. 93, v.1, 292f, 1989.

BOSCOV, M. E. G. **Contribuição ao projeto de sistemas de contenção de resíduos perigosos utilizando solos lateríticos**. 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politecnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

CARDOSO, Décio L. **Estudo da compactação de base do aterro sanitário de Cascavel**. Cascavel – PR: Unioeste, 2003. Relatório Técnico.

CARVALHO, A. L. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos – o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. 2001. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2001.

CASSINI, Carlos T. **Perfil hidrogeológico do aterro sanitário de Cascavel**. Cascavel – PR: Secretaria Municipal do Meio Ambiente do Município de Cascavel, 2003. Projeto executivo.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA – CONDER. **Manual de Operação de aterros sanitários**. Local: Salvador BA CONDER, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Guia de coleta e conservação de amostras de água**. Local: São Paulo CETESB, 1986.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB.
Manual de gerenciamento de áreas contaminadas - Métodos Geofísicos.
Local: São Paulo CETESB, 1999.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº357**,
de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a Classificação dos corpos d'água.
Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf Acesso
em: 10 de maio de 2007.

DANIEL, D. E. Case histories of compacted clay liners and covers for waste disposal facilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CASE HISTORIES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING, 3rd. 1993, St. Mo., S. Prakash, 1993. p. 1407-1425.

ELIS, Vagner R.; ZUQUETE, Lázaro V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Geociências**, Local: Curitiba PR, v. 32, p. 119-134, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.
Jaguariúna: Embrapa, 2006. 8 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa; Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1999. 412 p.

FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2000.

FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T. C. de A.; CAMPOS, J. C.; LIMA, P. Z. M. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do Estado do Rio de Janeiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001. João Pessoa – PB. **Anais...** João Pessoa – PB, 2001.

FLECK, E. **Sistema Integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** 2003. 350f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HAMADA, J, Influência da compactação de um solo arenoso na infiltração e retenção de carga orgânica de chorume. **Revista Eng. Sanit. Ambiental,** Local : Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 180-186, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico – PNSB,** Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. - **Lixo municipal:** Manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. (IPT. Publicação, 2163).

LEITE, Cibele M. B. Método Walkley Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental,** Local: Campina Grande-PB, v. 8, n. 1, p. 111-115, 2004.

LEITE, J. C.; ZUQUETTE, L. V. Prevenção da contaminação e poluição de aquíferos: a utilização de liners. **Geociências,** Local: Rio Claro - SP v. 14, n. 1, p. 167-178, 1995.

LINS, E. A. M. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no Aterro da Muribeca.** 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

LO, I. M. C. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills. **Environment International, Elsevier Science.** v. 22, n. 4, p. 433-442, 1996.

MACHADO, Pedro L. O. A. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 41, n. 6, p. 1023-1031, jun. 2006.

MARTINS, Sérgio G. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **CERNE,** Local: Lavras MG, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MELO, V. L. A. **Estudos de referência para diagnóstico ambiental em aterros de resíduos sólidos.** CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000. Fortaleza – CE. **Anais...** Fortaleza – CE: 2000.

NEIRO, Everton S. Resistência à penetração de um latossolo vermelho distroférico, com rotação e sucessão de culturas, sob plantio direto. **Acta Scientiarum:** Agronomy, Local:Maringá PR ,v. 25, n. 1, p. 19-25, 2003.

NOBRE, M. M. M. **Estudo experimental do transporte de poluentes em solos argilosos compactados.** 1987. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1987.

OLIVEIRA, F. J. S.; JUCÁ J. F. T., Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um

aterro de resíduos sólido. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Local: Rio de Janeiro - RJ, v. 9, n. 3, p. 211-217, 2004.

PAES, R. F. C. **Caracterização do chorume produzido no aterro da Muribeca - PE**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA; Instituto Ambiental do Paraná – IAP; Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental SUDERHSA **Resolução Conjunta nº01**, 21 de agosto de 2006. Estabelece requisitos, critérios técnicos e procedimentos para a seleção de áreas destinadas a implantação de Aterros Sanitários, elaboração do projeto executivo e operação do aterro, visando a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Local: Curitiba – PR, 2006.

PEJON O.J.; ZUQUETTE L.V. Importância de estudos geológico-geotécnicos para a disposição de rejeitos urbanos. SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2, 1991. Rio de Janeiro – RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Mecânica de solos - ABMS, 1991. p. 367-377.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 240p. (2003).

RAY, C; CHAN, P.C. Heavy metals in landfill leachate. **International Journal of Environmental Studies**, Londres, n. 27, p. 225-237, 1986.

REINHART, D. R.; GROSH, C. J. **Analysis of Florida MSW landfill leachate quality**. Florida: University of Central, 1998.

REZENDE, F. A. **Aceleração do processo de compostagem de resíduos sólidos**. 2005. 82f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

ROWE, R. K.; KROL, M. M. Preventing unacceptable environmental impacts due to landfills: modeling and parameters. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 3, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo 1998. p. 29-30.

ROWE, R. K.; QUIGLEY, R. M.; BOOKER, J. R. **Clayey barrier systems for waste disposal facilities**. London: E & FN Spon, 1995. 390 p.

SANTOS, A. F. M. S; KATO, M. T; FLORENCIO, L. Estudo Comparativo entre a biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia de chorume de aterro controlado. SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2004, Natal - PE. **Anais...** Natal – PE: ABES 2004. p. 1-8.

SCHERER, Eloi E. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Local, Viçosa MG, n. 31, p. 123-131, 2007.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru. XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...** Porto Alegre RS. AIDIS 2000. p.8 .

SISINO, C. L. S. Avaliação da contaminação e poluição ambiental do aterro controlado do morro do céu, Niterói, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 515-523, 1996.

SISINO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. **Resíduos Sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. 1. ed. Manguinhos RJ: FIOCRUZ, 2000. 142 p.

SOUSA, H. A. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR 040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 04, p. 292-300, 2002.

TRANCHES JÚNIOR, S. **A utilização de sistemas de informações geográficas para análise de parâmetros físico-químicos do solo do aterro de resíduos sólidos de Cascavel**. 2001. 75f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2001.

APÊNDICE

**APÊNDICE A - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO EM DIFERENTES
PROFUNDIDADES**

LINHA/POSIÇÃO			μS/cm (1m)	μS/cm (2m)	μS/cm (3m)	μS/cm (4m)	μS/cm (5m)
A1	0	84	37	16	19	13	5
A2	6	84	35	18	23	13	4
A3	12	84	9	14	15	18	4
A4	18	84	43	50	75	117	132
A5	24	84	15	16	7	12	24
A6	30	84	17	14	8	13	3
A7	36	84	20	13	13	9	9
A8	42	84	15	19	10	11	13
A9	48	84	20	14	12	9	10
A10	54	84	18	20	15	14	16
A11	60	84	14	12	14	10	12
A12	66	84	17	17	12	10	11
A13	72	84	18	20	14	12	14
A14	78	84	27	26	16	11	11
A15	84	84	16	19	14	10	9
B1	0	78	39	20	25	32	6
B2	6	78	33	17	20	8	5
B3	12	78	1390	2238	1335	242	67
B4	18	78	59	20	19	26	6
B5	24	78	59	19	25	19	5
B6	30	78	12	20	20	26	5
B7	36	78	22	19	23	28	15
B8	42	78	21	26	18	21	6
B9	48	78	8	28	20	31	18
B10	54	78	35	17	17	25	29
B11	60	78	31	27	19	26	24
B12	66	78	65	15	11	5	3
B13	72	78	17	11	16	8	3
B14	78	78	29	16	50	64	54
B15	84	78	34	295	552	334	336
C1	0	54	108	105	88	67	30
C2	6	54	220	734	665	307	171
C3	12	54	129	233	320	314	203
C4	18	54	126	88	358	64	327

Continua...

Conclusão.

LINHA/POSIÇÃO		μS/cm (1m)	μS/cm (2m)	μS/cm (3m)	μS/cm (4m)	μS/cm (5m)
C5	24 54	58	110	65	37	36
C6	30 54	36	60	33	43	43
C7	36 54	31	35	24	452	59
C8	42 54	49	71	32	34	40
C9	48 54	123	81	35	51	62
C10	54 54	105	30	19	38	95
C11	60 54	96	23	18	157	260
C12	66 54	102	26	20	26	56
C13	72 54	61	25	24	27	29
C14	78 54	96	259	287	325	344
C15	84 54	30	26	31	27	31
D1	0 6	30	14	12	12	4
D2	6 6	13	8	7	5	4
D3	12 6	17	13	16	6	4
D4	18 6	302	386	56	27	13
D5	24 6	11	11	16	9	6
D6	30 6	9	20	20	24	8
D7	36 6	210	90	29	7	6
D8	42 6	27	11	9	3	4
D9	48 6	30	12	11	19	3
D10	54 6	11	13	11	22	24
D11	60 6	15	15	22	29	27
D12	66 6	18	14	19	24	7
D13	72 6	108	159	75	30	12
D14	78 6	10	11	19	9	5
D15	84 6	24	48	43	52	8
E1	0 0	97	82	23	19	11
E2	6 0	14	9	19	9	4
E3	12 0	20	93	27	11	6
E4	18 0	281	276	386	96	47
E5	24 0	222	56	20	11	10
E6	30 0	210	48	21	9	8
E7	36 0	16	13	17	8	4
E8	42 0	36	11	16	10	35
E9	48 0	19	11	17	11	5
E10	54 0	16	11	15	17	22
E11	60 0	16	14	12	15	9
E12	66 0	52	16	19	20	11
E13	72 0	239	143	79	68	41
E14	78 0	36	18	24	13	9
E15	84 0	22	11	17	10	7

APÊNDICE B - pH DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

LINHA	X	Y	pH 1m	pH 2m	pH 3m	pH 4m	pH 5m
A1	0	84	4,3	4,2	4,2	4,2	4,1
A2	6	84	4,1	4,2	4,2	4,2	4
A3	12	84	4,2	4,3	4,3	4,3	4,2
A4	18	84	4,9	4,6	4,5	4,5	4,4
A5	24	84	4,6	4,6	4,6	4,6	4,3
A6	30	84	4,7	4,7	4,7	4,6	4,3
A7	36	84	4,8	4,8	4,7	4,6	4,6
A8	42	84	4,6	4,7	4,6	4,7	4,7
A9	48	84	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6
A10	54	84	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6
A11	60	84	4	4,4	4,3	4,3	4,4
A12	66	84	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5
A13	72	84	4,3	4,4	4,5	4,4	4,4
A14	78	84	4,6	4,5	4,6	4,5	4,5
A15	84	84	4,3	4,5	4,6	4,5	4,4
B1	0	78	4,1	4,2	4,2	4,2	4
B2	6	78	4,2	4,2	4,3	4,2	4,1
B3	12	78	5,1	5,2	4,8	4,8	4,6
B4	18	78	4,3	4,3	4,4	4,2	4
B5	24	78	4,1	4,3	4,3	4,2	4,1
B6	30	78	3,4	4,2	4,2	4,2	4
B7	36	78	4,3	4,4	4,4	4,4	4,2
B8	42	78	4,4	4,5	4,3	4,3	4
B9	48	78	4,3	4,2	4,4	4,4	4,1
B10	54	78	4,2	4,3	4,4	4,4	4,2
B11	60	78	4,3	4,3	4,5	4,4	4,2
B12	66	78	4,3	4,5	4,5	4,4	4,2
B13	72	78	4,4	4,5	4,6	4,4	4,2
B14	78	78	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4
B15	84	78	3,9	4,1	4,2	4	4,1
C1	0	54	4	4	3,9	4,1	4
C2	6	54	4,6	4,7	5,3	5	4,8
C3	12	54	5,2	5,3	5	5	4,6
C4	18	54	4,1	4	4,2	4,3	5,2
C5	24	54	4,5	4,4	4,4	4,2	4,2
C6	30	54	4	4,1	4,2	4,3	4,3

Continua...

Conclusão.

LINHA	X	Y	pH 1m	pH 2m	pH 3m	pH 4m	pH 5m
C7	36	54	3,8	4	4,2	4,7	4,4
C8	42	54	4,1	4,1	4,2	4,3	4,2
C9	48	54	3,9	4	4,2	4,2	4,2
C10	54	54	4	4,2	4,3	4,3	4,2
C11	60	54	4,4	4,2	4,2	5,1	5,6
C12	66	54	4,6	4,3	4,5	4,3	4,6
C13	72	54	4,3	4	4,1	4,2	4,2
C14	78	54	3,6	4,3	5,1	4,7	4,7
C15	84	54	4,1	4	4	4,2	4,2
D1	0	6	4	4,1	4,2	4,2	3,9
D2	6	6	3,9	4,3	4,3	4,1	4
D3	12	6	4	4,1	4,2	4	3,9
D4	18	6	4	4,6	4,5	4,3	4,1
D5	24	6	4,1	4,1	4,1	4	3,9
D6	30	6	4	4,1	4,2	4,1	4
D7	36	6	4,1	4,2	4,2	4,1	3,9
D8	42	6	3,9	4	4,1	4	4
D9	48	6	4	4	4,1	4	4
D10	54	6	4	4,1	4,2	4,1	4
D11	60	6	3,1	3,8	4,1	4	3,8
D12	66	6	4,1	4,4	4,4	4,2	4
D13	72	6	4,1	4,8	4,4	4,3	4,1
D14	78	6	4,2	4,4	4,3	4,2	4,1
D15	84	6	3,8	4	4,3	4,1	4
E1	0	0	4,2	4,5	4,5	4,4	4,1
E2	6	0	4,2	4,3	4,1	4	4,2
E3	12	0	4,3	4,4	4,2	4	5
E4	18	0	5,2	4,9	4,3	4	4,6
E5	24	0	4,3	4,2	4,1	3,9	3,6
E6	30	0	3,4	4	4	3,9	3,7
E7	36	0	3,8	3,9	3,9	3,8	3,7
E8	42	0	4	4,1	4,1	3,8	3,6
E9	48	0	3,7	3,9	4	3,9	3,7
E10	54	0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,6
E11	60	0	3,8	3,9	4	3,9	3,9
E12	66	0	4,2	4,3	4,3	4,2	4
E13	72	0	4,1	4,2	4,3	4	4
E14	78	0	4,1	4,1	4,1	3,8	3,9
E15	84	0	4	4,1	3,9	3,9	3,8

ANEXO

ANEXO A – MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

LINHA / POSIÇÃO			% MO (1m)	% MO (2m)	% MO (3m)
A1	0	84	0,93096	0,53444	0,2586
A4	18	84	1,2068	0,53444	0,2586
A7	36	84	1,60332	0,65512	0,39652
A10	54	84	1,60332	0,65512	0,39652
A13	72	84	0,79304	0,2586	0,2586
B1	0	78	1,06888	0,53444	0,39652
B3	12	78	1,2068	0,53444	0,2586
B7	36	78	0,93096	0,39652	0,2586
B10	54	78	1,74124	0,65512	0,2586
B14	78	78	1,06888	0,39652	0,2586
C2	6	54	1,2068	0,65512	0,39652
C5	24	54	1,2068	0,65512	0,39652
C8	42	54	1,60332	0,65512	0,39652
C11	60	54	1,32748	0,65512	0,2586
C15	84	54	1,06888	0,39652	0,2586
D2	6	6	0,2586	0,2586	0,12068
D5	24	6	0,93096	0,39652	0,2586
D9	48	6	1,06888	0,39652	0,2586
D13	72	6	1,2068	0,39652	0,2586
D15	84	6	1,32748	0,53444	0,2586
E1	0	0	0,79304	0,39652	0,2586
E4	18	0	0,65512	0,39652	0,2586
E7	36	0	0,53444	0,39652	0,2586
E10	54	0	0,79304	0,2586	0,2586
E15	84	0	1,2068	0,39652	0,2586