

# A UTILIZAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS NO DIAGNÓSTICO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À CONTAMINAÇÃO POR PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO<sup>1</sup>

ELMO J. ROWE<sup>2</sup>, DÉCIO L. CARDOSO<sup>3</sup>

**RESUMO:** Atualmente, a preocupação com a proteção de áreas destinadas ao abastecimento público é eminente, pois a disponibilidade de água é cada vez menor. Entre as prováveis fontes de poluição das águas estão os aterros sanitários mal operados, aterros controlados e lixões. Os processos de contaminação no solo ocorrem lentamente e, frequentemente, sem consequências imediatas, porém, em longo prazo, podem ter efeitos sérios e possivelmente irreversíveis. O diagnóstico e a visualização da possível pluma de contaminação, em áreas destinadas à disposição de resíduos, podem ser realizados pela utilização de *softwares* que utilizam técnicas de interpolação, que transformam dados X, Y, Z, criando mapas temáticos. Com esse objetivo, foram coletadas amostras de solo a 1 e 2 m de profundidade, obtidos os valores de condutividade elétrica e pH para cada amostra e posteriormente inseridos no *Software* SURFER32, para a produção dos mapas. Verificam-se, claramente, nos mapas gerados, as áreas passíveis de contaminação por percolado e que os valores de pH e condutividade elétrica do solo são diretamente proporcionais, demonstrando os padrões representados nos mapas temáticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** pluma de contaminação, solo, condutividade elétrica.

## THE USE OF THEMATIC MAPS FOR THE DIAGNOSIS OF SUSCEPTIBLE AREAS TO THE CONTAMINATION BY LEACHATE OF SANITARY LANDFILL

**ABSTRACT:** Nowadays the concern with the protection of areas destined to the public provisioning is eminent, because the water availability is smaller. Among the probable sources of pollution of the waters are the sanitary landfill site, controlled landfill sites and garbage dumps. The processes of soil contamination occur slowly and, frequently, without immediate consequences; however, in long period, they can have serious effects and possibly irreversible. The diagnosis and the visualization of the possible feather of contamination in areas destined to the disposal of residues can be accomplished by using softwares that apply interpolation techniques, transforming X,Y,Z, data and creating thematic maps. With this objective soil samples of one and two meters of depth were collected, and it was obtained the values of electric conductivity and pH for each sample. Then, the results were applied in the Software SURFER32 for the production of the maps. It was clearly noticed in the generated maps, that the contaminated areas with leachate and values of pH values and electric conductivity of the soil were directly proportional, demonstrating the patterns represented in the thematic maps.

**KEYWORDS:** feather of contamination, soil, electric conductivity.

## INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais, método esse que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à 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. Segundo OLIVEIRA & JUCÁ (2004), sistemas de impermeabilização são requeridos para a execução de aterros

<sup>1</sup> Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Químico, M.Sc. Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Cascavel - PR, Fone: (0XX45) 3902.1394, elmoj@cascavel.pr.gov.br

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Civil, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia, UNIOESTE, Cascavel - PR.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 22-10-2007

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 23-10-2009

sanitários devido ao alto potencial poluente do percolado e ao fato de minimizarem a contaminação ambiental.

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 maior confinamento do chorume, apesar de não atingir, algumas vezes, os valores exigidos pelos órgãos ambientais.

Como descrito por DANIEL (1993), o procedimento de compactação visa à criação de barreira protetora, denominada de *liner*. Como revestimento de base, é indicado quando se deseja reduzir ao máximo o transporte de contaminantes no solo, de forma a atenuar a concentração dos contaminantes quando atingirem águas subterrâneas.

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

A contaminação do solo é a principal causa da deterioração das águas subterrâneas (BOSCOV, 1997). 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.

Considerando esses aspectos, este trabalho teve por objetivo verificar, por meio de amostras de solo, valores de condutividade elétrica e pH, com a finalidade de avaliar, pela visualização de mapas, a eficiência do sistema de impermeabilização e o possível deslocamento da pluma de contaminação proveniente do aterro sanitário.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área do aterro sanitário de Cascavel está localizada ao norte da cidade (Coordenadas UTM referência: 0248801 e 7249331) com distância aproximada de 16 km do centro da cidade, sendo a maior área de disposição de resíduos da região oeste do Paraná em operação desde 1995.

A área do aterro sanitário (237.800 m<sup>2</sup>) 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, afluenta da margem esquerda do Rio Piquiri (CASSINI, 2003).

O aterro recebe, em média, 200 t dia<sup>-1</sup> de resíduos domiciliares (classe IIA, NBR 10004); a área encontra-se totalmente cercada, com cortina vegetal, sistema de recepção, balança rodoviária e vigilância 24 h. A coleta de resíduos e a operação do aterro são realizadas por empresa terceirizada, que utiliza 11 caminhões compactadores, caminhão-caçamba, retroescavadeira e trator de esteira (SEMAB, 2003).

Desde o início de sua operação em 1995, todas as trincheiras receberam impermeabilização, utilizando-se do princípio da compactação que visa à redução da permeabilidade do solo, com intuito de reduzir significativamente o transporte de contaminantes.

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).

No aterro, os gases são captados e conduzidos por meio da 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, com o intuito de reduzir a quantidade de percolato gerado.

O sistema de tratamento de líquidos percolados do aterro sanitário de Cascavel, com capacidade de projeto para tratar  $72 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de percolato, é constituído por lagoas de estabilização (lagoa anaeróbia, lagoa aerada e lagoa facultativa), tratamento físico-químico e recirculação. O percolato proveniente do aterro sanitário possui valores médios de 7,5 para o pH e de  $700 \text{ mS m}^{-1}$  para a condutividade elétrica.

Para a realização do diagnóstico da pluma de contaminação do Aterro Sanitário, foram retiradas amostras às profundidades de 1 e 2 m, a fim de verificar o princípio do deslocamento de contaminantes provenientes do depósito de resíduos nas diferentes camadas.

Os furos foram executados por um trado mecânico com diâmetro de 100 mm, com conectores de aço de 1 m, sendo o solo coletado manualmente na extremidade inicial do trado, nas diferentes profundidades, entre os meses de abril e junho de 2007.

As coletas de material (Figura 1) foram realizadas em diferentes pontos distribuídos à jusante da trincheira e do sistema de tratamento de chorume, e distribuídos da seguinte forma: em rede (15 pontos por duas linhas distanciadas de 6 m), na região entre a trincheira e o sistema de tratamento, uma rede de 15 pontos por uma linha distanciadas 6 m entre as lagoas do sistema de tratamento de percolados, e uma rede de 15 pontos por duas linhas distanciadas de 6 m na região entre o sistema de tratamento e os poços de monitoramento de lençol freático (Figura 2), totalizando 150 amostras de solo.

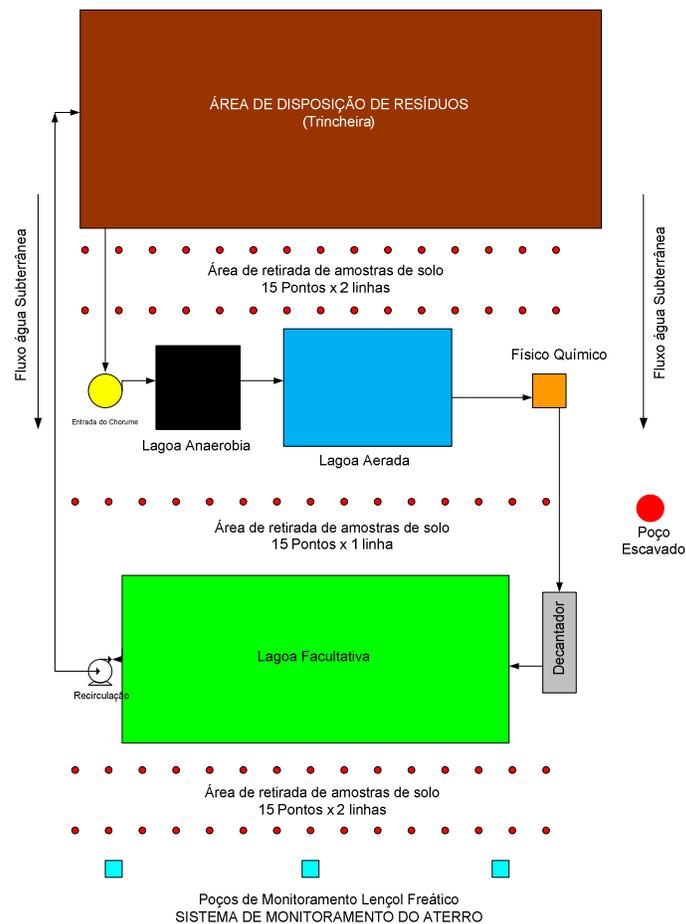


FIGURA 1. Distribuição dos pontos de coleta de solo. **Distribution of the sampling points.**

Os parâmetros físico-químicos utilizados para este trabalho foram condutividade elétrica e pH, em virtude de serem análises que apresentam resultados expressivos (indicadores) em pequena periodicidade, possibilitando a realização de maior número de análises.

As análises de laboratório (no total de 150) foram realizadas no laboratório de solos da FUNDETEC (Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico) - IAPAR (Instituto Agrônomico do Paraná).

Após a coleta em campo, as amostras foram numeradas, homogeneizadas, secas em estufa a 60 °C durante 48 horas e estocadas para a obtenção dos parâmetros.

O pH foi analisado pelo método descrito pela EMBRAPA (1997), medindo-se a concentração efetiva em água de íons  $H^+$  na solução do solo, sendo determinado em suspensão 1:2,5 de solo:  $CaCl_2$  0,01M. Foram colocados 10 g de solo em um béquer e, em seguida, adicionados 25 mL de solução de  $CaCl_2$ . A amostra foi agitada por 15 minutos e mantida em repouso por 1 h. A leitura foi realizada com potenciômetro da marca DIGIMED.

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 h. A leitura foi realizada com um condutivímetro da Marca TEC-4MP da Tecnal.

Para as atividades de confecção dos mapas temáticos, utilizou-se de um microcomputador Athlon 1600 MHz, 320 Mb de memória Ram, contendo o sistema operacional Windows 98, programas Microsoft Office e Surfer32.

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

- 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. Esses arquivos foram gerados para servirem de dados de entrada no *Software* Surfer32.

- Uso do *Software* Surfer32 - os arquivos de coordenadas são exportados para o *software* Surfer 32, para aplicação das técnicas de geoprocessamento. Esse *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, análises de superfícies e geração de mapas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, apresenta-se o mapa temático do pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 1 m.

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 1 m, foi de 3,4 a 5,1. Na Figura 2, demonstra-se 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 maior contato com contaminantes. Encontra-se nessa área a tubulação de concreto 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.

Na Figura 3, apresenta-se o mapa temático de pH da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 2 m.

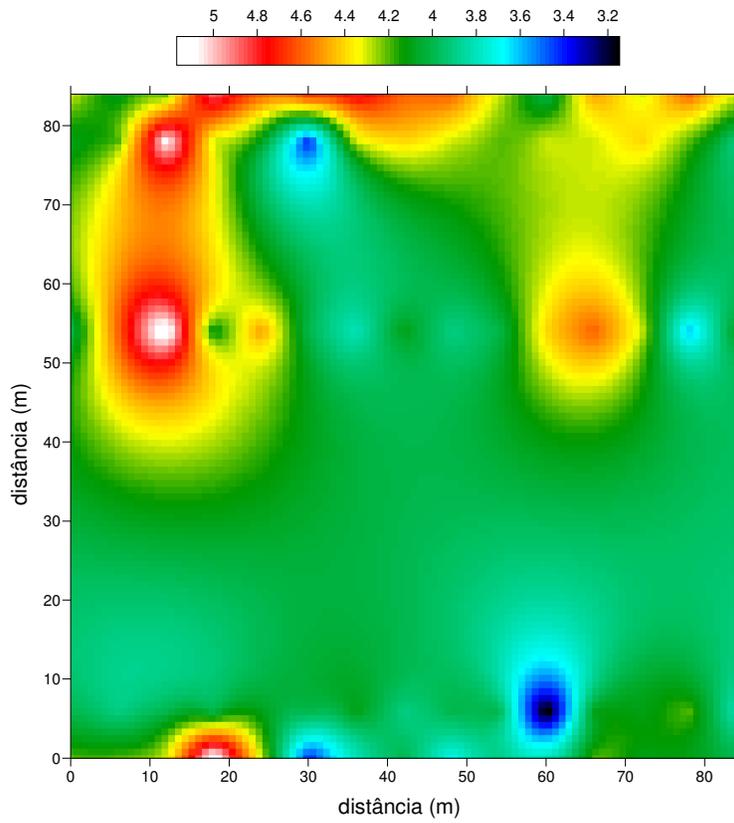


FIGURA 2. pH do solo a 1 m de profundidade. **Soil pH at 1 m of depth.**

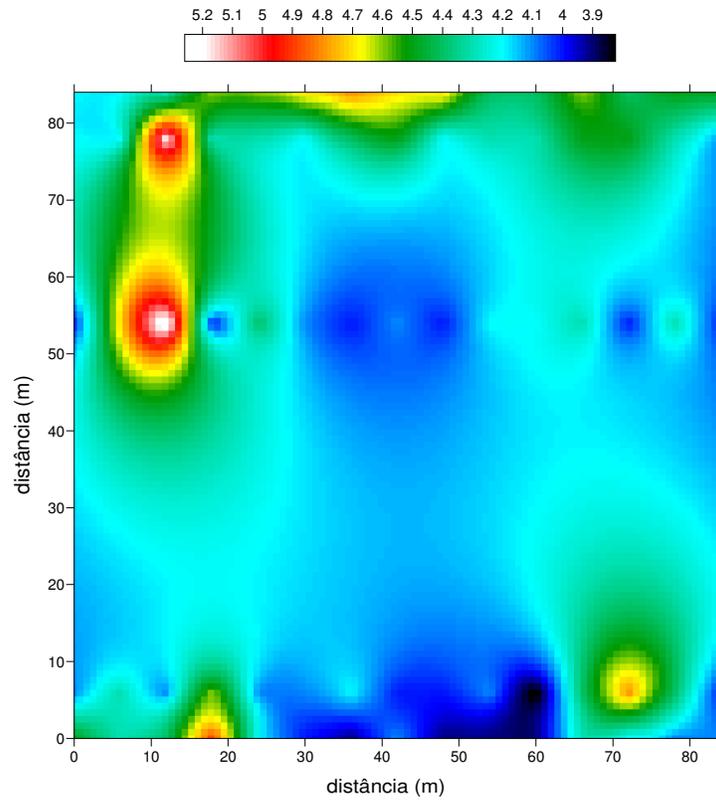


FIGURA 3. pH do solo a 2 metros de profundidade. **Soil pH at 2 meters of depth.**

A variação do pH na área amostrada, na profundidade de 2 m, foi de 4 a 5,3. Na Figura 3, mostra-se claramente a maior influência no pH do solo na área próxima à disposição de resíduos (trincheira). Essa figura demonstra uma possível transição entre a área afetada pela tubulação de concreto, 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.

Conforme descrito por NEIRO (2003), o pH de um Latossolo Vermelho distroférico utilizado para a agricultura, obtido até a profundidade de 1,2 m, varia de 4,3 a 4,9, e o pH decresce com o aumento da profundidade. Conforme SCHERER (2007), o pH de um Latossolo Vermelho distroférico varia de 4,8 a 5,2, nas profundidades de 0 a 1,2 m, quando o solo é utilizado para a agricultura e adubado com esterco de suínos. Segundo MARTINS (2002), o pH de um Latossolo Vermelho distroférico varia de 4,5 a 4,9, quando coletado a 5 cm de profundidade em diferentes povoamentos florestais.

Considerando os resultados de pH obtidos para o Latossolo Vermelho distroférico, em área utilizada para aterro sanitário, com a variação de profundidade até 5 m, 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 considerado 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).

Na Figura 4, apresenta-se o mapa temático de condutividade elétrica ( $\text{mS m}^{-1}$ ) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 1 m.

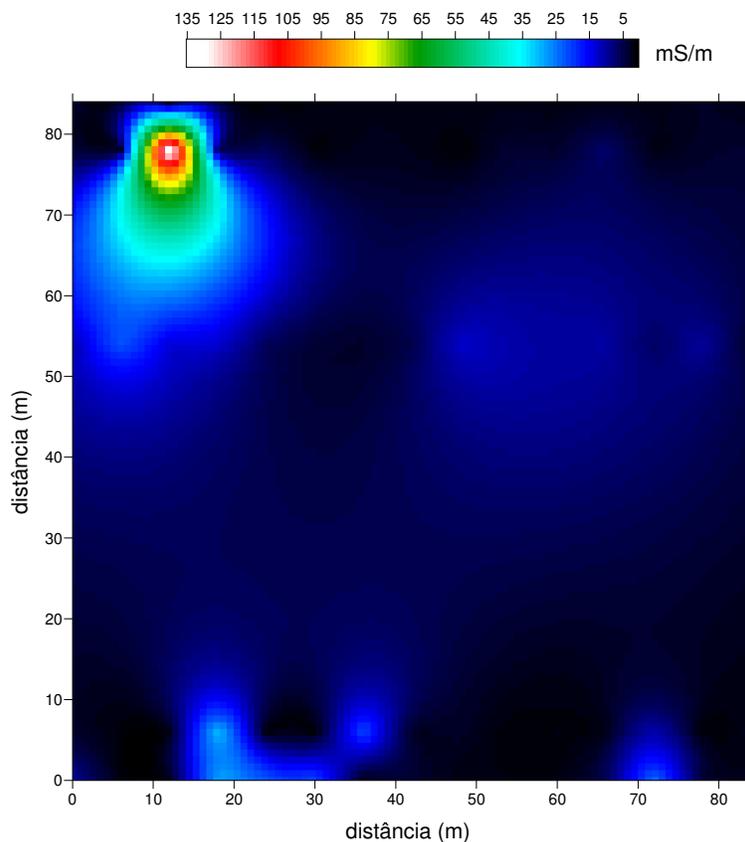


FIGURA 4. Condutividade elétrica a 1 m de profundidade. **Soil electric conductivity at 1 m of depth.**

A variação de condutividade elétrica, expressa em  $\text{mS m}^{-1}$ , na área amostrada, na profundidade de 1 m, foi de 0,8 a 139. Na Figura 4, demonstra-se com nitidez a área afetada pela tubulação de concreto 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), comparado com o restante da área. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, constataram-se os menores valores de condutividade, fator que é, possivelmente, explicado pelo processo de tratamento do percolado.

Na Figura 5, apresenta-se o mapa temático de condutividade elétrica ( $\text{mS m}^{-1}$ ) da área amostrada do aterro sanitário para a profundidade de 2 m.

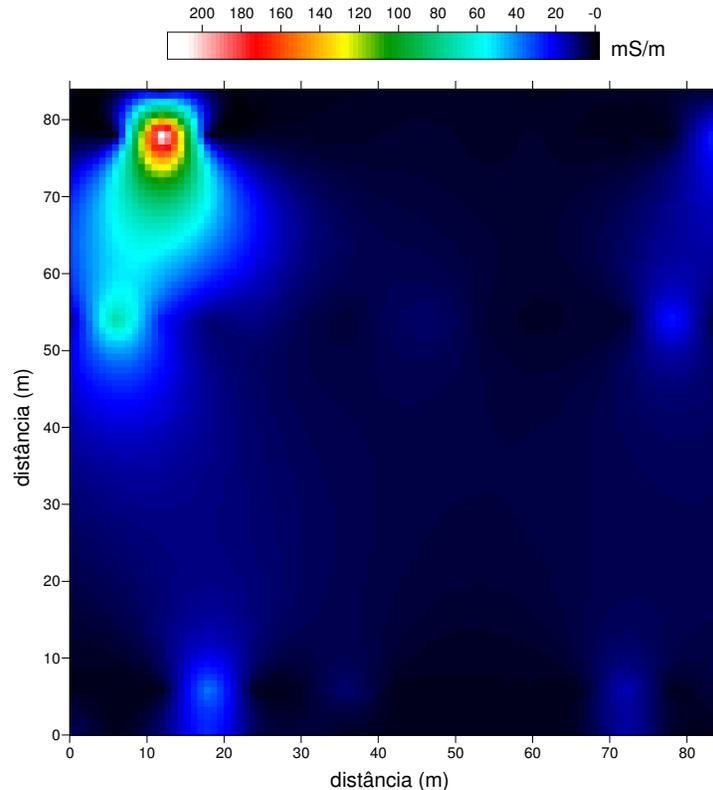


FIGURA 5. Condutividade elétrica a 2 m de profundidade. **Soil electric conductivity at 2 m of depth.**

A variação de condutividade elétrica, expressa em  $\text{mSm}^{-1}$ , na área amostrada, na profundidade de 2 m, foi de 0,8 a 223,8. Na Figura 5, contínua, demonstra-se com nitidez que a área afetada pela tubulação de concreto que conduz o percolado ao sistema de tratamento, possui as maiores condutividades (áreas vermelhas). Quanto à área do antigo tanque de recirculação, verifica-se aumento significativo de condutividade (áreas verdes), passando de  $22 \text{ mS m}^{-1}$  para  $73,4 \text{ mS m}^{-1}$ , comparado à Figura 4; isso pode estar relacionado com a altura da lâmina de percolado, quando a mesma estava em operação. Na área próxima ao sistema de monitoramento do aterro, os valores permaneceram sem alteração significativa em relação à profundidade de 1 m.

Segundo MACHADO (2006), os valores de CE obtidos para um Latossolo Vermelho distroférico, por meio de equipamento móvel de campo, à profundidade de 0 a 5 cm, varia de  $1,9 \text{ m Sm}^{-1}$  a  $13,7 \text{ mS m}^{-1}$ , com um valor médio de  $5,2 \text{ mS m}^{-1}$ .

Para a EMBRAPA (2006), o valor limite da condutividade elétrica de um solo, para fins agrícolas, é de  $40,0 \text{ m Sm}^{-1}$ .

Considerando o que foi descrito anteriormente, verifica-se que a grande maioria das amostras de solo, coletadas 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 duas imagens, percebe-se que a condutividade elétrica do solo é mais elevada (ELIS & ZUQUETE, 2002) em áreas que não tiveram processo de impermeabilização adequado e que tiveram contato com o percolado *in natura*.

## CONCLUSÕES

As áreas que tiveram maiores variações nos valores de pH e condutividade elétrica foram aquelas que não sofreram nenhum processo de impermeabilização ou redução de permeabilidade e que tiveram contato com chorume.

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 de condutividade elétrica é maior nas áreas próximas à trincheira de resíduos, comparada com valores próximos do sistema de monitoramento do aterro sanitário.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- BOSCOV, M.E.G. *Contribuição ao projeto de sistemas de contenção de resíduos perigosos utilizando solos lateríticos*. 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- CASSINI, C.T. *Perfil hidrogeológico do aterro sanitário de Cascavel: Projeto Executivo*. Cascavel: Secretaria Municipal do Meio Ambiente do Município de Cascavel, 2003. 24 p.
- DANIEL, D.E. Case histories of compacted clay liners and covers for waste disposal facilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CASE HISTORIES IN GEOTECHNICAL ENGINEERING, 3., 1993, St. Mo. *Proceedings...* p.1.407-1.425.
- ELIS, V.R.; ZUQUETE, L.V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v.32, n.1, p.119-134, 2002.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola*. Jaguariúna, 2006. 8 p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

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

MACHADO, P.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.1.023-1.031, 2006.

MARTINS, S.G. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. *CERNE*, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

NEIRO, E.S. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférico, com rotação e sucessão de culturas, sob plantio direto. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.25, n.1, p.19-25, 2003.

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 sólidos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.9, n.3, p.211-217, 2004.

SCHERER, E.E. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v.31, n.1, p.123-131, 2007.

SEMAB. SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. *Proposta técnica para limpeza urbana*. Cascavel, 2003. 240 p.