



## Aplicação da eletroresistividade na avaliação de passivo ambiental: vala séptica de Curitiba-PR.

Margarete Casagrande Lass Erbe\* (DEQ/UFPR), Rodoilton Stevanato (LPGA/UFPR), Francisco José Fonseca Ferreira (LPGA/UFPR)

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.*

### Abstract

The practice of disposal of waste from health services in landfill septic was a usual activity during the 1990s in Brazil. Even disabled, these deposits are still a source of contamination in surrounding areas. The research reported that in surface water and groundwater are present pathogenic microorganisms and drugs from the landfill septic Curitiba. The method of eletroresistivity allows obtaining information about the lithology, stratigraphy and the depth of the water level and basement, helping in the location and depth of monitoring wells.

### Introdução

As casas de serviços de saúde, como hospitais, clínicas médicas e veterinárias, postos de saúde, etc. estão envolvidos com materiais de risco ambiental e ocupacional que, sendo utilizados e descartados sem diretrizes criteriosas, põem em risco demais áreas. As diferentes classificações e características destes resíduos, sejam na forma sólida ou líquida, variam desde comum (equivalente ao domiciliar), reciclável (com possibilidade de reaproveitamento até 100%), até críticos, como os patogênicos, os químicos (citostáticos) e os radioativos (CONAMA, 2005).

Dentre os riscos apresentados na disposição em valas sépticas dos resíduos oriundos dos estabelecimentos de saúde, salienta-se:

- Os resíduos aterrados não possuem características inertes, estando na classificação da ABNT/NBR 10004 como resíduos Classe I – perigosos ou resíduos Classe II A - não inertes (ABNT, 2004);
- Os microorganismos não são destruídos por este tipo de tecnologia, permanecendo vivos por tempo indeterminado;
- Materiais radioativos preservam suas características até o decaimento previsto pelas Resoluções da CNEN, pondo em risco a operação de manuseio e o ecossistema (CNEN, 1985);
- A vala séptica deve ser projetada e operada de acordo com a tecnologia de disposição para resíduos perigosos, fazendo uso de dupla manta de proteção ao

solo, monitoramento através de dreno testemunho, coleta e tratamento do percolado gerado;

- Após o encerramento da vala séptica a área pode se transformar em passivo ambiental;
- O uso desta tecnologia pode causar deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas pelo vazamento de líquidos percolados;
- O impacto ao solo e conseqüentemente do nível freático deve ser monitorado através de poços, de acordo com a legislação vigente que estabelece parâmetros de qualidade de solo e das águas subterrâneas.

A quantificação e delimitação dos riscos desta prática de disposição de resíduos, só são possíveis após uma adequada caracterização da área e da tipologia de resíduos.

Foi evidenciado que os sistemas naturais foram afetados e estão fragilizados, requerendo monitoramento e ação cooperativa no sentido de troca de experiências, pesquisas e estudos multidisciplinares. Além da avaliação de parâmetros físico-químicos e de toxicidade nas águas da área de interesse, foi pesquisada a presença de fármacos e microorganismos patogênicos. A extensão da contaminação foi avaliada pelo emprego do método da eletroresistividade, relacionado ao estudo geológico.

### Localização

A vala séptica está localizada na Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira / Contorno Sul, Bairro CIC – Curitiba – PR. Foi gerenciada pela Prefeitura Municipal de Curitiba e destinou cerca de 63.000 toneladas de resíduos dos estabelecimentos de saúde de Curitiba e sua Região Metropolitana, em 92.440 m<sup>2</sup> durante 16 anos (1989 a 2005). A estimativa do volume de chorume gerado entre 1990 e 2010 é de 403.746.973 litros (0,864 L/s, Biológica, 2006). Está situada a menos de 2 km da represa do Passaúna - área de captação de água para o município de Curitiba (Figura 1).

A geologia da área é composta basicamente por rochas sedimentares da Formação Guabirotuba e do embasamento cristalino (Complexo Atuba, Figura 2).

O local, devido principalmente a sua área de abrangência, apresenta em toda a sua extensão exposições do nível freático, pequenos córregos perenes e intermitentes.

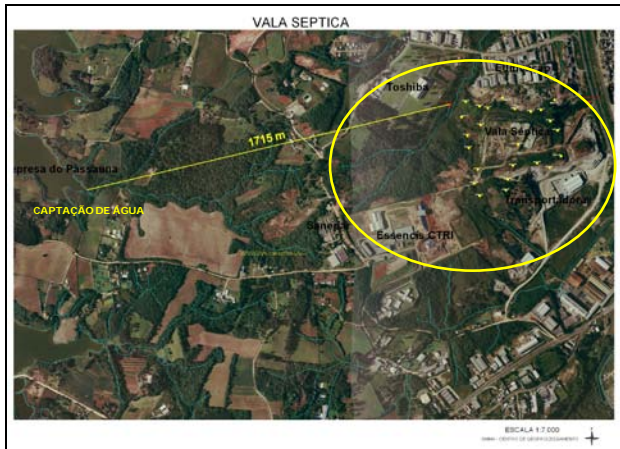


Figura 1: Localização da vala séptica de Curitiba. Fonte: adaptado de Suderhsa (2004).

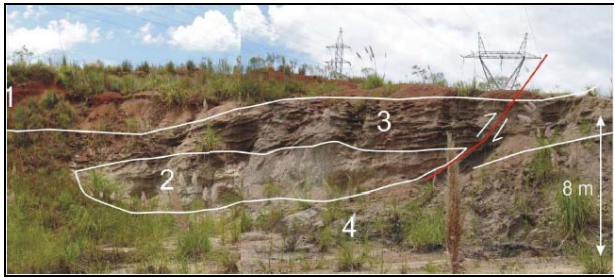


Figura 2: Perfil típico da geologia da área de estudo. Fonte: Biológica (2006). (1) solo residual, (2) lente de arenito arcoseano (Formação Guabirotuba), (3) intercalações de argilitos e siltitos arenosos com plano de falha subvertical (Formação Guabirotuba) e (4) embasamento cristalino (Complexo Atuba).

### Métodos

A pesquisa avaliou, além dos parâmetros físico-químicos e dos bioensaios com o *Vibrio fischeri* e *Daphnia magna*, a possibilidade de danos em cordões de DNA em peixes lambaris (*Astyanax spB*) expostos em água de rio e lagoa próxima a vala séptica. Foram realizados o *Alkaline comet assay* (Collins et al., 1997) e *Piscine Micronucleus Test* (Hooftman & Raat, 1982).

Além destes ensaios foi verificada a presença de fármacos em águas superficiais e subterrâneas. A pesquisa foi conduzida e direcionada para a análise dos *Pharmaceutical and Personal Care Products* (PPCP): Ácido Clofibríco ( $C_{10}H_{11}ClO_3$ ), Carbamazepina ( $C_{15}H_{12}N_2O$ ) e Primidona ( $C_{12}H_{14}N_2O_2$ ) (Heberer, 2002; Scheytt et al., 2000).

Foram avaliados a presença de Coliformes totais, *Esterichia coli*, Enterococos, Clostrídios sulfito redutores e *Pseudomonas aeruginosa*, o que possibilitou verificar a sobrevivência de patogênicos no substrato geológico (Brasil, 2000).

Cientes da geração de uma pluma de contaminantes nas águas subterrâneas foram efetuados ensaios geofísicos pelo método da eletrorresistividade. Além de fornecer

informações sobre a profundidade da zona saturada, direção do fluxo subterrâneo e profundidade do substrato rochoso inalterado, a geofísica possibilita a caracterização de alterações na condutividade elétrica (Lago et al., 2006).

Para a aquisição de dados topográficos e obtenção das coordenadas de duas estações base foi utilizado o método de posicionamento estático *Global Positioning System* (GPS). Dois receptores fixos observaram os mesmos satélites durante duas horas e trinta minutos, sendo determinadas as componentes dos raios vetores definidos pelas estações com uma precisão de 1 a 2 ppm. A partir destas duas bases executou-se o levantamento topográfico planialtimétrico por irradiação.

O levantamento (ABNT, 1994) das coordenadas de partida foi executado com um receptor GPS GPS900 do fabricante Leica Geosystems - Medição de fase L1/L2. Esses pontos foram processados no *South American Datum-69* (SAD-69).

Foram implantadas cinco linhas (L1 a L5), espaçadas de 100 metros entre L1, L2, L3 e L4 e de 110 metros entre L4 e L5, com estações a cada 20 metros (Figura 3).

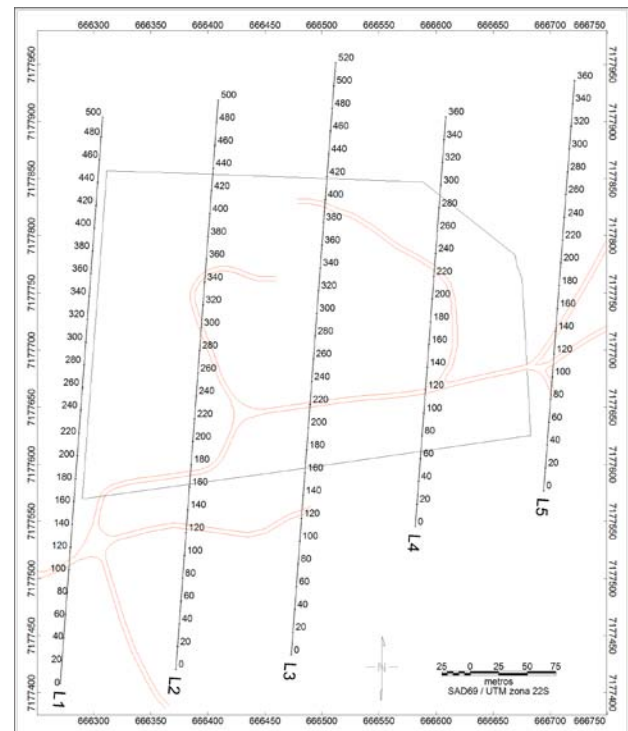


Figura 3: Posicionamento das linhas e estações de medição.

O método elétrico consiste em injetar uma corrente (I), através de dois eletrodos (A e B) e medir a diferença de potencial ( $\Delta V$ ) entre outro par de eletrodos (M e N), de acordo com a Figura 4, a qual também indica as linhas de fluxo de corrente e de equipotencial.

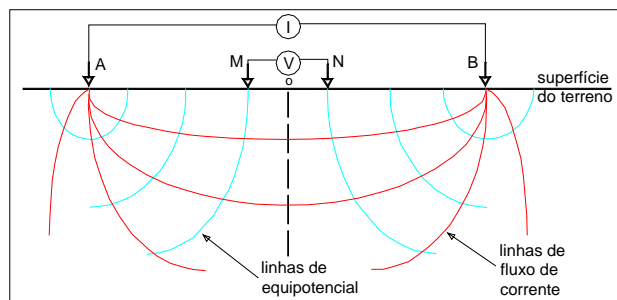


Figura 4 – Princípio do método elétrico

Os ensaios de tomografia elétrica 2-D foram realizados através do arranjo dipolo-dipolo (Figura 5), utilizando espaçamento entre os eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) a cada 20 metros e seis níveis de investigação, objetivando a identificação de variações laterais e verticais da resistividade decorrentes de mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea (Cetesb, 1999).

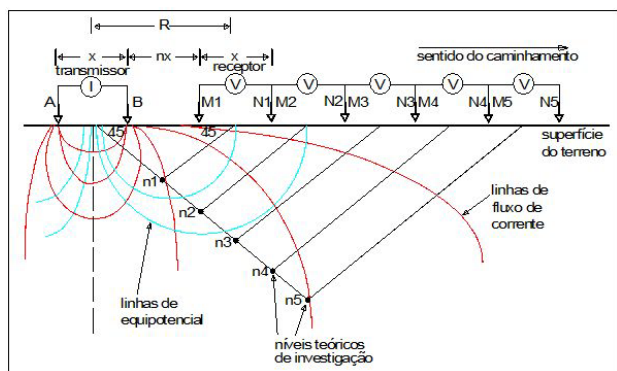


Figura 5: Esquema do arranjo dipolo-dipolo para a leitura da resistividade nas seções de tomografia elétrica 2-D.

Os dados de resistividade aparente foram adquiridos pelo receptor ELREC Pro e transmissor VIP3000W (Iris Instruments), pertencente ao LPGA/UFPR. O processamento e a inversão dos dados foram realizados pelo programa *Zonge 2-D Inversion for Interactive™ IP da Geosoft/Interpex*, fornecendo as pseudoseções e os respectivos modelos de profundidade da resistividade real.

## Resultados

Constatou-se, pelas análises das águas superficiais e subterrâneas:

– Através do *Comet assay* foi verificado que ocorreram danos ao DNA dos peixes expostos em ensaio agudo de exposição durante 96 horas na água oriunda da lagoa e do rio próximo à vala séptica. Foram observados danos de Classe II a IV, de acordo com a classificação de Speit & Hartmann (1999).

– Os resultados apresentados pelo *Vibrio fischeri* e *Daphnia magna* indicam que a qualidade da água, mesmo quimicamente comprovada como contaminada, apresenta-se em condições de uso, diferindo do observado nos bioensaios realizados com peixes.

O tempo de sobrevivência de patógenos está apresentado na Tabela 1 e a persistência de fármacos na Tabela 2.

Tabela 1: Parâmetros microbiológicos em águas situadas na área de interesse da vala séptica de Curitiba.

PARÂMETROS (NMP/ 100mL)	PONTO RIO	PONTO TOSHIBA	PONTO ESSENCIS	LAGOA	PERCOLADO DA VALA
Contagem de coliformes totais	2800	2000	23000	2400	2000
Contagem de <i>Esterichia coli</i>	60	68	100	28	< 1,0
Contagem de Enterococos	NA	NA	NA	NA	< 1,1
Contagem de Clostrídios sulfito redutores	NA	NA	NA	NA	11
Contagem de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NA	NA	NA	NA	2,0

NA – não analisado.

Tabela 2: Presença de fármacos em águas subterrâneas e superficiais.

PARÂMETROS (ng/L)	PM 12	PM 14	PONTO RIO	PONTO LAGOA
CARBAMAZEPINA	> 20	> 300	traços	> 25
ÁCIDO CLOFÍBRICO	> 20	> 50	ND	ND
PARAXANTHINE	traços	ND	ND	traços
CAFÉINA	traços	ND	> 25	traços
PHENAZONE	traços	> 150	ND	traços
PRIMIDONA	ND	traços	ND	ND
LOPAMIDOL	ND	> 50	ND	traços
DIAZEPAM	ND	> 20	ND	ND
IBUPROFEN	ND	> 100	ND	ND
DICLOFENAC	ND	> 200	ND	ND
ATRAZINE	ND	ND	> 40	> 20
DESETHYL ATRAZINE	ND	ND	traços	> 20
DESIISOPROPYL ATRAZINE	ND	ND	ND	traços
1H-BENZOTRIAZOLE	ND	traços	traços	traços
TOLYLYTRIAZOLE	ND	ND	ND	traços

ND – não detectado.

As pseudoseções e os respectivos modelos de profundidade obtidos por inversão são apresentados nas Figuras 6 a 10.

A Linha L1 (Figura 6, painel inferior) evidencia o embasamento cristalino a partir da estação 340 m até o extremo setentrional, apresentando característica resistiva, o qual continua em subsuperfície. Os argilitos condutivos da Formação Guabirota atingem profundidade de até 30 metros. Os menores valores de resistividade (< 6 Ohm.m) sugerem infiltrações de material contaminante oriundo do depósito.

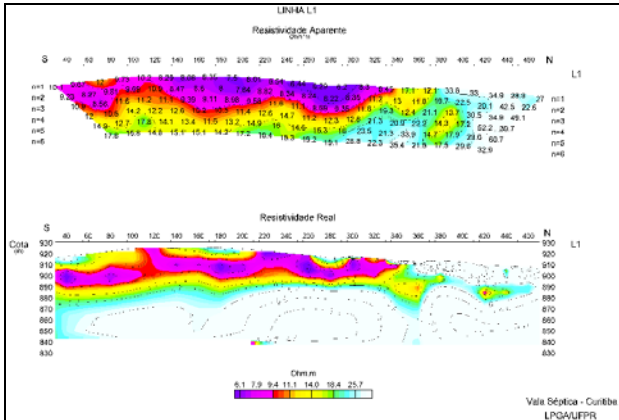


Figura 6: Pseudoseção de resistividade aparente (painel superior) e o respectivo modelo de profundidade (painel inferior) da Linha L1.

A Linha 2 (Figura 7, painel inferior) mostra um nível superficial de alta resistividade, a partir da estação 200 m até o extremo setentrional, indicativa de depósito sem fluidos condutivos. Sotoposto a tal nível se verifica um estrato contínuo altamente condutivo, interpretado pela percolação de chorume associado à Formação Guabirrotuba. O Complexo Atuba (embasamento) é representado por valores altos de resistividade nas porções mais profundas do modelo.

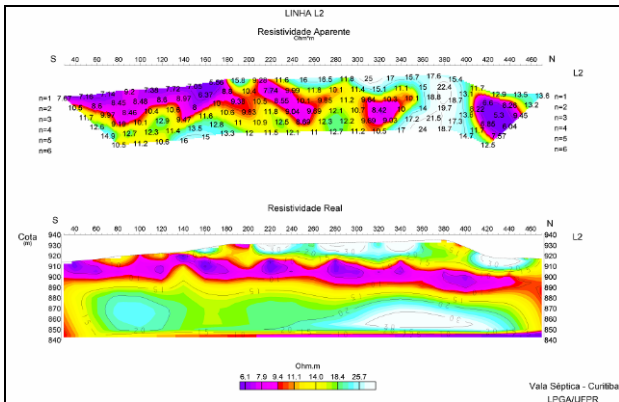


Figura 7: Pseudoseção de resistividade aparente (painel superior) e o respectivo modelo de profundidade (painel inferior) da Linha L2.

Do extremo meridional da Figura 8 (Linha 3, painel inferior) até a estação 240 metros, o chorume, parcialmente aflorante (entre as estações 100 a 120 metros e 160 a 240 metros), apresenta baixa resistividade e uma espessura maior que na Linha 2 (Figura 7), sugerindo maior volume de material em percolação.

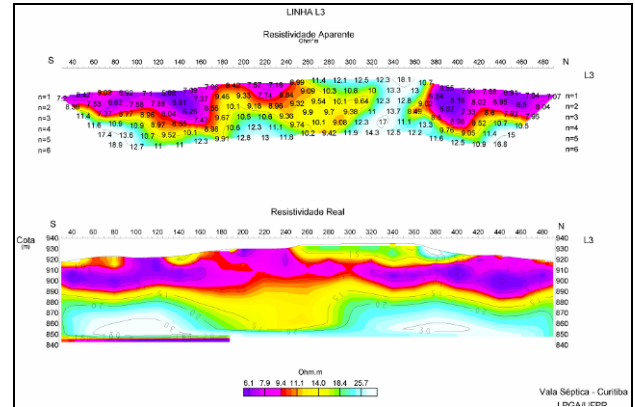


Figura 8: Pseudoseção de resistividade aparente (painel superior) e o respectivo modelo de profundidade (painel inferior) da Linha L3.

A Linha 4 (Figura 9, painel inferior) se comporta de maneira similar à Linha 2 (Figura 7). Entretanto, a extensão de material condutivo é maior. O embasamento, na sua porção central, se mostra altamente resistivo.

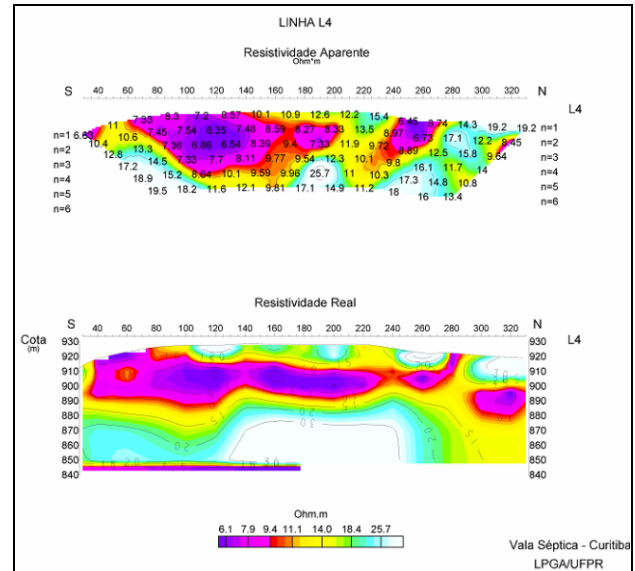


Figura 9: Pseudoseção de resistividade aparente (painel superior) e o respectivo modelo de profundidade (painel inferior) da Linha L4.

A Linha 5 (Figura 10, painel inferior), realizada fora do depósito (Figura 3), revelou a presença de material contaminante (condutivo) na superfície, verificada no campo e relacionada a uma fina camada da Formação Guabirrotuba. O embasamento cristalino predomina em subsuperfície e aflora entre as estações 200 e 240 metros, também verificado no campo (Figura 2).

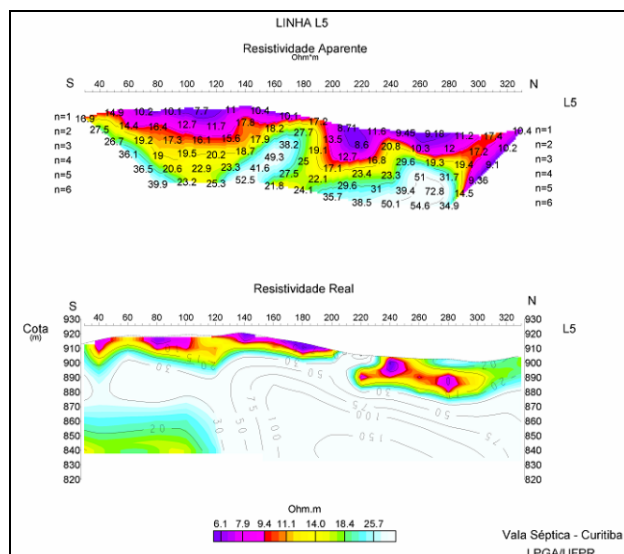


Figura 10: Pseudoseção de resistividade aparente (painel superior) e o respectivo modelo de profundidade (painel inferior) da Linha L5.

### Conclusões

A vala séptica de Curitiba, apesar de estar desativada desde 2005, produz e encerra um volume significativo de chorume (403.746.973 litros), o qual migra a uma taxa de 0,864 L/s.

A pesquisa para a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da área do entorno da vala séptica constatou:

- As nascentes e córregos a menos de 500m da vala séptica de Curitiba estão contaminados.
- O ensaio *Comet assay*, utilizando peixes como bioindicadores, apresenta alta sensibilidade e é altamente indicado para se avaliar a qualidade de águas.
- A contaminação em águas subterrâneas e superficiais é proveniente da vala séptica. Foram evidenciadas a presença de fármacos (Carbamazepina, Ácido clofibrico, Paraxanthine, Cafeína, Phenazone, Primidona, Lopamidol, Diazepam, Ibuprofen, Diclofenac) e patógenos (Coliformes totais, *Esterichia coli*, Enterococos, Clostrídios sulfito redutores, *Pseudomonas aeruginosa*). Há mais de cinco anos que não ocorre à disposição de resíduos nesta área e ainda há a percolação de fármacos, evidenciando a difícil degradabilidade de medicamentos. A presença de patógenos nestas águas evidencia a persistência destes microorganismos fora do hospedeiro.
- As águas superficiais pesquisadas apresentam contaminação proveniente de atividade externa à vala séptica. Presença de herbicidas e produtos químicos (Atrazine, Desethylatrazine, Desisopropylatrazine, 1h-Benzotriazol, Etolyltriazole). A meia-vida da Atrazina em solo varia de 13 a 261 dias.

O método geofísico aplicado possibilitou um melhor entendimento da geologia e da estratigrafia da área.

– Altos valores relativos de resistividade elétrica caracterizam o embasamento em superfície (Linhas L1 e L5) e em subsuperfície (todas as linhas).

– Pelo contrário, o material contaminante (fortemente condutivo, < 6 Ohm.m), em superfície e subsuperfície, está relacionado a uma camada horizontalizada da Formação Guabirota, com espessura de até 35 metros, sugerindo infiltrações de material contaminante oriundo do depósito.

– Finalmente, a geofísica contribuiu para delinear os caminhos preferenciais do percolado, permitindo, deste modo, planejar a locação de poços de monitoramento, em tratos externos ao depósito e em profundidades compatíveis com a presença de material altamente condutivo em subsuperfície.

### Agradecimentos

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba por liberar a área para o desenvolvimento da pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior - CAPES por possibilitar o estudo e avaliação de fármacos na Universidade Técnica de Berlim/Alemanha. Os trabalhos de aquisição dos dados topográficos e geofísicos contaram com a colaboração do engenheiro cartógrafo Ernesto Mitsuo Shibayama e do técnico Joelson Wambier Fialla, ambos da UFPR.

### Referências

- ABNT, 1994. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13133:1994 - Execução de Levantamento Topográfico.
- ABNT, 2004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação.
- Biológica, 2006. Diagnóstico do Passivo Ambiental da Vala Séptica de Curitiba e definição de diretrizes para a elaboração do plano de recuperação e monitoramento ambiental. Biológica Consultoria Ambiental e Serviços Ltda. Trabalho disponibilizado na SMMA de Curitiba.
- Brasil. 2000. Fundação Nacional de Saúde. Portaria N°. 1.469/2000, de 29 de dezembro de 2000: aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde.
- Cetesb, 1999. Métodos Geofísicos. Projeto CETESB – GTZ atualizado em 11/1999. [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/anexos/download/6200.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/6200.pdf). Acessado em: 28 de julho de 2010.
- CNEN, 1985. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Resolução CNEN – NE – 6.05: Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas.
- Conama, 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução N° 358: Tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde. Ministério do Meio Ambiente.

Collins et al. (10 co-authors), 1997. Comet assay in human biomonitoring studies: reliability, validation, and applications, *Environ. Mol. Mutagen*, vol. 2:139–146.

Heberer, T., 2002. Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water. *Journal of Hydrology*. 266: 175-189.

Hooftman, R. N.; Raat, W. K., 1982. Induction of nuclear anomalies (micronuclei) in the peripheral blood erythrocytes of the eastern mudminnow *Umbra pygmea* by ethyl methanesulphonate. *Mutation Research*, 104: 147–152.

Lago, A. L.; Elis V.R.; Giacheti, H. L., 2006. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(3): 357–374. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbg/v24n3/a05v24n3.pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2010.

Scheytt, T; Grams, S.; Asbrand, M., 2000. Grundwasserströmung und -beschaffenheit unter dem Einfluss 100-jähriger Rieselfeldwirtschaft. *Wasser & Boden*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, DS, 52: 15-22.

Speit, G.; Hartmann, A., 1999. The comet assay (single cell gel test), a sensitive test for the detection of DNA damage and repair. In: D. S. Henderson (Ed.), *Methods in molecular biology: DNA repair protocols— eukaryotic systems*. Totowa: Human, 320: 203–211.

Suderhsa, 2002. Sistema de informações geográficas para gestão de recursos hídricos do Alto Iguaçu. PROSAM. Curitiba: Geoambiente Sensoriamento Remoto.