

CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026



APLICAÇÃO DO MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE PARA VISUALIZAÇÃO NO NÍVEL DE LÍQUIDOS INTERNO EM UM ATERRO SANITÁRIO EXPERIMENTAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XI-005>

Frederico Duarte Baião Pessoa (*), Paulo Roberto Antunes Aranha, Gustavo Ferreira Simões

* Engenheiro Civil, UFMG/Baião Engenharia e Consultoria, fredericodbpessoa@gmail.com

RESUMO

Este estudo avalia a aplicação do método da eletrorresistividade para a visualização do nível de líquidos interno em um aterro sanitário experimental localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos CTRS BR-040, em Belo Horizonte, MG. A disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, embora amplamente utilizada, apresenta riscos ambientais associados à geração de líquidos lixiviados, tornando essencial o monitoramento do comportamento hidráulico do maciço. Tradicionalmente, esse controle é realizado por meio de instrumentação geotécnica, como piezômetros e medidores de nível de líquidos, os quais fornecem informações pontuais. Nesse contexto, métodos geofísicos destacam-se como ferramentas complementares, permitindo a investigação indireta da subsuperfície com maior abrangência espacial. Foram realizados levantamentos utilizando o Método da Resistividade Elétrica, com aplicação dos arranjos Schlumberger e dipolo-dipolo, com espaçamento de 60 e 120 cm entre eletrodos. Os dados adquiridos foram processados e invertidos, resultando em seções geoeletricas bidimensionais que possibilitaram a análise da distribuição de resistividade no interior do aterro. Os resultados evidenciaram contrastes significativos de resistividade, permitindo distinguir regiões com diferentes níveis de saturação. Áreas de alta resistividade foram associadas a zonas menos saturadas e materiais de cobertura, enquanto baixos valores indicaram a presença de líquidos lixiviados, ricos em sais dissolvidos. A interpretação das seções apresentou boa correlação com os níveis obtidos nos medidores, validando a aplicação do método. Conclui-se que a eletrorresistividade é uma técnica eficiente para o monitoramento ambiental de aterros sanitários, proporcionando uma visão espacial do comportamento dos líquidos no maciço e complementando métodos convencionais. Recomenda-se sua aplicação integrada a outras técnicas e em diferentes períodos para acompanhamento da evolução temporal do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrorresistividade, Aterro Sanitário, Líquidos lixiviados, Geofísica ambiental, Monitoramento geotécnico.

ABSTRACT

The present study evaluates the application of the electrical resistivity method to visualize the internal level of liquids in an experimental landfill located at the Solid Waste Treatment Facility CTRS BR-040 in Belo Horizonte, MG. The disposal of municipal solid waste in landfills, despite its widespread use, presents significant environmental concerns, including the generation of leachate. Consequently, effective monitoring of the landfill's hydraulic behavior is imperative. Conventionally, this monitoring is executed using geotechnical instrumentation, such as piezometers and water level indicators, which provide point-specific information. In this context, geophysical methods emerge as complementary tools, enabling indirect investigation of the subsurface with greater spatial coverage. Surveys were conducted using the Electrical Resistivity Method, employing Schlumberger and dipole-dipole arrays, with 60 and 120 centimeters spacing between electrodes. The acquired data were processed and inverted, resulting in two-dimensional geoelectric sections that enabled analysis of the resistivity distribution within the landfill. The results indicated substantial variations in resistivity, enabling the differentiation of regions exhibiting different saturation levels. The presence of high resistivity was indicative of zones that were less saturated and cover materials, while low values indicated the presence of leachate, which is rich in dissolved salts. The interpretation of the sections exhibited a good correlation with the levels obtained from the water level indicators, thereby validating the application of the method. The conclusion drawn from this analysis is that electrical resistivity is an effective technique for the environmental monitoring of landfills. This method provides a spatial view of the behavior of liquids within the landfill and complements conventional methods. Its application is recommended in conjunction with other techniques and over different time periods to track the system's temporal evolution.

KEY WORDS: Electrical resistivity, Sanitary landfill, Leachate, Environmental geophysics, Geotechnical monitoring.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) constituem um material altamente heterogêneo, com comportamento geomecânico e hidráulico complexo. Do ponto de vista geotécnico, sua principal característica, que dificulta a análise de seu comportamento geomecânico, é a biodegradabilidade, responsável por alterações contínuas em suas propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas.

A disposição de RSU em aterros sanitários, embora amplamente utilizada, apresenta riscos ambientais associados. Entre os aspectos mais relevantes, destacam-se a geração, o acúmulo e a drenagem de líquidos lixiviados, que representam um desafio significativo tanto sob a ótica geotécnica quanto ambiental.

O monitoramento do comportamento hidráulico no interior de aterros sanitários é fundamental para compreender aspectos relacionados à estabilidade da estrutura e ao fluxo de líquidos lixiviados. Tradicionalmente, esse monitoramento é realizado por meio de instrumentação geotécnica, como piezômetros e medidores de nível de líquidos.

Nesse contexto, métodos geofísicos surgem como ferramentas complementares de investigação ambiental, permitindo a caracterização indireta da subsuperfície por meio da análise de propriedades físicas dos materiais (CAVALCANTI, 2013). Entre esses métodos destaca-se a eletrorresistividade, amplamente utilizada em estudos ambientais e hidrogeológicos (ELIS e GIACHETI, 2002; MORETTO, 2017).

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar, por meio da aplicação do método da eletrorresistividade, a capacidade de visualizar o nível de líquidos no interior de um aterro sanitário experimental localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos CTRS BR-040, em Belo Horizonte (MG), bem como comparar os resultados obtidos com as leituras dos níveis registradas em medidores instalados no local.

MATERIAL E METODOLOGIA

A área de estudo corresponde ao Aterro Sanitário Experimental implantado na CTRS BR-040. Esse aterro foi concebido e implantado para possibilitar estudos relacionados ao comportamento geotécnico e ambiental de maciços de RSU (CATAPRETA, 2008). A planta, a indicação do sistema de drenagem interno de líquidos e o perfil transversal do aterro experimental são apresentados nas Figuras 1 e 2. A estrutura do aterro inclui base compactada, camada impermeabilizante sintética, camada de proteção mecânica, resíduos sólidos urbanos e cobertura final. O aterro também possui sistema de drenagem de líquidos lixiviados e gases. Os seis drenos verticais foram utilizados como medidores de nível de líquidos internos do aterro.

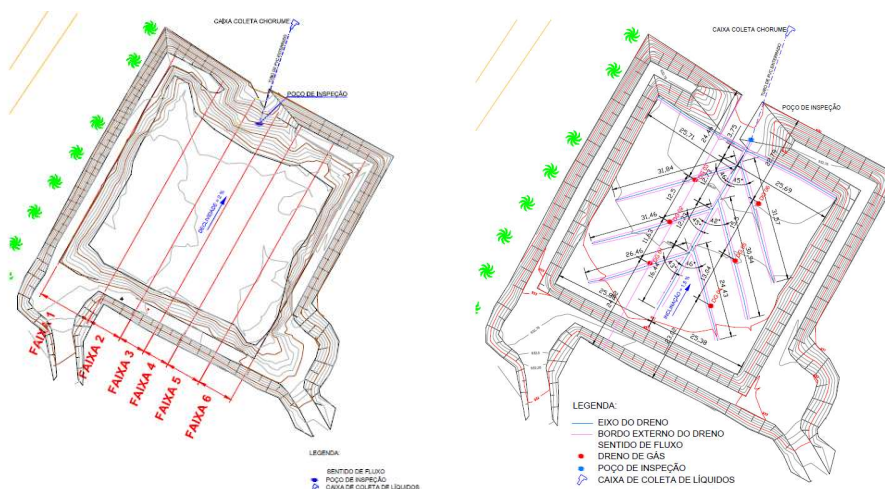
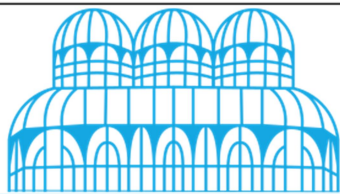


Figura 1: Planta geral e sistema de drenagem interno de líquidos lixiviados no aterro experimental. Fonte: Catapreta (2008).



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

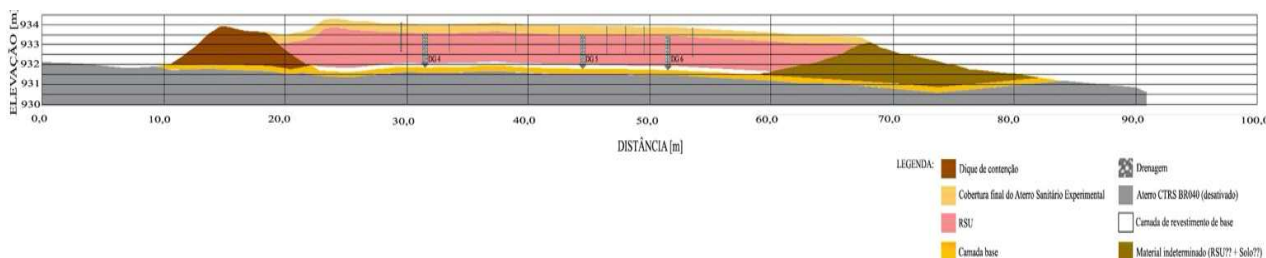


Figura 2 – Perfil do aterro experimental, indicando os medidores 4, 5 e 6. Fonte: Catapreta (2008).

Para investigação da subsuperfície foi aplicado o Método da Resistividade Elétrica (MRE). Esse método de prospecção geofísica emprega uma corrente elétrica artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados A e B), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade aparente em subsuperfície e, conseqüentemente, a resistividade real por meio do processo de inversão (LAGO, 2006)

Esse método consiste na introdução de corrente elétrica no terreno por meio de eletrodos de corrente e na medição da diferença de potencial em eletrodos de potencial, permitindo calcular a resistividade elétrica aparente do meio (TELFORD, 1990), conforme Figura 3.

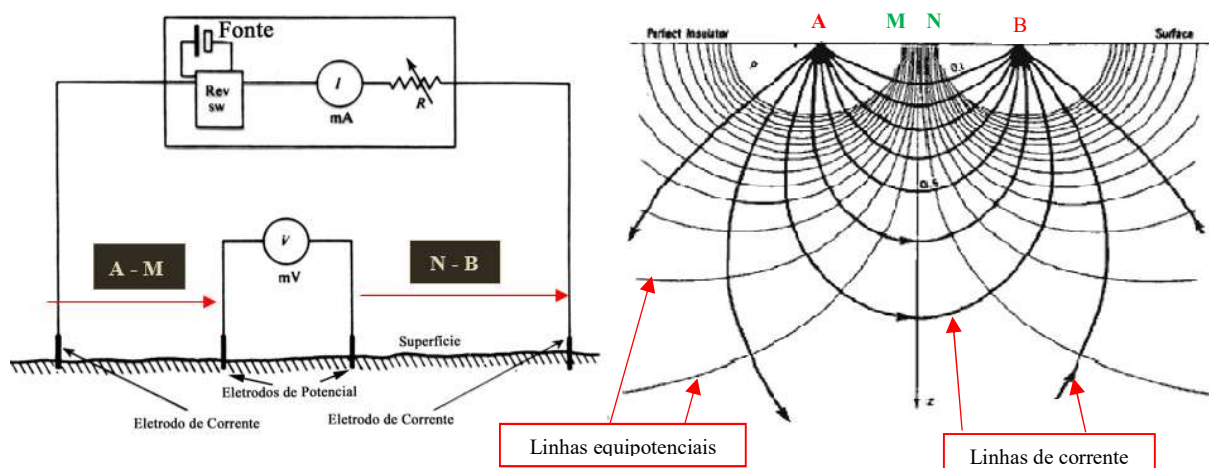
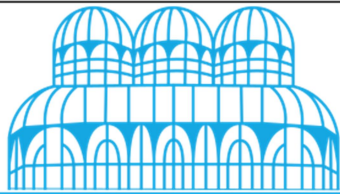


Figura 3: Esquema do ensaio de eletrorresistividade. Fonte: Aranha (2012).

A quantidade de eletrodos que podem ser dispostos em um caminhamento elétrico, o espaçamento entre eles, a maneira pela qual a corrente é enviada e a medida de potencial que é obtida podem variar segundo alguns arranjos, cuja escolha é determinada segundo o objetivo da pesquisa.

Segundo Silva (2014), particularmente no caso da eletrorresistividade, estudos vêm sendo desenvolvidos para que exista uma relação entre diferentes arranjos de eletrodos na superfície e uma determinada profundidade de investigação. Como exemplo, citam-se as NDIC (*Normalized Depth of Investigation Characteristic*), que são curvas em função da profundidade (z/L), sendo “z” a profundidade de investigação e “L” a distância entre os eletrodos mais externos do arranjo (Figura 4). Essas curvas demonstram boa aproximação com a realidade, embora não se confirmem em todos os casos, devendo ser utilizadas como uma primeira estimativa.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

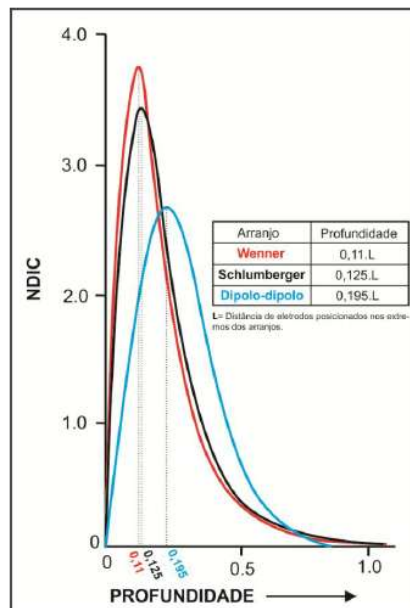


Figura 4: Curvas NDIC para os arranjos Wenner, Schlumberger e dipolo-dipolo. Fonte: Silva (2014).

Foram realizados caminhamentos elétricos utilizando arranjos de eletrodos do tipo Schlumberger e dipolo-dipolo, com espaçamento entre eletrodos de 60 cm e 120 cm. Estes são os arranjos mais utilizados em investigações ambientais (GANDOLFO, 2007; POMPOSIELLO *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2013).

No arranjo dipolo-dipolo são utilizados dois pares de eletrodos: um par de corrente (A e B) e um par de potencial (M e N), formando dois dipolos separados por uma distância múltipla do espaçamento básico entre os eletrodos. Nesse arranjo, os dipolos são deslocados progressivamente ao longo do perfil, permitindo investigar diferentes níveis de profundidade e construir pseudoseções de resistividade aparente. Esse tipo de configuração apresenta elevada sensibilidade a variações laterais de resistividade, sendo particularmente eficiente na identificação de heterogeneidades e estruturas verticais na subsuperfície, como zonas contaminadas ou plumas de líquidos lixiviados em aterros sanitários. Por esse motivo, é amplamente utilizado em caminhamentos elétricos voltados à investigação ambiental e geotécnica.

O arranjo Schlumberger consiste na utilização de quatro eletrodos alinhados na superfície, sendo dois eletrodos responsáveis pela injeção de corrente elétrica (A e B) e dois eletrodos internos destinados à medição da diferença de potencial (M e N). Nesse arranjo, os eletrodos de potencial permanecem relativamente próximos entre si, enquanto o afastamento entre os eletrodos de corrente é gradualmente aumentado para investigar maiores profundidades. Essa configuração permite boa relação sinal-ruído e elevada eficiência na aquisição de dados, sendo bastante utilizada em sondagens elétricas verticais e em caminhamentos elétricos para análise da distribuição de resistividade em subsuperfície. O método é adequado para identificar variações estratigráficas e contrastes elétricos associados à presença de água ou líquidos condutores no solo.

Os dados adquiridos foram processados e invertidos para obtenção de seções geoeletricas bidimensionais. Para a interpretação e determinação das seções geoeletricas foram consideradas as propriedades de resistividade apresentadas na Tabela 1.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Tabela 1. Propriedades elétricas do RSU.

Referência	Material	Idade do aterro na aquisição (anos)	Constante dielétrica (ϵ_r')	Condutividade elétrica (σ) ($m.S.m^{-1}$)	Resistividade ($\Omega.m$)	Velocidade ($m.ns^{-1}$)
Elis e Zuquette (2002)	RSU	24 (lixão)	-	-	8-11	-
	RSU + Lixiviado		-	-	2,4-7	-
Elis e Zuquette (2002)	RSU	9 (aterro)	-	-	11-17	-
	RSU + Lixiviado		-	-	5-16	-
Xavier e Berkenbrock. (2005)	RSU	18 (lixão)	-	-	1,1-50	-
	RSU + Lixiviado		-	-	1,1-5	-
Lago <i>et al.</i> (2006)	RSU	12 (aterro)	-	-	18,3-18,8	-
	RSU + Lixiviado		-	-	10,2-10,4	-
Bortolin e Malagutti Filho (2010)	RSU	26 (lixão – aterro controlado)	-	-	≤ 50	-
	RSU + Lixiviado		-	-		-
Moura <i>et al.</i> (2003)	RSU	20 (lixão-aterro controlado)	-	-	3-21	-

Os níveis de líquidos nos medidores 4, 5 e 6 registrados no mês de maio de 2017, utilizado para comparação com os resultados dos levantamentos geofísicos por eletrorresistividade, foram obtidos junto aos registros do monitoramento do aterro sanitário experimental e medido em campo para confirmação. A diferença entre as medições no período foi pequena e por isso optou-se por representar apenas um nível medido. A Figura 5 apresenta o perfil topográfico e os níveis de líquidos obtidos em campo, no momento de realização dos ensaios geofísicos.

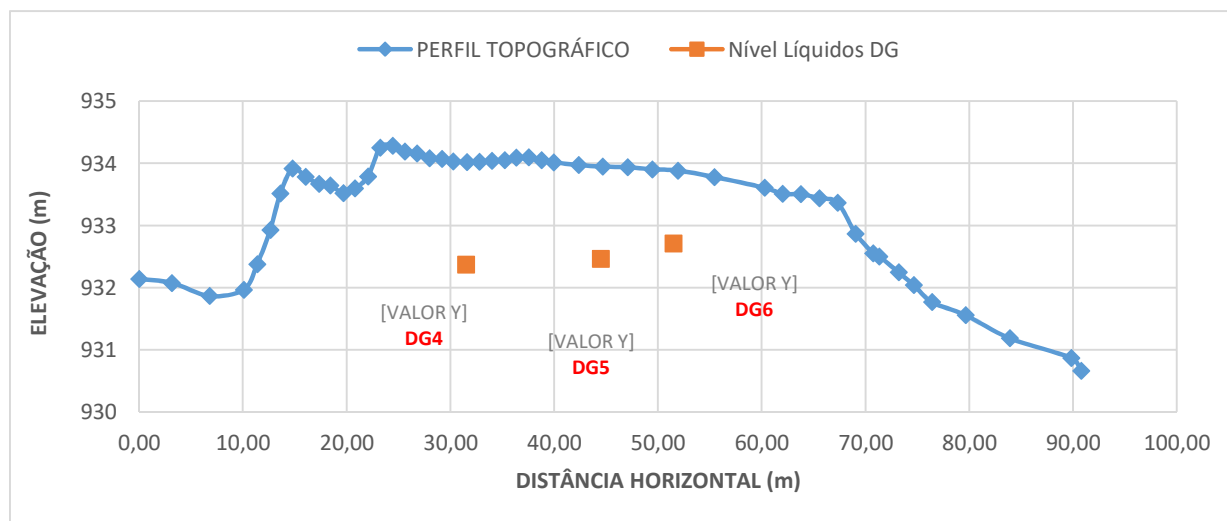
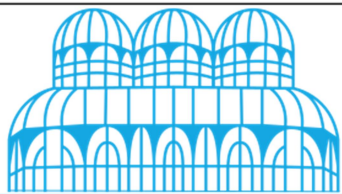


Figura 5: Levantamento topográfico ao longo do perfil e níveis de líquidos dos medidores 4, 5 e 6. Fonte: Autores do trabalho.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos a partir dos caminhamentos elétricos, apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, permitiram identificar variações significativas na resistividade elétrica ao longo do perfil investigado.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Os dados adquiridos foram processados e invertidos, resultando em seções geoeletricas bidimensionais, apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, que possibilitaram a análise da distribuição de resistividade no interior do aterro. Os resultados evidenciaram contrastes significativos de resistividade, permitindo distinguir regiões com diferentes níveis de saturação.

Regiões com valores elevados de resistividade foram associadas aos materiais utilizados na camada de cobertura final e às zonas menos saturadas do maciço de resíduos. Por outro lado, regiões caracterizadas por baixos valores de resistividade foram interpretadas como zonas com maior presença de líquidos lixiviados. A presença de líquidos ricos em sais dissolvidos provoca redução significativa nos valores de resistividade elétrica do meio, permitindo a identificação de zonas contaminadas por meio de levantamentos geoeletricos (LAGO, 2006).

A interpretação das seções geoeletricas apresentou boa correlação com os níveis de líquidos observados nos medidores instalados no aterro experimental. Os resultados obtidos para o arranjo Schlumberger permitiram a identificação de campos mais contínuos, enquanto o arranjo dipolo-dipolo, por ser mais sensível a mudanças horizontais na subsuperfície, produziu campos mais dispersos.

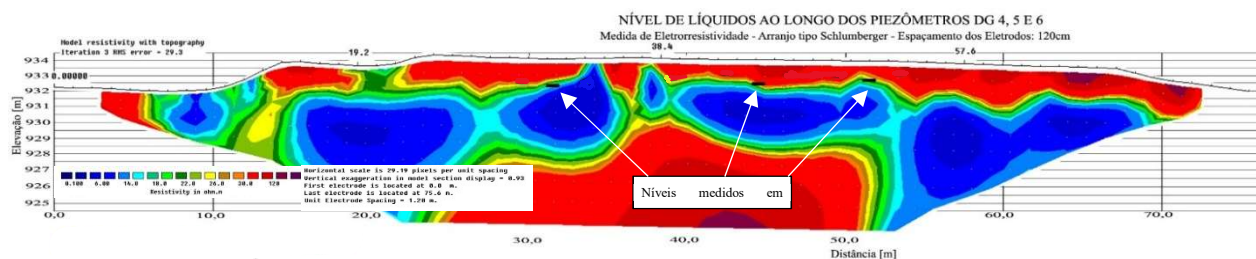


Figura 6: Seção geoeletrica com arranjo tipo Schlumberger (espaçamento eletrodos: 120 cm). Fonte: Autores do trabalho.

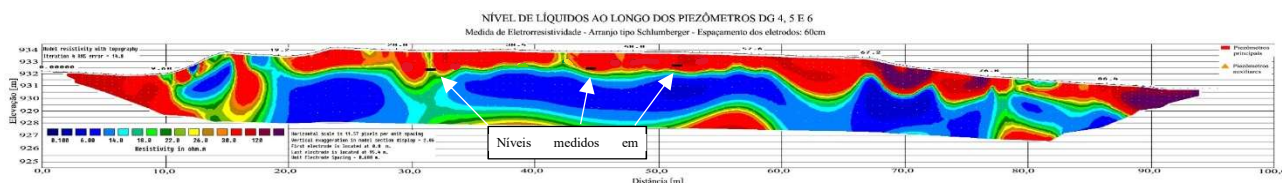


Figura 7: Seção geoeletrica com arranjo tipo Schlumberger (espaçamento eletrodos: 60 cm). Fonte: Autores do trabalho.

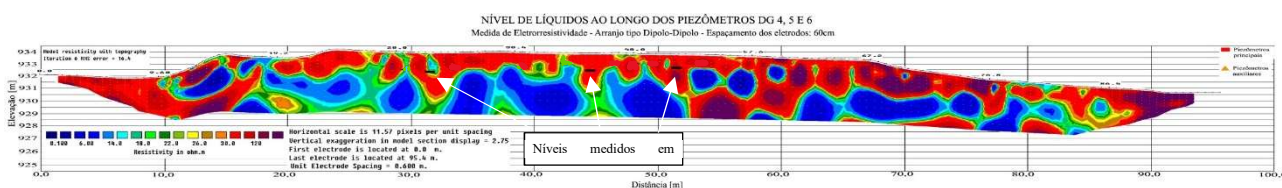


Figura 8: Seção geoeletrica com arranjo tipo dipolo-dipolo (espaçamento eletrodos: 60 cm). Fonte: Autores do trabalho.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio da aplicação de métodos geofísicos, em particular a eletroresistividade, possibilitaram a avaliação dos níveis de líquidos no interior do aterro sanitário experimental. As interpretações geradas mostraram-se consistentes e confirmaram, de forma satisfatória, a posição do nível de líquidos obtida nos medidores instalados.

A escolha pela distância entre os eletrodos é fundamental para a resolução das pseudoseções e para a profundidade atingida pela corrente, bem como o tipo de arranjo utilizado. Considerando o mesmo espaçamento entre eletrodos, o arranjo tipo dipolo-dipolo se mostra mais sensível às variações laterais de medida, sendo ideal para conseguir boa resolução, enquanto o Schlumberger se mostra ideal para uma visualização macro da seção investigada.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



A aplicação de apenas um tipo de caminhamento elétrico, ou ainda, apenas um método geofísico pode levar a erros de interpretação, sendo desejável a aplicação em conjunto com outros métodos de investigação não-destrutivos, como o *Ground Penetration Radar* – GPR.

Para uma melhor compreensão da distribuição de líquidos no interior do aterro, a realização de um levantamento 3D de eletrorresistividade possibilitará a identificação de uma superfície bem definida de líquidos ou se existem zonas não-saturadas na subsuperfície.

Recomenda-se também a aplicação do mesmo espaçamento de eletrodos e mesmos arranjos, porém com maior profundidade teórica de aquisição (cerca de 20 metros) e considerando mais um *roll-along* por perfil, aumentando o tamanho do perfil para reduzir os efeitos de borda na leitura do aterro sanitário experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARANHA, P. R. A. **NOTAS DE AULA – Métodos Eletrorresistivos**. Belo Horizonte, MG, 2012. Departamento de Geologia - Instituto de Geociências da UFMG.
2. BORTOLIN, J.R.M., MALAGUTTI FILHO, W. **Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010, 15(4), 367–374.
3. CATAPRETA, C.A.A. **Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, construção e Operação**. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia-UFMG, Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2008.
4. CAVALCANTI, M.M. **Aplicação de métodos geolétricos no delineamento da pluma de contaminação nos limites do Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília**. Brasília, DF: Instituto de Geociências da UNB, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas do Instituto de Geociências, Brasília, 2013.
5. ELIS, V.R., ZUQUETTE, L.V. **Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos**. Revista Brasileira de Geociências. 2002; 32(1): 119-134.
6. GANDOLFO, O.C.B. **Um estudo do imageamento geolétrico na investigação rasa**. São Paulo, SP: Instituto de Geociências – USP. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, São Paulo, 2007.
7. LAGO, A.L., ELIS, V.R., GIACHETI, H.L. **Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP**. Revista Brasileira de Geofísica. 2006, 24(3), 357–374.
8. MOREIRA, C.A., GODOY, L.H., SARDINHA, D.S., CONCEIÇÃO, F.T., DAL ROVERI, C. **Caracterização geofísica em aterro de resíduos sólidos para avaliação de condicionantes de instabilidade geotécnica**. Geologia USP. Série Científica. 2013, 13(1), 25-34.
9. MORETTO, R.L., SIQUEIRA NETO, A.C., ELIS, V.R., MIGUEL, M.G. **Detection of leachate pockets in experimental cell of municipal solid waste with aid of geophysics**, 16th International Waste Management and Landfill Symposium. 2017, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.
10. MOURA, H.P., MALAGUTTI FILHO, W. **Métodos de eletrorresistividade e de polarização induzida aplicados na área de disposição de resíduos urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro – SP**. Geociências, 2003. Vol. 22, pp. 129-139.
11. POMPOSIELLO, C., DAPENA, C., FAVETTO, A., BOUJON, P. **Application of Geophysical Methods to Waste Disposal Studies**. In: Xiao-Ying Yu (ed): Municipal and Industrial waste Disposal. 2012, IntechOpen, London.
12. SILVA, D.D. **Caracterização de Áreas Favoráveis à Extração de blocos Graníticos de Grande Porte com o Uso da Eletrorresistividade, Cabo de Santo Agostinho, PE**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrologia do Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 2014.
13. TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E. **Applied Geophysics**. Second Edition. 1990, Cambridge University Press, Cambridge, 770 p
14. XAVIER, F.F., BERKENBROCK, P.E. **Mapeamento Geolétrico no Aterro Sanitário do Município de Blumenau, SC**. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2005, Blumenau, SC: ABGE.