



Análise de arranjos eletródicos na caracterização da pluma de contaminação do aterro controlado do Jockey Clube de Brasília - DF

João Marcos* Silvestre de Alencar (discente do curso de graduação em Geofísica da UnB - jms.alencar@gmail.com);

Welitom Rodrigues Borges (docente do curso de graduação em Geofísica da UnB - welitom@unb.br);

Paulo Henrique Praça de França (discente do curso de graduação em Geofísica da UnB - phpraca@gmail.com);

Guilherme Meirelles da Motta de Figueiredo Gaudêncio (discente do curso de graduação em Geofísica da UnB - guilhermemotta@hotmail.com)

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This paper presents the electrical resistivity (ER) method to investigate the contamination plume generated by the percolation of leachate. The study area is the landfill Jockey Club of Brasília, located at Estrutural City, Brasília-DF. The survey was made at the south part of landfill boundary with three arrays: pole-dipole, Wenner and Wenner-Schlumberger.

Introdução

O aumento da produção de resíduos sólidos urbanos (RSUs) e a sua disposição final têm chamado atenção da população, de autoridades públicas e pesquisadores de diversas áreas. Os RSUs no Brasil têm três destinos finais: vazadouro a céu aberto (lixões), aterro controlado e aterro sanitário, sendo este último o local mais apropriado. Entretanto, 73,3% dos resíduos são descartados inadequadamente em lixões e aterros controlados, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008. Em vista disso, tem-se cobrado de órgãos públicos uma melhor gestão dos resíduos sólidos para preservação do meio ambiente.

A geofísica, que durante um longo período tinha como principal foco a prospecção mineral, surge como uma importante ferramenta na caracterização, mapeamento e monitoramento de plumas de contaminação, auxiliando na recuperação de áreas impactadas. Seus métodos não invasivos são rápidos, baratos e eficientes, o que explica sua crescente aplicação em estudos ambientais. Dentre eles, se destacam os métodos elétricos (eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo) e eletromagnéticos, em função das propriedades físicas dos contaminantes.

O chorume, líquido escuro proveniente da decomposição de resíduos sólidos, apresenta elevada concentração de metais pesados – tais como cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), manganês (Mn) -, além de compostos orgânicos, o que o torna um dos principais contaminantes dos solos e aquíferos. Portanto, a presença desses

eletrólitos permite detectar o contaminante pelos métodos elétricos devido ao seu caráter condutivo.

Os resíduos sólidos do Distrito Federal são depositados no aterro controlado do Jockey Club de Brasília (JCB), sendo a rodovia EPCL-DF-096/BR070 a principal via de acesso, também conhecida como Via Estrutural e localizado no Parque Nacional de Brasília (PNB) nas proximidades da cidade Estrutural (**Figura 1**).

Na década de 1970, na área do JCB, o lixo era descartado a céu aberto pelo método de rampas, no qual o solo retirado para abertura de trincheiras e reutilizado para cobrir valas acumuladas por resíduos. Com o crescimento populacional e das cidades do DF, o lixão se expandiu nas direções NE e SW.

A partir de 1995, a área deixou de ser um vazadouro a céu aberto, e passou a ser gerenciada como aterro controlado, com a instalação de queimadores de gases, de lagoas de contenção e de trincheiras para drenagem pluvial.

Atualmente, no JCB, utiliza-se o método da área para o aterramento, no qual as camadas de lixo se superpõem preenchendo áreas baixas da topografia, ou então o empilhando em forma de tronco de pirâmide acima do nível do terreno. No JCB cerca de 2.300 toneladas de resíduos são produzidas diariamente e distribuídas entre as usinas da Asa Sul (recebe 15% do lixo), do P Sul, na Ceilândia (recebe 15% do lixo), e do aterro da Estrutural (recebe 70% do lixo). Existe um projeto de desativação e revitalização da área, mas enquanto isso, o aterro continua em funcionamento pleno.



Figura 1: Imagem com a localização do Aterro do Jockey Clube de Brasília (JCB).

Metodologia

Estudos geofísicos e geológicos realizados anteriormente no aterro JCB confirmam a contaminação do local e vizinhanças. Franco (1996) utilizou a técnica da sondagem elétrica vertical (SEV) para mostrar que o chorume produzido no aterro flui para córregos vizinhos e para o Parque Nacional de Brasília. Araújo (1996) constatou por meio de análises químicas de águas subterrâneas que a maior lixiviação do chorume ocorre nos períodos chuvosos. Cavalcante (2013) investigou a evolução da pluma de contaminação gerada pela percolação de chorume na zona saturada, aplicando os métodos de radar de penetração do solo (GPR) e eletrorresistividade (ER).

No método da eletrorresistividade, introduz-se uma corrente elétrica artificial no terreno por meio de dois eletrodos de corrente conectados a uma fonte controlada, enquanto outros dois eletrodos medem a diferença de potencial, formando um quadripolo (**Figura 2**).

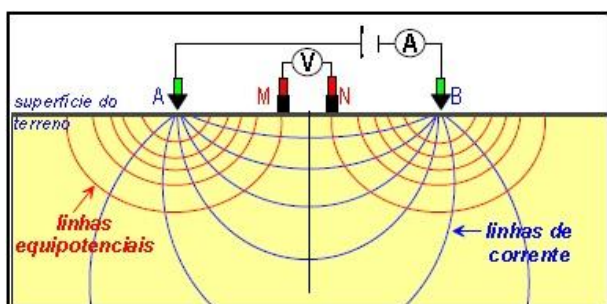


Figura 2: Fluxo de corrente elétrica por meio de dois eletrodos de correntes A e B e com dois eletrodos de potencial M e N em um meio homogêneo e isotrópico (BRAGA, 2007).

Uma vez que os valores de corrente e de potencial de um determinado ponto da subsuperfície são conhecidos, é possível determinar a resistividade nesse mesmo ponto, segundo a **Equação 1**:

$$\rho_a = \frac{\delta V_{MN}}{I} K \quad (1)$$

Onde δV_{MN} é a diferença de potencial medido pelos eletrodos MN, I é a corrente injetada e K , o fator geométrico que depende do tipo de arranjo utilizado no levantamento e é dado por:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB}} \quad (2)$$

Onde \overline{AM} é a distância entre os eletrodos de corrente A e de potencial M; \overline{MB} , a distância entre os eletrodos de

potencial M e o de corrente B, \overline{AN} , a distância entre os eletrodos de corrente A e o de potencial N e \overline{NB} , a distância entre os eletrodos de potencial N e o de corrente B. A resistividade medida no ponto é denominada resistividade aparente, pois o meio a ser medido é heterogêneo e anisotrópico. Portanto, mede-se uma resistividade média entre as camadas de solo, de rocha, de fluidos e de outros materiais presentes na subsuperfície.

Na técnica do caminhamento elétrico (CE), as medidas são efetuadas na superfície do terreno ao longo de uma seção, deslocando horizontalmente o arranjo de eletrodos adotado previamente a um determinado espaçamento. Dessa maneira, é possível investigar as variações horizontais dos parâmetros elétricos do meio em vários níveis de profundidade em função do espaçamento dos eletrodos.

Este presente trabalho irá tratar da caracterização da pluma de contaminação no aterro controlado do Jockey Club de Brasília, Distrito Federal (DF), por meio de 3 arranjos distintos de eletrorresistividade (ER) desenvolvidos com equipamento multieletródico.

Aquisição

O desenvolvimento das atividades de campo ocorreu na na terceira semana de dezembro de 2014, período de elevada precipitação pluviométrica em Brasília. Escolheu-se o local de estudo (**Figura 3**) em função de inúmeros autores confirmarem a ocorrência de uma zona contaminada por percolação de chorume (Cavalcanti et al, 2012).



Figura 3: Imagem com a localização do perfil de eletrorresistividade na área do JCB.

No levantamento de ER, foi realizada a técnica do caminhamento elétrico com os arranjos polo-dipolo, Wenner α e Wenner-Schlumberger, com a finalidade de se avaliar o melhor arranjo para a caracterização da pluma. Em todos esses, utilizaram-se 72 eletrodos metálicos conectados a um módulo de distribuição de controle Syscal PRO, espaçados em 5 metros, resultando em uma linha de 355 m. Para o arranjo polo-dipolo foi

utilizado um eletrodo a mais, posicionado a -50 m do início da linha.

Por fim, os dados adquiridos foram organizados e filtrados no software Prosys II e exportados para o RES2DINV (Loke e Barker, 1996) para serem geradas as pseudo-seções de resistividade aparente, pelo método de inversão dos mínimos quadrados.

Resultados

A **tabela 1** compara a quantidade de pontos, tempo de aquisição, resolução horizontal e vertical e profundidade de investigação entre os três arranjos utilizados no levantamento. Observa-se que o arranjo polo-dipolo teve uma maior quantidade de pontos investigados (1000) e maior tempo de aquisição destes (45 minutos e 33 segundos).

Arranjo	Quantidades de Pontos	Tempo de Aquisição	Resolução Horizontal (m)	Resolução Vertical (m)	Profundidade de investigação
Polo-Dipolo	1000	45 min 33 seg	2,50	2,00	30
Wenner	768	37 min 5 seg	2,50	2,38	38
Wenner-Schlumberger	872	42 min 36 seg	2,50	2,50	40

Tabela 1: Comparação entre os arranjos em relação à quantidade de pontos investigados, tempo de aquisição dos dados, resoluções horizontal e vertical e profundidade de investigação.

As **figuras 4a, 4b, 4c** são as pseudo-seções de resistividade aparente dos dados brutos antes da aplicação das inversões pelo método dos mínimos quadrados. Notam-se pontos com baixa resistividade (valores entre 50 e 100 ohm.m) em profundidades intermediárias e próximas à superfície. Observa-se também uma porção do terreno entre a origem e a posição 160 m uma camada superficial de aproximadamente 8 m de espessura de alta resistividade (valores entre 700 e 1500 ohm.m), indicando provavelmente uma baixa contaminação.

As **figuras 5a, 5b, 5c** mostram os modelos de inversão pelo método dos mínimos quadrados de eletrorresistividade da linha de aquisição nos arranjos polo-dipolo, Wenner e Wenner-Schlumberger, respectivamente. Nos três arranjos, observa-se uma camada de baixa resistividade, com valores entre 30 e 90 ohm.m, a uma profundidade entre 10 e 25 metros, como sendo uma possível camada de contaminação. A camada abaixo dos 25 metros de profundidade, com valores maiores que 1500 ohm.m, foi considerada como sendo a rocha intemperizada.

O arranjo polo-dipolo traz boas resoluções vertical e horizontal. Porém, essas resoluções diminuem com o afastamento dos eletrodos, mostrando anomalias

assimétricas. Foram investigados 1000 pontos neste arranjo, atingindo uma profundidade de 30 m com os 16 níveis.

O arranjo Wenner mostrou uma boa resolução horizontal e com menor erro RMS, 5,3%. Observa-se uma camada superficial com valores de resistividade entre 700 e 1500 ohm.m, indicando uma contaminação provavelmente baixa ao longo da linha e uma alta contaminação entre os pontos 160 e 240 metros. Foram investigados 768 pontos, atingindo uma profundidade de 38 m com os 16 níveis.

O arranjo Wenner-Schlumberger se assemelha à pseudo-seção Wenner, com boas resoluções vertical e horizontal. Entretanto, é possível observar distorções nas anomalias. Foram investigados 872 pontos, atingindo uma profundidade de 40 metros com os 16 níveis de investigação.

Conclusão

Considera-se o arranjo polo-dipolo a melhor configuração eletródica para caracterização da pluma de contaminação do aterro JCP. Embora seu erro RMS tenha sido o maior (17,1%) em comparação entre os outros arranjos, devido à eliminação de pontos ruins durante o procedimento de filtragem dos dados no software Prosys II, suas resoluções horizontal e vertical (2,5 m e 2,0 m, respectivamente) foram melhores de todos os arranjos.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) da Universidade de Brasília (UnB) pelo fornecimento dos equipamentos e suporte para realização dos trabalhos de campo. Agradecemos também aos doutorandos Pedro Vencovsky Nogueira e Eduardo Xavier Seimetz, pelas orientações de campo, aos técnicos Péricles de Brito Macedo e Antônio Mendes de Carvalho e aos membros da empresa júnior PHYGEO da UnB.

References

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985) – NBR 8849 – Apresentação de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. São Paulo.

ARAUJO, R. de. **Estudo Geoquímico da Contaminação dos Recursos Hídricos e sua Propagação nas Adjacências do Aterro de Resíduos Sólidos Jokey Club – DF**. Instituto de Geociências (Dissertação de Mestrado), IG/UnB, Brasília/DF. 74p. 1996.

BRAGA, A. C. O. **Métodos Geoeletricos Aplicados nos Estudos da Captação e Contaminação de Águas Subterrâneas: Uma Abordagem Metodológica e Prática**. 2007. Tese de Livre-Docência na disciplina “Métodos Geoeletricos Aplicados à Hidrogeologia” do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio

Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. São Paulo. 80p. 2007.

CAVALCANTI, M.M.; BORGES, W.R.; ROCHA, M.P.; CUNHA, L.S.; SEIMETZ, E.X. **Investigação Geofísica (Eletrorresistividade e GPR) nos Limites do Lixão da Estrutural e do Parque Nacional de Brasília – DF** (Resultados Preliminares). 12º Congresso Internacional da SBGf, 2011.

FACHIN, S. J. S. **Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto – SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. Universidade de São Paulo – USP. 142 p. 2007.

FRANCO, HA. 1996. **Geofísica e Química aquática aplicadas ao estudo da contaminação de recursos hídricos subterrâneos no aterro do Jockey Club, Brasília-DF**. Dissertação de Mestrado n. 113, IG/UnB.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de exploração**. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Texto, 438p. 2009.

REYNOLDS, J. M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. Ed. John Wiley Sons. 796p. 1997.

SUMNER, J. S. – 1976 – **Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration**. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, 227p.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 770p. 1990.

USTRA, A. T. **Utilização dos Métodos Eletrorresistividade e Polarização Induzida com aquisição de dados 3D para caracterização geoambiental de uma área à jusante do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru – SP**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, SP. 2008.

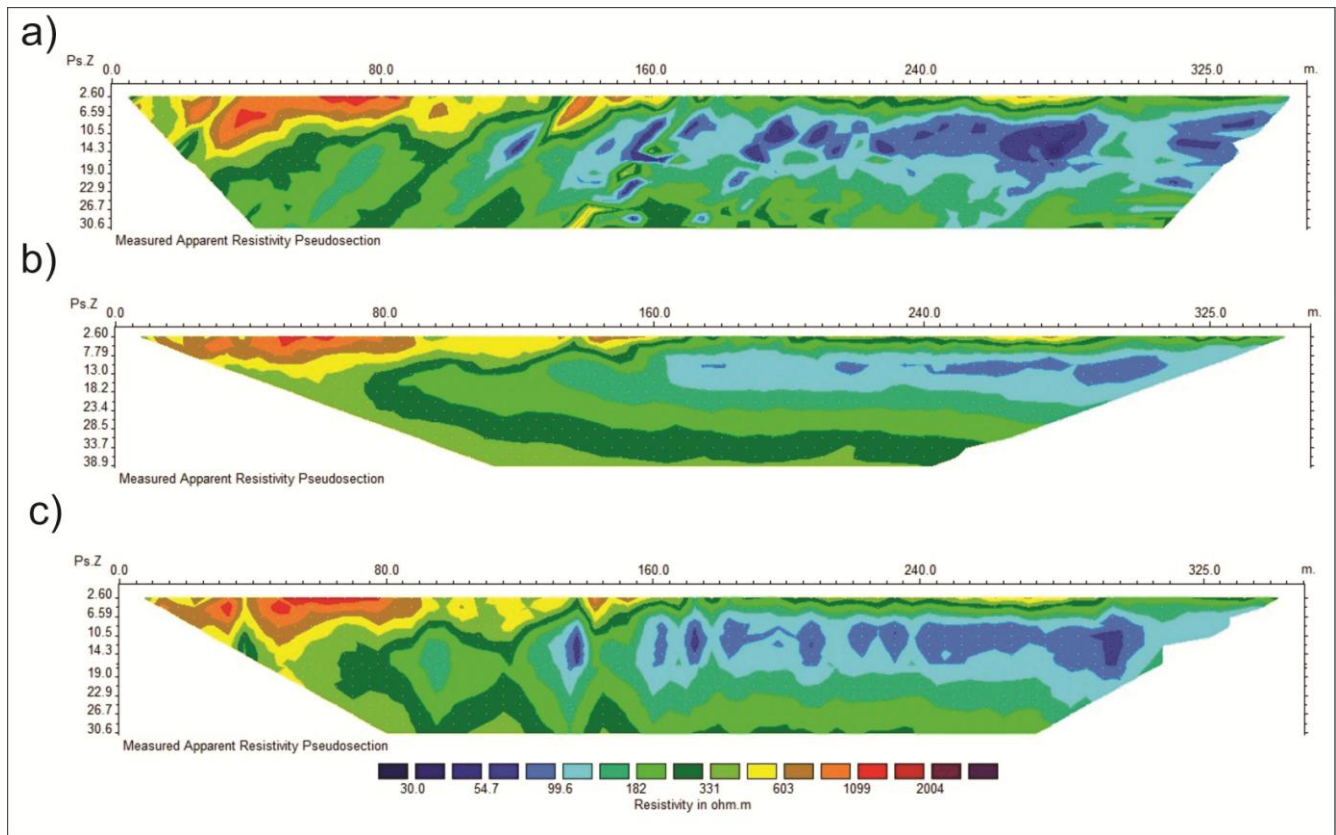


Figura 4: Pseudo-seções da resistividade aparente obtidas a partir dos dados brutos de campo com os arranjos: a) polo-dipolo; b) Wenner; c) Wenner-Schlumberger.

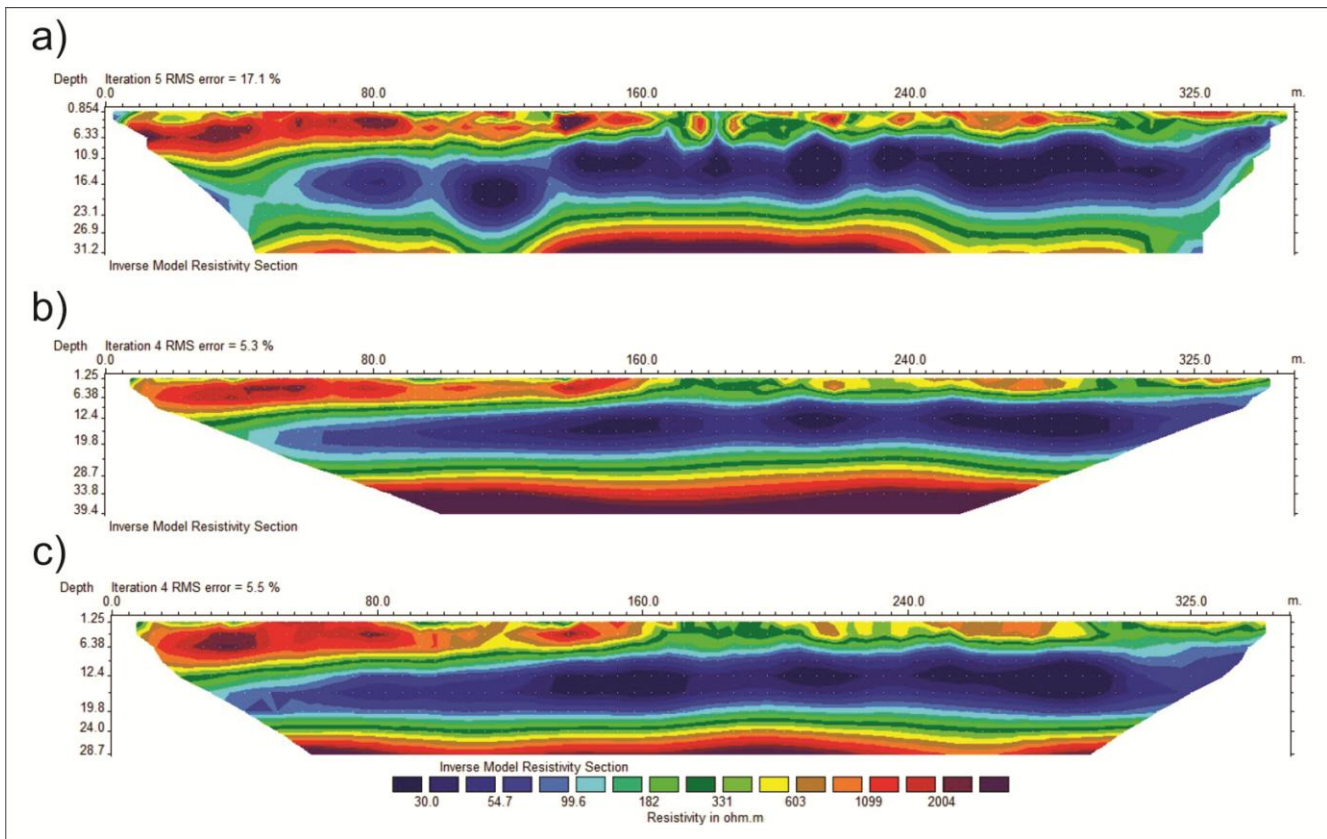


Figura 5: Modelos de inversões de eletrorresistividade com os arranjos: a) polo-dipolo; b) Wenner; c) Wenner-Schlumberger.