

GEOFÍSICA ELÉTRICA NA CARACTERIZAÇÃO DA HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO ATERRO METROPOLITANO CENTRO, SALVADOR, BAHIA

Susana S. Cavalcanti, Hédison K. Sato & Olivar A. L. Lima

Received February 10, 2000 / Accepted August 10, 2002

Dados de sondagens elétricas verticais de resistividade, de polarização induzida (PI), e medidas superficiais de potencial espontâneo (PE), permitiram avaliar as condições hidrológicas subterrâneas na região do novo aterro sanitário de Salvador, Bahia, antes de sua efetiva utilização. A inversão conjunta dos dados de PI-resistividade permitiu diferenciar zonas de maior argilosidade nos arenitos da Formação Barreiras. Permitiu também mapear a topografia do substrato aquífero, a conformação do nível do lençol freático e os padrões gerais da circulação subterrânea de água nessa formação. Os dados de PE, obtidos em torno das duas primeiras células já construídas para disposição do lixo, confirmam a orientação geral do fluxo hídrico e definem as principais áreas de recarga e descarga no entorno das células. O quadro hidrológico-petrofísico resultante constitui um referencial útil para checar eventuais danos ambientais futuros relacionados à disposição de lixo urbano na área.

Palavras-chave: Resistividade elétrica; Polarização induzida; Hidrologia; Água subterrânea; Aterro sanitário.

ELECTRICAL GEOPHYSICS IN THE SUBSURFACE HYDROLOGY CHARACTERIZATION AROUND THE SALVADOR'S SANITARY LANDFILL AREA, STATE OF BAHIA - Resistivity and induced polarization (IP) vertical electrical sounding data, and superficial self-potential (SP) survey, allow to evaluate the underground hydrological conditions around the new Salvador's sanitary landfill. The inversion of the combined IP-resistivity data allows to differentiate zones of large shaliness within the sandstones of Barreiras Formation. They also allow to map the aquifer substratum topography and the water table configuration, as well as to infer the general pattern of the underground natural flow of water. The SP data, acquired around the first two cells already constructed for waste disposal confirm the general underground flow and identified areas of recharge and discharge around the cells. The resulting hydrological-petrophysical picture may be a useful reference frame to check eventual environmental impacts in the future, caused by the waste disposal in the area.

Key words: Electrical resistivity; Induced polarization; Hydrology; Groundwater; Sanitary landfill.

Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia,
Universidade Federal da Bahia
Campus Universitário da Federação, Salvador, BA, 41.170-290
Tel.: 55(71)203-8500, Fax: 55(71)203-8501
susanasc@starmedia.com, sato@cpgg.ufba.br, olivar@cpgg.ufba.br

INTRODUÇÃO

Os aterros constituem uma das formas mais baratas e utilizadas de destinação de lixo em vários países do mundo e também no Brasil (Lima, 1980). A disposição de resíduos sólidos domiciliares, de serviços de saúde e industriais em aterros sanitários pode trazer sérias conseqüências ambientais, incluindo riscos de contaminação de águas superficiais e subterrâneas devido ao chorume produzido. A ocorrência de fissuras nas estruturas desses aterros elevam o nível de alerta sobre os problemas associados às fases de operação e pós-operação. Estes fatos

ampliam a necessidade do conhecimento detalhado da hidrologia e da geologia de subsuperfície da área em que se pretende implantar um aterro sanitário.

Os atributos profundidade do substrato rochoso, profundidade do nível d'água em relação a base do aterro e sentido do fluxo subterrâneo são imprescindíveis na caracterização de uma área utilizada para disposição de resíduos urbanos (Zuquette et al., 1994). A determinação direta destas características é, muitas vezes, limitada por razões de ordem técnica e econômica. Por outro lado, os métodos geofísicos permitem obter informações precisas das condições

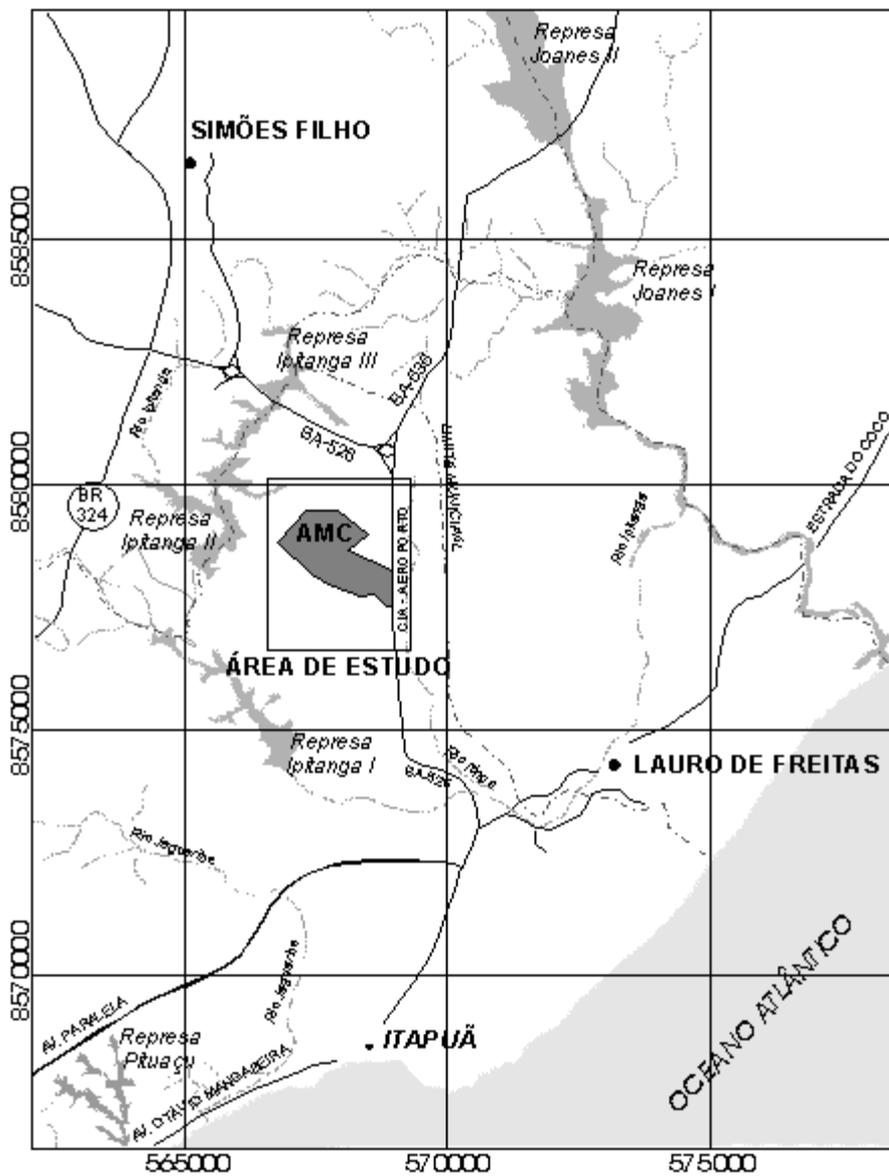


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Figure 1 - Location map of the investigated area.

geológicas e hidrológicas de subsuperfície de forma indireta e rápida, em qualquer fase do projeto, a custos reduzidos. A aplicação dos métodos geofísicos elétricos e eletromagnéticos em investigações hidrológicas e ambientais é bastante difundida (Buselli et al., 1990; Lima et al., 1995). Desde que adequadamente escolhidos e dimensionados, eles possibilitarão concluir sobre todas estas características do meio físico (Barker, 1990; Malagutti et al., 1997).

O Aterro Metropolitano Centro (AMC), estudado neste trabalho, inclui-se na Região Metropolitana de Salvador (RMS), localizando-se à margem da rodovia BA-526 (Fig. 1). Este complexo de construção moderna, planejado para minimizar os impactos ambientais, compreende um sistema de tratamento, de transporte e de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, exclusivamente doméstico, dos municípios de Salvador, Simões Filho e Lauro de Freitas, no Estado da Bahia. A área superficial total da gleba reservada para o empreendimento é de aproximadamente 2,13 km², sendo que apenas 0,68 km² constitui a primeira etapa de implantação, formada por uma central de entulho, uma central de podas, prédio da administração e quatro células de disposição de lixo (Fig. 2). As células estão construídas

nas zonas mais elevadas do terreno, parcialmente terraplanado, e têm as suas bases e laterais impermeabilizadas com argila compactada, totalmente revestidas com mantas plásticas de polietileno de alta densidade (PEAD). O empreendimento entrou em operação em setembro/1997, absorvendo 400 ton/dia de lixo. O lixo é compactado e recoberto por uma camada de material inerte.

Apesar dos estudos convencionais de impacto ambiental, a proximidade do AMC com os reservatórios superficiais de água, usados no abastecimento de Salvador, exige avaliações especiais e periódicas. Este trabalho utiliza dados de sondagens elétricas verticais (SEV) de resistividade, polarização induzida (PI) e potencial espontâneo (PE), coletados durante o segundo semestre de 1998, e visa definir as características geológicas subsuperficiais da região do AMC, assim como os padrões do fluxo hidráulico subterrâneo no aquífero freático local. Os resultados obtidos permitiram definir também a geometria e a petrofísica do aquífero freático, e constitui um quadro referencial físico para uma monitorização hidrológica e geotécnica das repercursões da disposição de lixo naquela área.

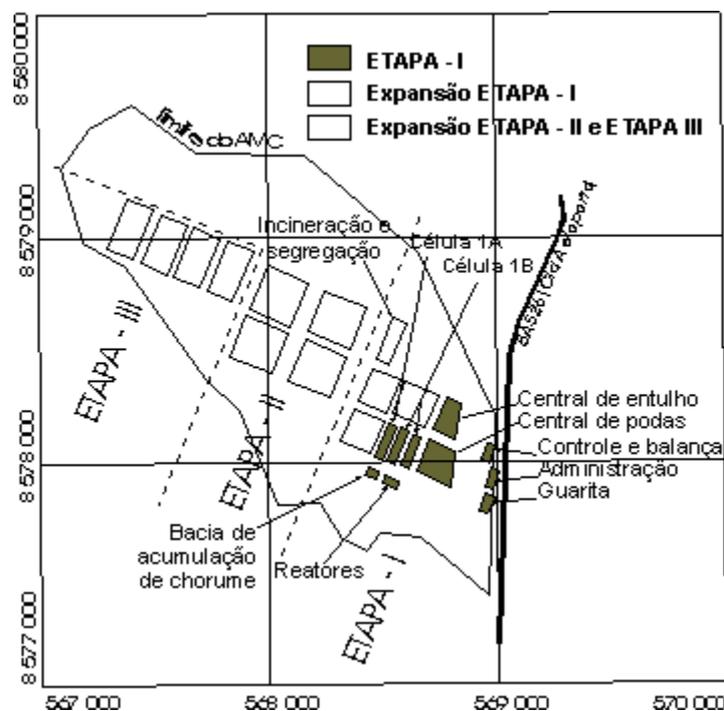


Figura 2 - Croqui do Aterro Metropolitano Centro.M

Figure 2 - Layout of the Salvador's landfill.

GEOLOGIA E HIDROLOGIA

Geologicamente, a RMS é constituída por rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, por sedimentos Jurássico-Cretáceos da Bacia Sedimentar do Recôncavo, por coberturas detríticas terciárias que repousam discordantemente sobre rochas mais antigas e por sedimentos quaternários marinhos e aluviais. O embasamento cristalino compreende rochas granulíticas e anfibolíticas, localmente muito fraturadas e, normalmente, encobertas pela Formação Barreiras ou por um espesso manto de alteração. A Formação Barreiras engloba quase a totalidade dos sedimentos terciários em território baiano e cobre extensa área da RMS (Barbosa & Dominguez, 1996). Ela é composta de uma seqüência de sedimentos terrígenos, pouco consolidados ou inconsolidados, de cores variadas, consistindo de argilas, areias e cascalhos, com estratificação irregular, normalmente indistinta e, em geral, afossilífera.

O sítio selecionado para implantação do aterro sanitário situa-se na micro-bacia do rio Itinga, integrante da sub-bacia do rio Ipitanga que, por sua vez, faz parte da bacia hidrográfica do rio Joanes (Geohidro, 1993). Essas bacias contêm importantes mananciais utilizados para o abastecimento de água de Salvador (Moraes et al., 1995). Toda a água oriunda do freático bem como a dos riachos, nos limites da área demarcada para a implantação do aterro, tem como destinação final o rio Itinga. Todavia, existem dúvidas quanto à possibilidade da água subterrânea fluir do aterro para a represa Ipitanga II.

A RMS compreende basicamente dois sistemas aquíferos: (i) o aquífero granular múltiplo, semi-confinado, ou sistema do Recôncavo e (ii) o aquífero freático, consistindo do embasamento cristalino acoplado à Formação Barreiras ou às areias quaternárias. O sistema livre é definido por uma única superfície freática com alimentação natural por infiltração direta de águas pluviais (Lima, 1994; Bahia, 1996).

GEOFÍSICA

Os métodos geofísicos elétricos são bastante utilizados em pesquisas de água subterrânea e fontes geotermiais (Telford et al., 1990; Pinto & Abrão,

1991). Em investigações ambientais, a técnica da SEV desempenha papel importante na detecção e caracterização da poluição do subsolo e seus recursos hídricos (Roy & Elliott, 1980; Lima & Porsani, 1994). A aplicação de técnicas adequadas durante a fase de coleta de dados de SEV associada a métodos robustos de interpretação permite estimar parâmetros importantes na caracterização geológico-hidrológica de áreas de disposição de resíduos tais como a profundidade da rocha sã, a profundidade do nível estático e a direção do fluxo da água subterrânea. De fato, a quantidade e as propriedades físico-químicas da água intersticial, assim como a sua interação com a rocha hospedeira, norteiam o comportamento da condução elétrica na rocha e, por conseguinte, viabilizam os métodos geoeletricos como adequados em investigações hidrológicas. Como o potencial elétrico espontâneo tem relação direta com o movimento das águas subterrâneas (fenômeno eletrocinético), este método é também usado na hidrologia com bons resultados (Schiavone & Quarto, 1984; Medeiros & Lima, 1991).

Eletrorresistividade e polarização induzida

O método da eletrorresistividade foi aplicado através da técnica da SEV usando o arranjo Schlumberger, com espaçamento AB/2 máximo entre 40 e 250 m. A localização dos centros das SEVs foi parcialmente determinada pelas condições de acessibilidade. As aberturas máximas foram controladas pelas condições da urbanização. Além disso, a cobertura vegetal é muito densa em grande extensão da área, especialmente ao longo dos vales.

Das 32 sondagens elétricas verticais executadas, 16 delas encontram-se dentro do perímetro do AMC. O equipamento utilizado foi o Syscal R2, da Iris Instruments, configurado para medição simultânea da polarizabilidade aparente e resistividade aparente.

Na interpretação das curvas de sondagem elétrica, foi utilizado um procedimento automático de inversão e ajuste, com base em um modelo de camadas plano-paralelas. Fez-se visualmente uma estimativa inicial do número de camadas, valores de espessuras e resistividades dos estratos para cada curva. Estas estimativas foram usadas como modelo preliminar para o programa de inversão de dados de

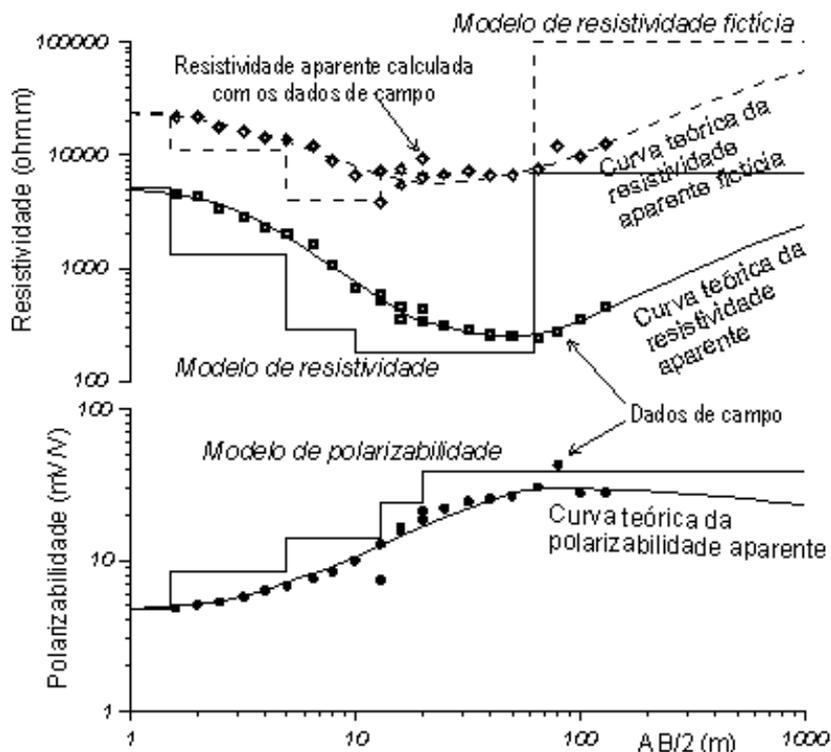


Figura 3 - Exemplo de interpretação de SEV combinado com dados de polarizabilidade.

Figure 3 - Example of SEV interpretation combined to polarizability data.

eletrorresistividade RESIST 1.0, desenvolvido por Vander Velpen, da Delft University. Iterativamente, o programa procede o ajuste automático de um modelo de camadas plano-paralelas, até atingir um valor prefixado do desvio quadrático médio entre os valores da resistividade aparente teórica deste modelo e as medidas de campo.

Empregando a técnica proposta por Patella (1973), constrói-se uma função resistividade aparente fictícia (ρ_a^*), produto da resistividade aparente (ρ_a) pela polarizabilidade aparente (P_a), a partir da qual obtém-se o modelo fictício de resistividade de camadas plano-paralelas, usando o mesmo programa RESIST 1.0. O modelo de polarizabilidade é, então, a razão entre as resistividades deste modelo fictício e do modelo que depende apenas da resistividade aparente (Fig. 3). Em outros termos, a polarizabilidade a uma determinada profundidade é a razão entre as resistividades, a essa mesma profundidade, nos dois modelos de resistividade aparente. Uma consequência direta dessa metodologia é que o número de camadas pode diferir entre os três modelos.

A adição dos efeitos de PI na sondagem tradicional de resistividade ajuda a diferenciar os arenitos limpos daqueles que possuem argilas disseminadas, os quais respondem como camadas de resistividade mais baixa e polarizabilidade mais alta. A presença de sais dissolvidos nas águas intersticiais tem uma resposta semelhante para a resistividade, mas com polarizabilidade decrescente (Vacquier et al., 1957). Os dados de salinidade observados em poços de amostragem e nas correntes de escoamento superficial indicam que a água subterrânea na área estudada encontra-se dentro dos padrões normais. Além disso, as dimensões e a localização espalhada dessas anomalias elétricas combinado ao fato de que as células estavam recém-construídas e com pouco uso, excluem qualquer hipótese de contaminação de água subterrânea.

Os resultados das 32 sondagens elétricas verticais de PI-resistividade, com arranjo Schlumberger, analisados conjuntamente, na forma de pseudo-seções e de mapas de contorno de resistividade e de polarizabilidade aparente, assim como através de seções geoeletricas serviram de base para: (i) efetuar o zoneamento litológico da Formação

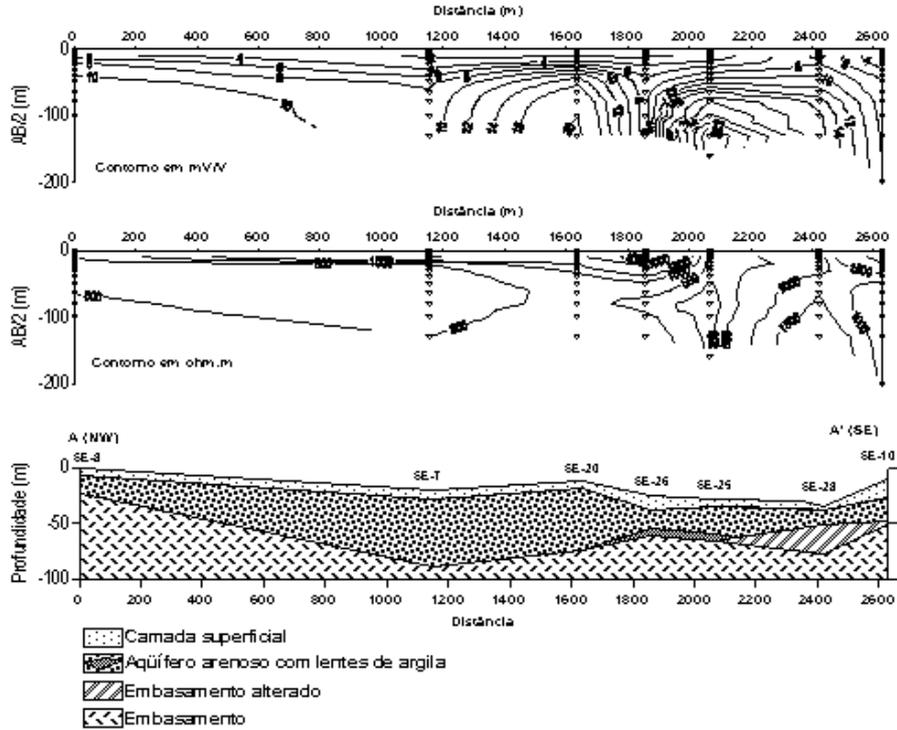


Figura 4 - Seção geológica transversal construída com base nos dados de resistividade e polarização induzida (seção A-A').

Figure 4 - Geological cross-section interpreted from the resistivity and induced polarization data (A-A' section).

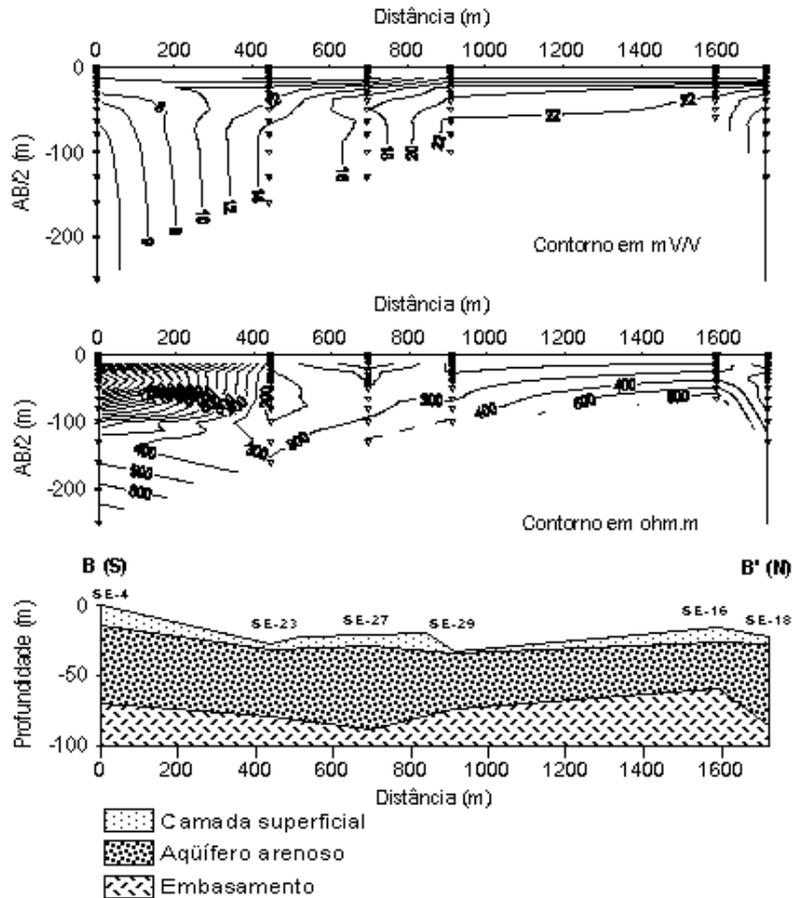


Figura 5 - Seção geológica transversal construída com base nos dados de resistividade e polarização induzida (seção B-B').

Figure 5 - Geological cross-section interpreted from the resistivity and induced polarization data (B-B' section).

Barreiras na área; (ii) definir a configuração da topografia do substrato cristalino e a ocorrência de zonas fraturadas nestas rochas; e (iii) mapear o nível estático do aquífero (Cavalcanti, 1999). As colunas litológicas, interpretadas com base nos dados de SEVs, foram utilizadas na construção das seções geoeletricas A-A' e B-B' (Figs. 4 e 5). Nessas mesmas figuras estão representadas as pseudo-seções de resistividade e polarizabilidade aparente construídas diretamente com os dados de campo, interpolados linearmente por triangulação.

Observa-se que o substrato cristalino apresenta-se em geral com valores elevados de resistividade, característicos de rochas duras quase sem porosidade e permeabilidade. Foram determinados valores variando entre 1000 a 10000 ohm.m, sendo estimado, apenas como referência, um valor médio de

6800 ohm.m para essas rochas. No aquífero granular, o valor da resistividade cai na faixa de 115 a 1300 ohm.m, indicando variações litológicas típicas (conteúdo de argila) da Formação Barreiras. As variações observadas na polarizabilidade estão relacionadas com variações no nível de saturação em água e com variações no teor de argila. A zona não-saturada apresenta variações abruptas na resistividade e polarizabilidade até o nível estático. Isto deve refletir a mudança do nível de umidade com a profundidade em função do período de realização do levantamento. Deste modo, optou-se por combinar estas várias camadas numa única camada de espessura variável, denominada camada superficial.

A combinação PI-resistividade favoreceu também a determinação da profundidade do lençol freático e do topo do substrato rochoso na área. Foram

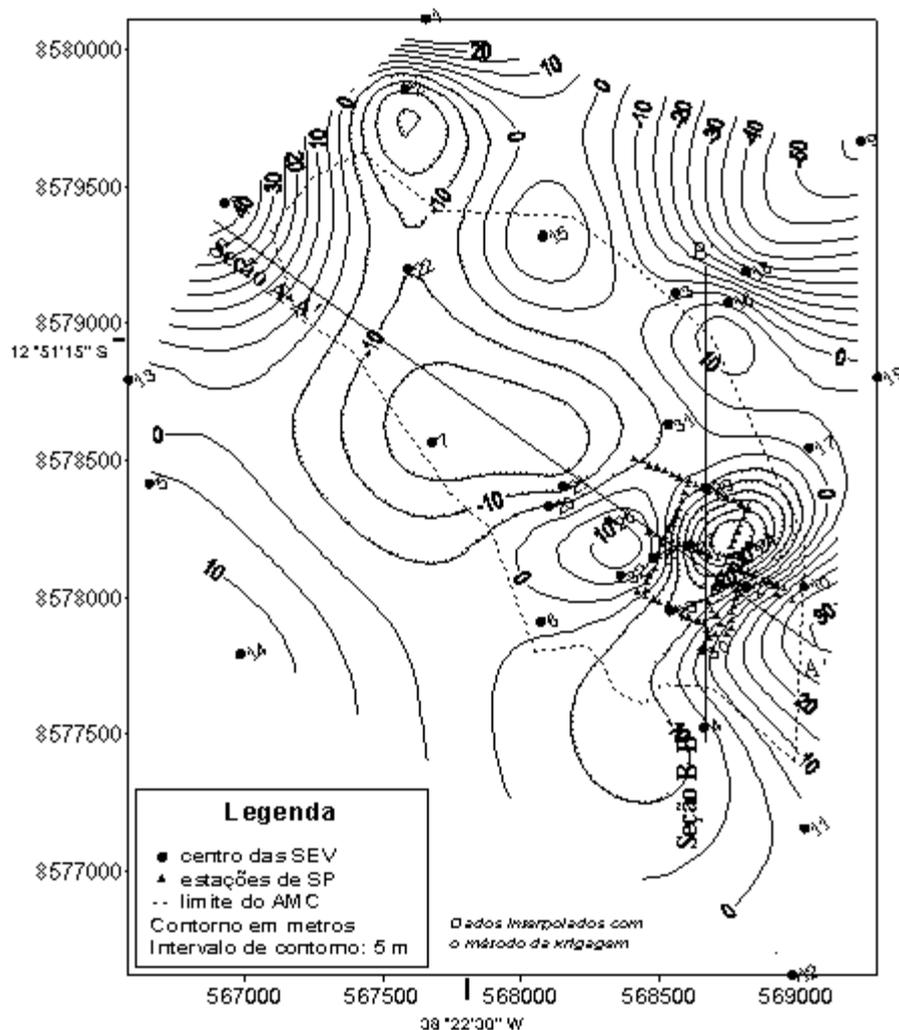


Figura 6 - Mapa da topografia do topo do embasamento cristalino.

Figure 6 - Depth map of the top of the crystalline basement.

construídos mapas mostrando a topografia do embasamento (Fig. 6) e a configuração do nível do lençol freático com indicação das principais direções do fluxo subterrâneo (Fig. 7).

Na sua maioria, os níveis piezométricos foram obtidos das sondagens de PI-resistividade que, em alguns pontos, estão controlados por dados de sondagens à percussão (SPT) próximas. O fluxo subterrâneo na área se dirige de norte/nordeste para sul/sudeste em conformidade com as linhas de correntes superficiais. Todavia existem áreas localizadas de padrões convergentes e divergentes que constituem áreas de recarga e exudação do aquífero. Os mapas das figuras 8 e 9 mostram o quadro atual das propriedades elétricas médias do

aquífero: condutância longitudinal total (S) e resistência transversal total (T).

Esses mapas fornecem indícios qualitativos sobre a distribuição da transmissividade do aquífero. Os setores com baixos valores de S e altos T definem zonas mais transmissivas do sistema. Por outro lado baixos T e S elevados representam zonas mais argilas e, portanto, menos permeáveis do sistema. Essas indicações são consistentes com aqueles da rede do fluxo, pela qual as zonas mais permeáveis se apresentam com gradientes hidráulicos mais uniformes. Esses resultados serão úteis para posterior comparação e acompanhamento ao longo do tempo de uma eventual mudança na qualidade da água subterrânea causada pela operação do AMC.

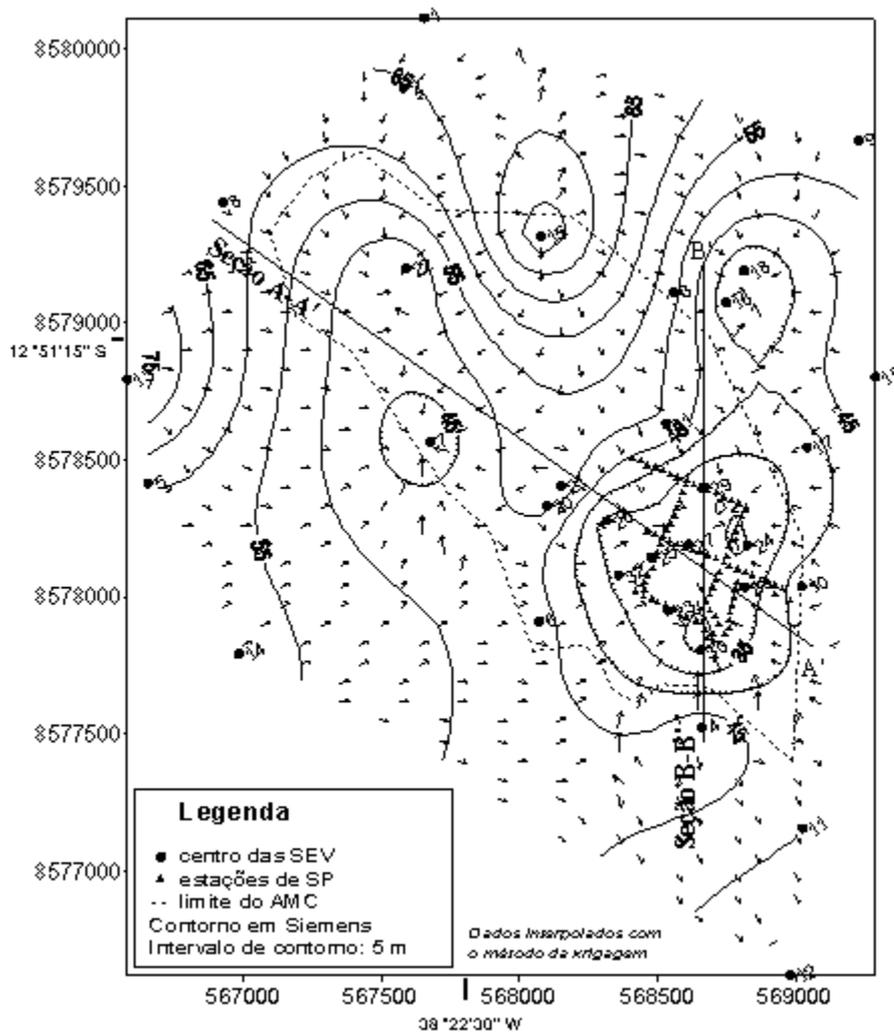


Figura 7 - Mapa piezométrico e do campo de fluxo da água subterrânea.

Figure 7 - Piezometric map and groundwater flux field pattern.

Potencial espontâneo

As medidas do potencial espontâneo (Fig. 10) foram tomadas em relação a uma estação de base fixada a intervalos regulares de 30 m, ao longo de 6 linhas com direções variadas, visando cobrir toda a área ao redor das duas células de lixo em operação.

Foram tomados cuidados especiais na escolha do sítio da estação base, e foram usados eletrodos não-polarizáveis. Por isso, espera-se que a distribuição do SP na área estudada reflita, em grande parte, as características da geologia e hidrologia subsuperficial. Com relação a topografia, as investigações de Ernston & Scherer (1986) mostram efeitos topográficos com máximo de 80 mV por

100 m de diferença de elevação. Neste trabalho, as medidas foram tomadas ao longo de uma área aplainada com cotas variando de 35 a 40. Por isso, pode-se considerar desprezíveis os efeitos da topografia. As anomalias de PE mostram, efetivamente, uma forte correlação com as características litológicas e com o padrão do fluxo subsuperficial. A metade noroeste da área é mais regular e corresponde a parte de zona permeável inferida nos mapas das figuras 8 e 9. Valores positivos de PE sugerem dominância de fluxos descendentes neste trecho (área de recarga). A metade sudeste coincide com a faixa mais argilosa (Fig. 8 e 9) e contém anomalias fortemente negativas que, provavelmente, caracterizam fluxos ascendentes (áreas de exudação).

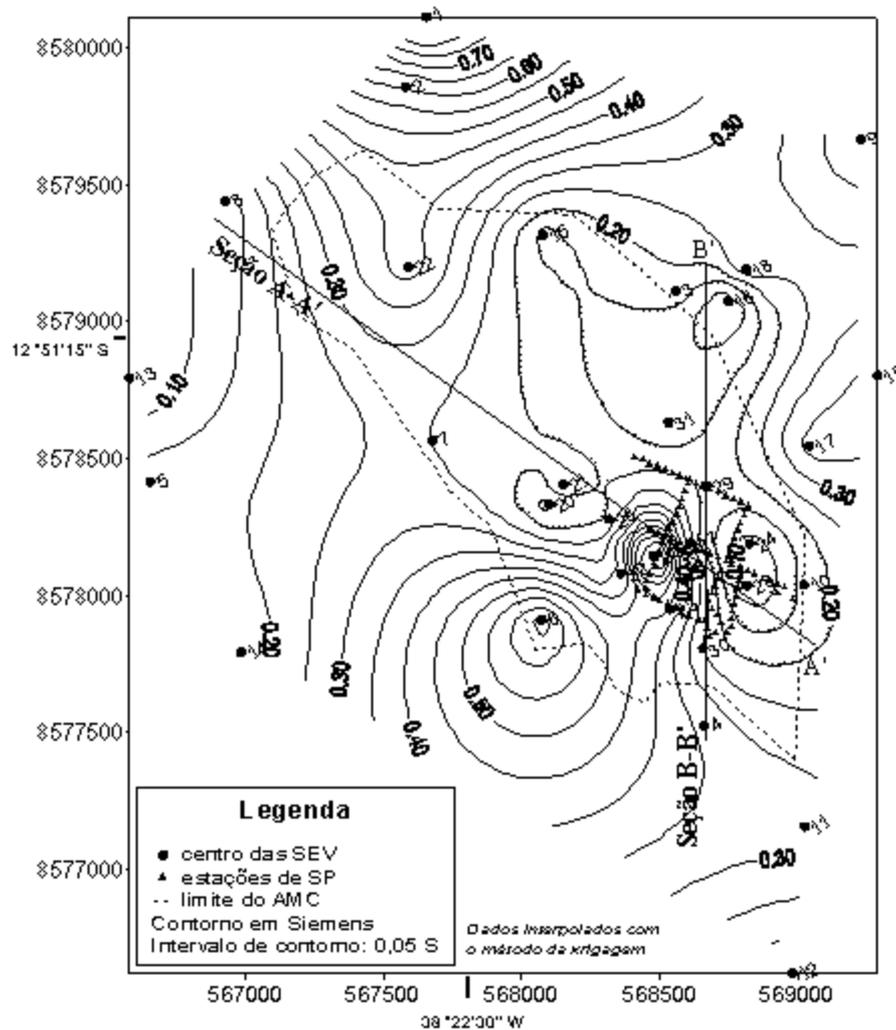


Figura 8 - Mapa de contorno da condutância longitudinal total do aquífero.

Figure 8 - Total longitudinal conductance contour map of the aquifer.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Em estudos ambientais, particularmente na avaliação de áreas de disposição de resíduos sólidos, tanto na identificação litológica dos materiais de subsuperfície, como na estimativa da profundidade do lençol freático e sentido do fluxo da água subterrânea, os métodos de eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo podem ser empregados a custos e prazos relativamente reduzidos, sem alterar o meio físico. A inclusão da geofísica elétrica em estudos hidrogeológicos convencionais possibilita uma visão mais completa e portanto mais segura da área, uma vez que os métodos

forneem informações sobre a subsuperfície de maneira extensiva e praticamente contínua com um mínimo de impacto ambiental. Além disso, esta técnica é uma forma otimizada para efetuar a monitorização e proteger a qualidade dos recursos hídricos, em áreas de elevados riscos de poluição subterrânea. Os resultados obtidos com ela permitem o planejamento e dimensionamento de outros meios de investigação como a instalação de poços de monitorização.

No caso do Aterro Metropolitano Centro, a área estudada é relativamente heterogênea do ponto de vista elétrico. Todavia, essa heterogeneidade parece ter sido satisfatoriamente caracterizada no presente trabalho. Portanto, em investigações futuras, a

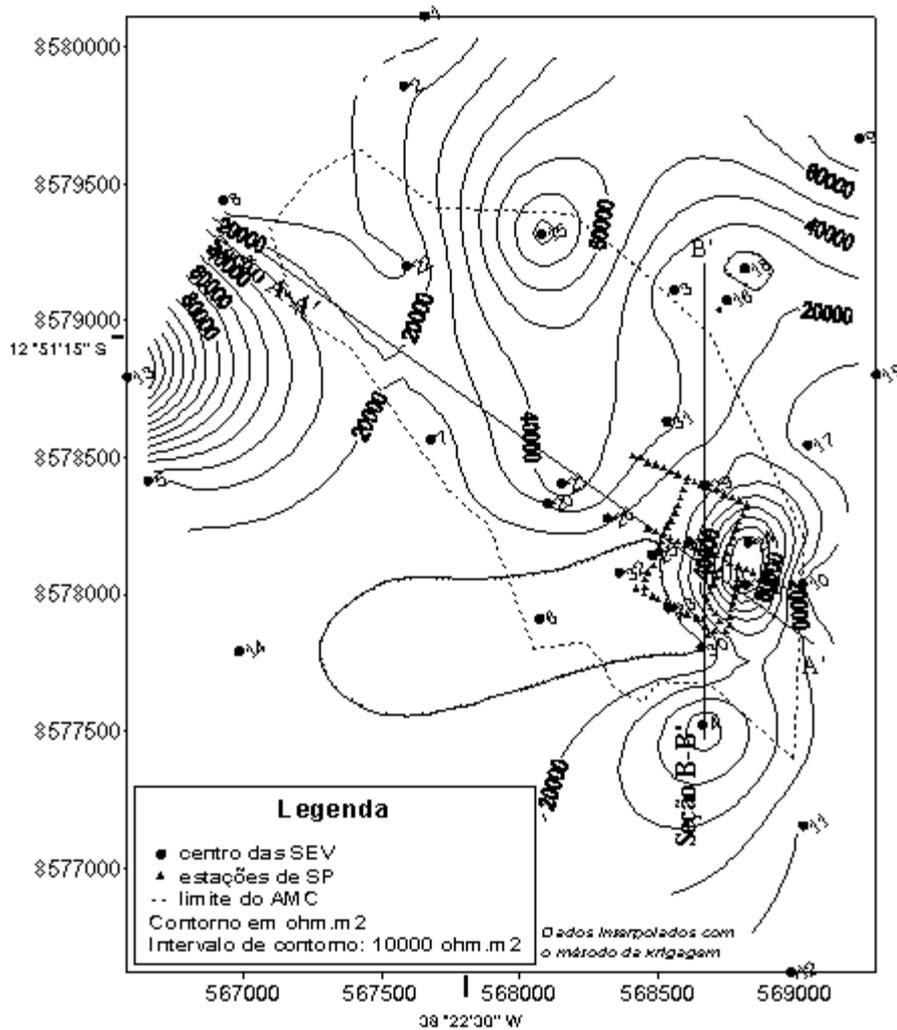


Figura 9 - Mapa de contorno da resistência transversal total do aquífero.

Figure 9 - Total transverse resistance contour map of the aquifer

localização de variações elétricas não detectadas próximas ao aterro poderão ser correlacionadas com alterações na qualidade da água subterrânea. Considerando que os resultados aqui obtidos não esgotam o problema da qualidade ambiental na área do AMC e adjacências, especialmente no que concerne a interpretação geológica, novos aprimoramentos geofísicos poderão ser obtidos através do adensamento da informação geométrica, e da correlação com dados obtidos diretamente da subsuperfície (furos estratigráficos, por exemplo). Apesar desse estudo ter sido desenvolvido no entorno de um aterro sanitário, a ênfase deste trabalho não foi a detecção de contaminação, porque o início de

operação do AMC era recente e o volume de lixo recebido era pequeno em relação à sua capacidade total. Todavia, os resultados aqui alcançados constituem um referencial geofísico interpretado caracterizando a hidrologia subterrânea do local no momento de implantação da obra. As conclusões sobre as características petrofísicas da Formação Barreiras, como camadas de arenitos limpos com intercalações mais argilosas, a determinação do nível estático e a profundidade ao topo do embasamento são de grande importância para a continuidade da monitorização do AMC, como parte de um programa para preservação e melhor uso da área.

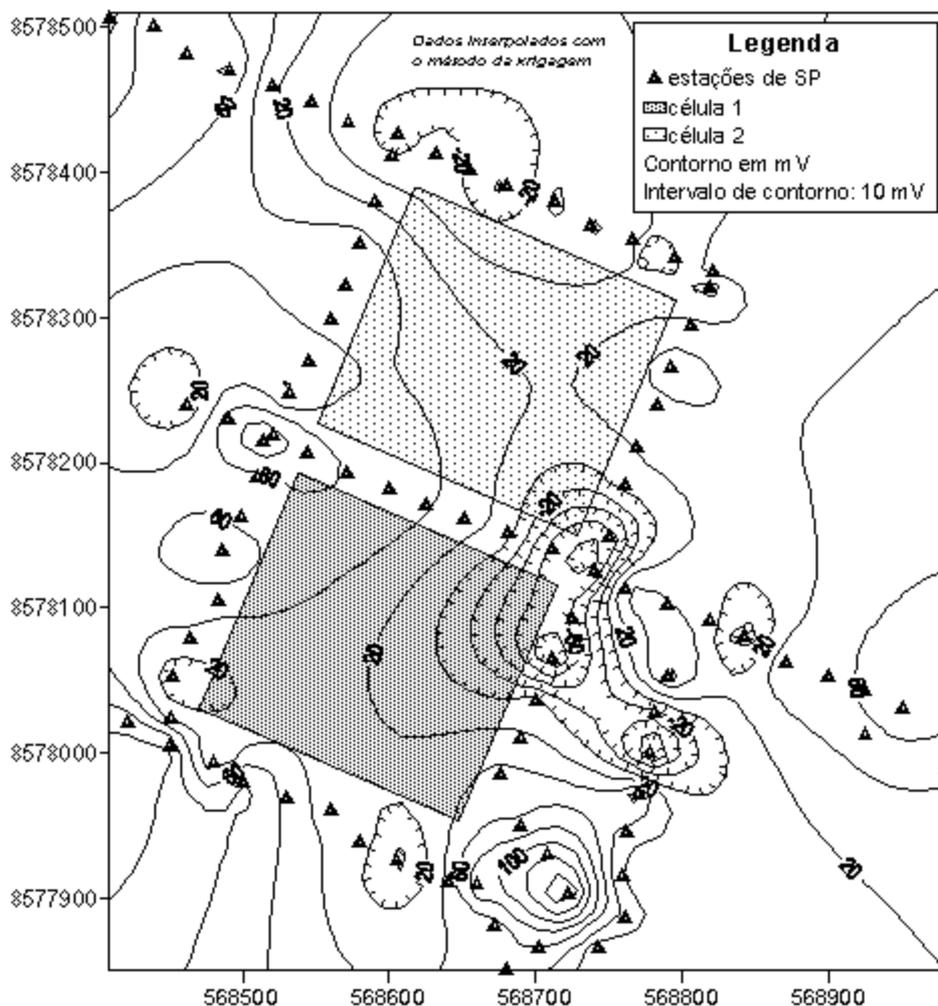


Figura 10 - Mapa do potencial espontâneo no entorno das células 1 e 2.

Figure 10 - Self-potential map around cell 1 and 2.

AGRADECIMENTOS

S. S. Cavalcanti agradece à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, enquanto O. A. L. de Lima e H. K. Sato agradecem ao CNPq pelo apoio na forma de Bolsas de Pesquisa. Além disso, os autores agradecem à CPRM e ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG-UFBA) pelo apoio a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- Bahia, 1996.** Plano Diretor de Recursos Hídricos. Bacias hidrográficas do Recôncavo Norte e Inhambupe: documento síntese, Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação - Superintendência de Recursos Hídricos, Salvador, 294 p.
- Barbosa, J. S. F. & Dominguez, J. M. L., 1996.** Mapa Geológico do Estado da Bahia - Texto Explicativo, Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração - Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, Salvador, 382 p.
- Barker, R. D., 1990,** Improving the quality of resistivity sounding data in landfill studies, in: S. H. Ward, *Geotechnical and Environmental Geophysics*, vol. II, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 245-251.
- Buselli, G., Barber, C., Davis, G. B. & Salama, R. B., 1990.** Detection of groundwater contamination near waste disposal sites with transient electromagnetic and electrical methods, in: S. H. Ward, *Geotechnical and Environmental Geophysics*, vol. II, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 27-39.
- Cavalcanti, S. S., 1999.** Hidrologia subterrânea na área do aterro sanitário de Salvador usando métodos geofísicos elétricos, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 71p.
- Ernstson, K. & Scherer, H. U., 1986.** Self-potential variations with time and their relation to hydrogeologic and meteorological parameters, *Geophysics*, **51**(10):1967-1977.
- Geohidro, 1993.** Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Aterro Metropolitano Centro, CONDER.
- Lima, L. M. Q., 1980.** Tratamento de lixo, Hemus Editora, 240 p.
- Lima, O. A. L., 1994.** Água: Potencial de uso e riscos de contaminação, in: *Mananciais e usos, saneamento e saúde, política e legislação*, Prefeitura Municipal de Salvador, 113-129.
- Lima, O. A. L. & Porsani, M. J., 1994.** Monitoramento geo-elétrico da contaminação aquífera no pólo petroquímico de Camaçari, Bahia, *Revista Brasileira de Geofísica*, **12**(2):147-161.
- Lima, O. A. L., Sato, H. K. & Porsani, M. J., 1995.** Imaging industrial contaminant plumes with resistivity techniques, *Journal of Applied Geophysics*, **34**(2):93-108.
- Malagutti, W., José, C., Braga, A. C. O., Elis, V. R.; Tandel, R. Y. & Porsani, J. L., 1997.** Aplicação integrada de técnicas geofísicas no aterro sanitário de Rio Claro - SP - Resultados Preliminares, in: *Resumos Expandidos - 5o. Congres. Intern. da SBGF*, 422-425, São Paulo-SP, SBGF.
- Medeiros, W. E. & Lima, O. A. L., 1991.** Potencial elétrico espontâneo em aquíferos de fraturas: geração e uso hidrogeológico, in: *Resumos Expandidos, 2o. Congres. Intern. da SBGF*, vol. 2, 1034-1038, Salvador-BA, SBGF.
- Moraes, L. R. S., Torres, L. F. & Dias, G. S., 1995.** Recursos hídricos, saneamento e saúde, in: *Planejamento Ambiental para Salvador - Documentos Preliminares*, Prefeitura Municipal de Salvador, 139-226.
- Patella, D., 1973.** A new parameter for the interpretation of induced polarization field prospecting (time-domain), *Geophysical Prospecting*, **21**:315-329.
- Pinto, L. M. & Abrão, A. B., 1991.** Integração dos métodos Wenner e Schlumberger para prospecção de águas subterrâneas, in: *Resumos Expandidos - 2o. Congres. Intern. da SBGF*, vol. 2, 1012-1015, Salvador-BA, SBGF.
- Roy, K. K. & Elliott, H. M., 1980.** Resistivity and IP survey for delineating saline water and fresh water zones, *Geoexploration*, **18**:145 -162.
- Schiavone, D. & Quarto, R., 1984.** Self-potential prospecting in the study of water movements, *Geoexploration*, **22**:47-58.

Telford, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E., 1990. Applied Geophysics, Cambridge University Press, 770 p.

Vacquier, V., Holmes, C. R., Kintzinger, P. R. & Lavergne, M., 1957. Prospecting for groundwater by induced electrical polarization, *Geophysics*, **22**:660-687.

Zuquette, L. V., Pejon, O. J., Sinelli, O. & Gandolfi, N., 1994. Methodology for specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal, International Congress of the International Association of Engineering Geologists, **7**:2481-2489.

ELECTRICAL GEOPHYSICS IN THE SUBSURFACE HYDROLOGY CHARACTERIZATION AROUND THE SALVADOR'S SANITARY LANDFILL AREA, STATE OF BAHIA

Largely used, sanitary landfill is the cheapest choice as a waste disposal place, in many countries and in Brazil, too. Its main environmental concern is related to the contamination problems that may affect both surface and underground water, due to the leachate generated by the waste decompositional process. Furthermore, geological aspects such as faults, fractures and fissures may contribute to the present and post-time landfill operational problems in the site.

Measurements of electrical resistivity, induced polarization and self-potential were combined to increase the understanding level about the geology and subsurface hydrology beneath the new Salvador's sanitary landfill area. Attributes such as depth to the bedrock, groundwater level relative to the landfill base and a general groundwater flow pattern are important to evaluate the adequacy and convenience of a selected landfill site. Some of these conditions have not being fully evaluated for the Salvador landfill.

The resistivity and IP data are collected using the Schlumberger electrode array. Assuming a horizontally layered model, they are interpreted using an iterative process: (a) the apparent resistivity data were inverted for a fixed number of layers, (b) the apparent fictitious resistivity data, obtained as the product of the apparent resistivity by the apparent polarizability values, were inverted using the same inversion scheme, (c) these two steps are repeated to get a unique model to simultaneously adjust the two data set, taking into account that a layer showing constant resistivity can be split in many others if the rock polarizability is considered, and conversely.

The combined inversion of the resistivity and polarizability data was useful to distinguish the low resistivity zones within the Barreiras Formation, as shaly sand bodies and not as zones of contamination. The IP-resistivity data interpretation has been used to map the water table level and the corresponding groundwater flow pattern in the area. These were reinforced by the self-potential map constructed from data measured around the two waste disposal cells in operation, demonstrating a northwest-southeast flow pattern. Besides, schematic geological sections and the crystalline basement topography are inferred from the geophysical data. Also, others combined geoelectric informations were constructed from the data: the total longitudinal conductance and total transverse resistance maps of the aquifer layer and the self-potential map around the cells. In this article, the snapshot nature of the informations on the geological and subsurface hydrological conditions can be used as a reference for future evaluation of the groundwater quality and its protection in the Salvador Metropolitan Sanitary Landfill.

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA NO CPGG/UFBA

As linhas de pesquisas atualmente em execução no CPGG/UFBA e que dão suporte ao curso de Pós-graduação em Geofísica são:

Geofísica de Exploração de Petróleo;

Teoria dos Métodos Geofísicos;

Geofísica de Exploração de Água Subterânea;

Estudo de Propriedades Físicas das Rochas;

Geofísica de Exploração Mineral, e

Hidrologia Isotópica, Ciclo do Carbono e Climatologia do Nordeste.

CPGG/UFBA

OBJETIVOS DAS LINHAS DE PESQUISA EM GEOFÍSICA

Geofísica de Exploração de Petróleo

Aplicação e desenvolvimento de métodos geofísicos sísmicos, elétricos e potenciais na exploração de hidrocarbonetos, com o objetivo de:

- a. prosseguir no desenvolvimento de técnicas de modelamentos da sub-superfície usando excitações sísmicas e na otimização do processamento de dados sísmicos;
- b. modelar e desenvolver algoritmos de inversão de dados sísmicos de superfície e de poço-superfície na avaliação de reservatórios;
- c. realizar estudos de estruturas geo-elétricas profundas em bacias sedimentares, usando o método magnetotélmico.

Teoria dos Métodos Geofísicos

Aplicação dos métodos da física-matemática na análise de diversos problemas geofísicos relacionados com a propagação e espalhamento de ondas elásticas e eletromagnéticas na terra. Objetiva também a organização de uma biblioteca de métodos e procedimentos de cálculo e de computação na área da geofísica aplicada.

Geofísica de Exploração de Água Subterrânea

Aplicação e desenvolvimento de técnicas geofísicas de campo, assim como de procedimentos de interpretação de dados elétricos, eletromagnéticos e sísmicos, em vários problemas de exploração de água subterrânea. Entre os principais objetivos destacam-se:

- a. uso de novas técnicas de mapeamento e perfilagem múltipla de resistividade em combinação com medidas do potencial espontâneo no estudo de aquíferos cristalinos e/ou cársticos;
- b. utilização de perfilagens geofísicas de poços em estudos de circulação e análise de qualidade das águas subterrâneas;
- c. modelamento hidrodinâmico e simulação de vários problemas de fluxo em aquíferos livres e confinados, representativos das Bacias Recôncavo - Tucano e de áreas de rochas cristalinas.

Estudo de Propriedades Físicas das Rochas

Consiste na medida e análise de propriedades elétricas, hidrodinâmicas e elásticas de rochas porosas das bacias sedimentares do Recôncavo e Tucano, assim como analisar modelos conceituais para essas rochas, que possam ser utilizados na interpretação geofísica de perfilagens de poços e de levantamentos elétricos e sísmicos.

Geofísica de Exploração Mineral

Aplicação sistemática de técnicas geofísicas eletromagnéticas e potenciais objetivando auxiliar no mapeamento geológico e no delineamento de corpos mineralizados com sulfetos metálicos e ouro da região do Rio Itapicuru e das seqüências vulcano-sedimentares do rio Salitre e Contendas-Mirante.

Hidrologia Isotópica, Ciclo do Carbono e Climatologia do Nordeste

Consiste na utilização de medidas das composição isotópica de diversos elementos em problemas de hidrologia e climatologia. Os principais objetivos têm sido:

- a. traçamento da circulação e dos processos de salinização de águas subterrâneas;
- b. estudo da distribuição dos isótopos de Carbono na atmosfera, na vegetação e na matéria orgânica e ar do solo, bem como na matéria orgânica de rochas, em problemas relacionados à geocronologia, processos de geração de petróleo e à distribuição atmosférica global de CO₂;
- c. paleoclimatologia do Quaternário da Bacia do Rio Salitre e das áreas costeiras da Bahia;
- d. balanço de energia e umidade com desenvolvimento de modelos para o acoplamento oceano/atmosfera e suas implicações na climatologia do Nordeste.