

Um estudo sobre a resposta da resistividade elétrica em meios contaminados por hidrocarbonetos e churume

Gianna Caroline Maciel Miura, IAG/USP, Brasil
Alexandre Bondioli, IAG/USP, Brasil
Andréa Teixeira Ustra, IAG/USP, Brasil
Vagner Roberto Elis, IAG/USP, Brasil

Copyright 2012, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V 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.

Resumo

Uma área de indústria química e uma área a jusante de um aterro sanitário foram investigadas pelo método eletrorresistividade. Amostras de solo foram coletadas com base nos resultados do levantamento geofísico, e foram submetidas a análises diretas de diversos parâmetros. Para correlacionar essas propriedades medidas, a resistividade de cada amostra foi também medida em laboratório. Para as amostras coletadas na indústria química, apresentamos análises de bactérias totais e actinomicetos, procurando correlacionar anomalias de baixa resistividade com a ocorrência de biodegradação. As amostras coletadas no aterro sanitário foram submetidas a um fluxo de solução de diferentes concentrações de churume, de modo a observar o efeito do contaminante no meio.

Introdução

Atualmente uma das grandes preocupações mundiais são os impactos ambientais causados por atividades industriais, atividade agrícola, disposição de resíduos sólidos (industriais, domésticos e hospitalares), de esgoto, de resíduos radioativos, e vazamentos de materiais contaminantes. Essas fontes de contaminação do solo e águas subterrâneas geralmente apresentam altas concentrações de metais pesados, nutrientes e substâncias orgânicas que podem impor risco à saúde da população e do ambiente natural.

Os problemas relacionados à forma de disposição dos resíduos devem-se à migração dos contaminantes para o meio ambiente local e consequente contaminação dos solos e águas subterrâneas. De uma forma geral, a utilização da geofísica na caracterização de uma área contaminada consiste na detecção e mapeamento da extensão da área afetada e informações sobre a profundidade da zona saturada, direção do fluxo subterrâneo e profundidade do substrato rochoso inalterado. Os métodos geoeletricos, nos quais se incluem os métodos da eletrorresistividade (ER), polarização induzida (IP) e potencial espontâneo (SP) têm sido cada vez mais utilizados em estudos ambientais. As técnicas geoeletricas de imageamento

podem ser aplicadas na identificação, mapeamento e delineamento dos contaminantes, controle de qualidade da imobilização do contaminante, e monitoramento em longo prazo.

Esse trabalho tem como finalidade observar o comportamento da resistividade em duas diferentes áreas contaminadas. Uma indústria química contaminada por hidrocarbonetos derivados de petróleo, na região metropolitana de São Paulo - SP e um aterro de resíduos sólidos urbanos, em Bauru - SP.

Área de Estudo e Metodologia

A indústria química (Figura 1) exercia atividades relacionadas à fabricação de tintas, envolvendo a manipulação de hidrocarbonetos e organoclorados. Uma quantidade não estimada de contaminantes atingiu o solo por derramamentos acidentais em áreas de solo não impermeabilizadas.

A área fica próxima da represa de Guarapiranga, está inserida no grupo Açungui, Complexo Pilar, caracterizado pela presença de um conjunto de xistos, com intercalações subordinadas de filitos, quartzitos, calcossilicáticas e metassilitos (Salles, 1999).

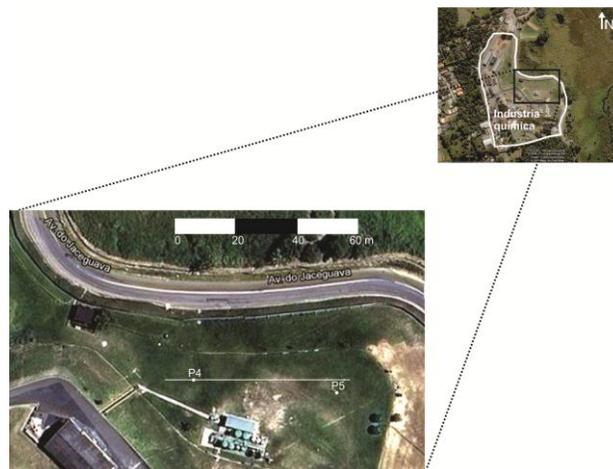


Figura 1. Área da indústria química, com localização da linha de caminhada elétrica e dos pontos de amostragem.

O aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru (Figura 2) opera desde 1993. Na área ocorrem arenitos do Grupo Bauru, representado pelas Formações Adamantina e Marília. O solo superficial do aterro possui textura de areia fina a média argilosa e é constituído por camadas

de areia fina, silto-argilosa, seguido por solo composto por areia argilosa. Abaixo é encontrado o solo de alteração de arenito sobre a rocha inalterada. O ensaio geofísico foi conduzido à jusante do fluxo subterrâneo, chegando bem próximo à primeira camada de resíduos (recoberta de solo). O nível d'água no local está em torno de 9 m de profundidade (Ustra, 2008).



Figura 2. Área do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru-SP, com localização da linha de caminhada elétrica e do ponto de amostragem.

Em ambas as áreas, o método de eletrorresistividade foi utilizado para determinar a distribuição de resistividade em subsuperfície, afetada fundamentalmente pela composição mineralógica, porosidade, e principalmente o teor em água e a quantidade e natureza dos sais dissolvidos, assim como pela presença direta dos contaminantes. Os dados foram adquiridos com o equipamento EIRec Pro (Iris Instruments), um resistivímetro que possui 10 canais de aquisição. O levantamento consistiu em linhas de caminhada elétrica, utilizando-se o arranjo dipolo-dipolo com o espaçamento de 5 metros na área do aterro e 3 metros na área da indústria.

A interpretação quantitativa dos resultados consistiu na inversão dos valores de resistividade aparente pelo método dos mínimos quadrados com vínculo de suavização, realizada pelo software comercial RES2DINV (Geotomo Software, 2001).

Baseado nos modelos de resistividade obtidos para cada uma das áreas foram selecionados locais para a coleta de amostras até a profundidade de 4 metros. As amostras coletadas foram analisadas laboratorialmente, onde houve contagem de bactérias totais e de actinomicetos, grupo de bactérias que possuem distintas características, como resistência a ácidos e alcoóis, além de serem contaminantes no meio aquoso (Escola de Química – UFRJ, 2012).

A fim de determinar a resistividade das amostras coletadas, realizou-se um experimento em laboratório, cujo aparato é mostrado na Figura 3. Nesse experimento, o equipamento de campo Syscal R2 foi alimentado por

uma fonte de tensão, trabalhando como um “chaveador” de corrente, conectado em série a um multímetro e aos eletrodos de corrente. O mesmo equipamento utilizado em campo (EIRec Pro), foi utilizado para as leituras de potencial. As medidas foram submetidas a variações de intensidade da corrente elétrica, de modo a observar a repetibilidade dos resultados.

Para garantir bom contato elétrico, as amostras da indústria química foram saturadas por uma solução de NaCl (320 ppm = 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), e a mesma solução foi utilizada para preencher o espaço entre os eletrodos de corrente e potencial, nas extremidades do porta-amostra. As amostras do aterro foram também submetidas ao fluxo de soluções de diferentes concentrações de chorume (líquido proveniente da degradação dos resíduos) originário do próprio aterro. Nesse procedimento, um volume aproximadamente duas vezes maior que o das amostras foi percolado através da mesma, com o objetivo de substituir completamente o líquido nos poros.

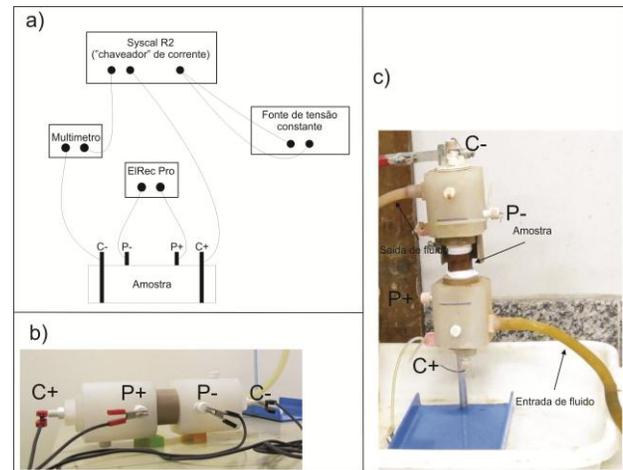


Figura 3. a) aparato experimental utilizado para a medição da resistividade das amostras coletadas, b) porta amostra e c) esquema de saturação e passagem de fluxo na amostra.

A composição do chorume tem algumas características marcantes, como principalmente, seu alto teor de cloretos. As medidas de resistividade nas amostras do aterro foram realizadas sequencialmente com as seguintes concentrações de chorume em água deionizada: 0%, 25%, 0%, 1,5% e 5%. As soluções isentas de chorume tiveram NaCl adicionados, devido a alta resistência elétrica da água deionizada, o que observou-se afetar a qualidade das medidas.

Resultados

Na seção de caminhada elétrica realizada na indústria química (Figura 4) observamos uma anomalia de baixa resistividade em profundidades superiores a 2 m, entre 9 e 33 m ao longo da linha do levantamento. Toda a seção geoeletrica encontra-se na zona não saturada e a área com baixa de resistividade é a mais próxima do local onde a indústria exercia suas atividades.

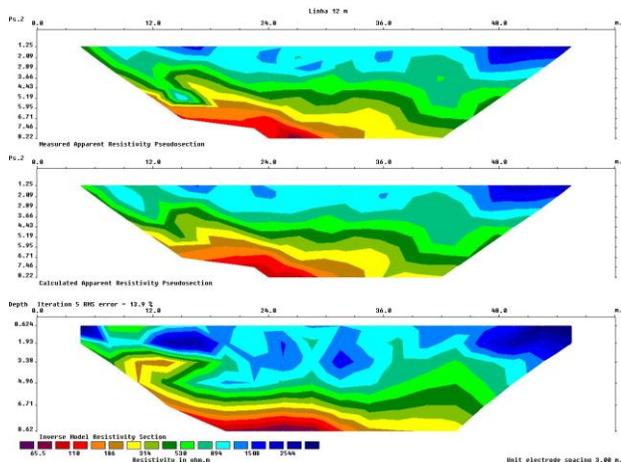


Figura 4. Seção do modelo de resistividade invertido para o conjunto de dados obtidos por caminhamento elétrico na indústria química.

Na Figura 5 observam-se valores de resistividade menores do que os observados em campo. O processo de saturação em laboratório ocasionou uma diminuição na resistividade da amostra retirada do ponto de amostragem P5, maior que nas outras amostras. Também se observa o aumento proporcional das resistividades medidas em laboratório com a quantidade de bactérias. O mesmo padrão não aparece em relação aos actinomicetos. Os valores de bacterias totais e de actinomicetos foram obtidos através de uma análise microbiológica.

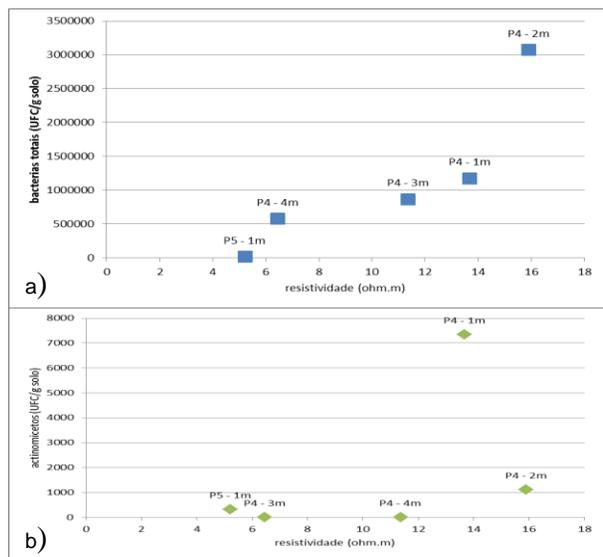


Figura 5. Relação entre a quantidade de: a) bacterias totais e resistividade e b) actinomicetos e resistividade. Para os pontos de amostragem (P4) e (P5).

O ponto de amostragem P5 está localizado próximo da região dos maiores valores de resistividade observados na seção apresentada na Figura 4. Neste ponto, foi coletada apenas uma amostra na profundidade de 1 m, pois o solo na região estava muito consolidado.

Na seção do aterro (Figura 6) uma anomalia de baixa resistividade (abaixo de 20 ohm.m) é observada a uma profundidade de aproximadamente 8 m, entre 50 e 85 m ao longo da linha do levantamento. Também nessa profundidade, foram observados valores de resistividade entre 40 e 60 ohm.m, que foram interpretados como a zona saturada. Os valores abaixo de 20 ohm.m encontrados nessa profundidade podem ser devidos a pluma de contaminação gerada pelo aterro. Os valores abaixo de 20 ohm.m acima da zona saturada, localizados a partir da posição de 95 m ao longo da linha, foram interpretados como influência dos contaminantes, uma vez que o levantamento foi realizado fora da área de resíduos, mas muito próxima dela.

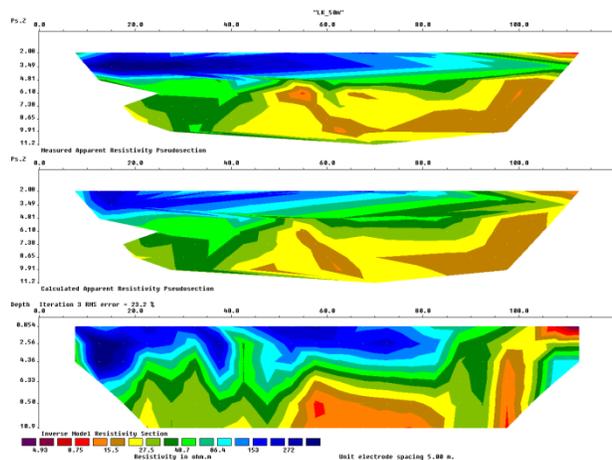


Figura 6. Seção do modelo de resistividade invertido para o conjunto de dados obtidos por caminhamento elétrico no aterro de resíduos sólidos.

A figura 7 ilustra a dispersão dos valores de resistividade em relação à condutividade de fluido, obtidos no experimento em laboratório.

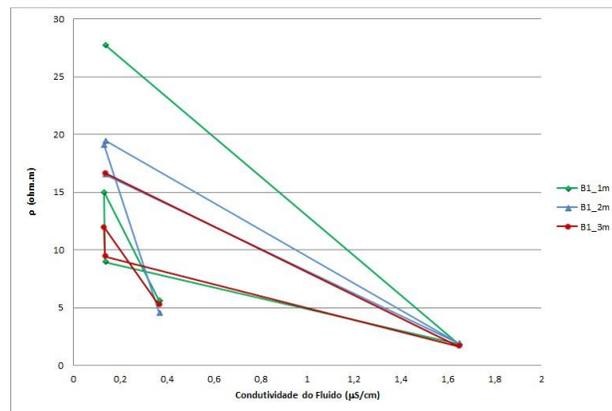


Figura 7. Gráfico da distribuição dos valores de resistividade em relação à condutividade de fluido, para as amostras retiradas de 1m, 2m e 3m de profundidade do ponto de amostragem (P1).

As diferentes interações solo-chorume afetaram as medidas de resistividade. Como esperado, com o fluido mais condutor (concentração de chorume a 25%), os valores de resistividade sofreram uma diminuição significativa.

Discussão e Conclusões

O modelo de resistividade invertido obtido para a área industrial identifica uma zona de baixa resistividade, que pode ser interpretado como uma área de biodegradação ativa. A diminuição da resistividade em áreas contaminadas por hidrocarbonetos (tipicamente isolantes) têm sido correlacionada com o aumento de sólidos totais dissolvidos no meio, resultante da ação de ácidos orgânicos liberados pela atividade bacteriana (Sauck, 2000).

Esperava-se que as amostras com maiores quantidades de bactérias apresentassem menores resistividades, o que não foi observado. Uma hipótese é que a atividade bacteriana não seja significativa, a ponto de modificar a resposta geofísica da área, de altas para baixas resistividades. Outra hipótese é que a zona de menores resistividades observadas no modelo devem-se a ocorrência da biodegradação ativa, no entanto não foram coletadas amostras nas profundidades onde as quantidades de bactérias são significativas. E uma terceira hipótese é que o contraste de resistividade observado é devido a variações na geologia da área. Análises do teor de argila, difração de raios-X e microscopia eletrônica estão em andamento e devem auxiliar na interpretação desses resultados.

O caminhamento elétrico realizado na área do aterro identificou a zona saturada (resistividades entre 40 e 60 ohm.m), e os valores de resistividade abaixo de 20 ohm.m dentro da zona saturada foram interpretados como uma pluma de contaminação. Essa interpretação está de acordo com os dados de poços de monitoramento ao redor do aterro, que identificaram um aumento da concentração de íons cloreto no local (Ustra, 2008). A influência dos resíduos também pode ser observada, como era esperado, uma vez que parte do levantamento foi conduzido nas “bordas” do aterro.

O experimento da variação da concentração de chorume mostra que, as amostras apresentaram comportamento semelhante, com valores de resistividade menores que os da primeira medição (0% de chorume). Esse efeito pode ser devido a deposição dos sais do chorume durante a percolação do fluido ou, como exposto por Giordano et al. (2011) em estudo sobre técnicas para tratamento de chorume, pelo aumento da permeabilidade do solo por uma desestruturação das partículas coloidais da argila, devido às altas concentrações de íons sódio e cloretos no chorume. As diferenças nas diminuições proporcionais observadas em cada profundidade podem ser devidas a diferenças de porosidade, cimentação e composição entre as amostras. Problemas na troca do fluido podem ter ocorrido, o que também explicaria as diferenças de resistividade observadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Processo 477330/2009-6) pelo financiamento da pesquisa. Os autores agradecem também ao Prof. Dr. Francisco Hiodo do IAG/USP pela ajuda na montagem do aparato experimental.

Referências

ESCOLA DE QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Microbiologia Industrial. Disponível em: http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Microbiol/eqb353_aula_05.pdf. Acesso em: 30/07/2012.

GEOTOMO SOFTWARE. 2001. RES2DINV ver 3.4, 50p.

GIORDANO G, BARBOSA FILHO O, CARVALHO RJ. 2011. Processos físico-químicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos. Tecnologias Ambientais - Volume 4, COAMB da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 178 p.

MINOZZO M, ELIS VR, USTRA AT, MISSAKI F. 2009. Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em uma área industrial contaminada em São Paulo – Brasil – resultados preliminares. Anais do XI Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. Salvador – BA, Brasil, 24-28 Agosto 2009

SALLES FAF. 1999. Avaliação de área contaminada por compostos orgânicos as margens da represa de Guarapiranga, no Município de São Paulo-SP. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 110p.

SAUCK W. 2000. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. Journal of Applied Geophysics, 44, 151-165.

USTRA AT. 2008. Utilização dos métodos Eletroresistividade 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. Dissertação de mestrado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 182p.