

IMAGEAMENTO ELÉTRICO 3D EM ÁREA CONTAMINADA POR HIDROCARBONETO NO POLO INDUSTRIAL DE CUBATÃO – SP

Marcus Paulus Martins Baessa¹, Andresa Oliva² e Chang Hung Kiang³

Recebido em 8 janeiro, 2008 / Aceito em 29 novembro, 2009
Received on January 8, 2008 / Accepted on November 29, 2009

ABSTRACT. This work presents the results of geophysical surveys performed over an oil contaminated site in the Polo Industrial de Cubatão – São Paulo. The aim is to characterize geoelectrical signatures associated to hydrocarbon presence in order to delimit and calculate the volume of the contaminated area. For this study were used Vertical Electrical Sounding (VES) and 3D Electrical Imaging for characterization of geology and geoelectrical response of the contaminant. The results showed that the hydrocarbon presence is associated to conductive anomalies due to products from biodegradation. The conductive anomalies are disseminated over the area, totalizing 1365.3 m³ volume. This volume, however, corresponds only to the residual phase contaminants, since it was not possible to map free-phase hydrocarbons.

Keywords: applied geophysics, 3D Electrical Imaging, hydrocarbon biodegradation, conductive anomalies.

RESUMO. Este trabalho mostra os resultados obtidos com ensaios geofísicos realizados em uma área contaminada por hidrocarboneto no Polo Industrial de Cubatão – São Paulo, com objetivo de caracterizar as anomalias geoeletricas associadas à presença dos hidrocarbonetos, bem como delimitar e calcular tais anomalias. Para tanto, utilizou-se o método da eletrorresistividade, por meio das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Imageamento Elétrico 3D. Os resultados obtidos permitem indicar que a presença de hidrocarboneto está associada a anomalias condutivas devido aos produtos da biodegradação. As anomalias condutivas ocorrem de forma disseminada na área, totalizando um volume de 1365,3 m³; entretanto, este volume corresponde somente à presença de contaminante em fase residual.

Palavras-chave: geofísica aplicada, Imageamento Elétrico 3D, biodegradação de hidrocarbonetos, anomalias condutivas.

¹Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, CENPES, Av. Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-915 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tel.: (21) 3865-6662; Fax: (21) 3865-6973 – E-mail: marcus.baessa@petrobras.br

²Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Rio Claro, Av. 24 A, 1515, 13506-900 Rio Claro, SP, Brasil. Tel./Fax: (19) 3532-5119 – E-mail: aoliva@rc.unesp.br

³Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Rio Claro, Av. 24 A, 1515, 13506-900 Rio Claro, SP, Brasil. Tel./Fax: (19) 3532-5119 – E-mail: chang@rc.unesp.br

INTRODUÇÃO

No Brasil, e principalmente em São Paulo, devido às atividades do Polo Industrial de Cubatão, a conscientização da sociedade pelos problemas ambientais teve início nas décadas de 70 e 80, com a criação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), em 1976, e o estabelecimento do “Programa Cubatão de Fontes Poluidoras”, em 1983. Este programa foi realizado com apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BIRD), visando à redução do controle de emissões e ao estudo das principais fontes contaminantes no Polo Industrial de Cubatão.

Desde o lançamento do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo pela CETESB, em 2001, os órgãos ambientais vêm solicitando que as empresas realizem investigações ambientais em suas áreas de instalação, visando diagnosticar a presença ou não de contaminantes no solo e nas águas subterrâneas.

Devido aos altos custos dos métodos diretos, principalmente das análises químicas, cada vez mais vêm sendo aplicados métodos indiretos de investigação, principalmente os métodos de eletrorresistividade e GPR (*Ground Penetration Radar*) para esse tipo de diagnóstico. Os resultados da interpretação dos dados geofísicos, associados ao conceitual preliminar e aos dados históricos da área, podem direcionar as etapas de instalação de poços de monitoramento e amostragem de solo, minimizando os trabalhos de investigação direta e, conseqüentemente, os custos.

Para investigação da área contaminada situada no Polo Industrial de Cubatão, além da identificação de poços de monitoramento com presença de fase livre, foi utilizado o método da eletrorresistividade, por meio das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e de Imageamento Elétrico 3D.

A execução das SEVs prestou-se à identificação da variação vertical de resistividade, gerando um modelo geoeletrico da área, e à análise da resposta geoeletrica do contaminante. Posteriormente, com base nos resultados das SEVs, utilizou-se o modelo “geoeletrico condutivo de pluma de *light non-aqueous phase liquids* (LNAPLs)”, estabelecido por Sauck (2000), para delimitar e cubar as anomalias por meio do Imageamento Elétrico 3D.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área situada no Polo Industrial de Cubatão, instalado na porção norte do município de Cubatão, na região sudeste do Estado de São Paulo, e dista 68 km da capital do Estado (Fig. 1).

O Polo Industrial de Cubatão está situado em região que compreende um relevo de transição entre o Planalto Atlântico e a Baixada Santista, representados respectivamente pela Serra de Cubatão e por uma planície com complexa rede de drenagens da bacia hidrográfica do Rio Cubatão (Augusto Filho et al., 1988).

Quanto ao contexto geológico da região onde se encontra o Polo Industrial de Cubatão, é caracterizado basicamente por:

- Complexo Costeiro – constituído por migmatitos, gnaisses graníticos porfiroblásticos, biotita-gnaisses e gnaisses peraluminosos (Rodríguez, 1998), que compõem a região serrana;
- Planície Costeira de Santos – formada essencialmente por depósitos quaternários marinhos ou flúvio-lagunares, sotopostos a depósitos de mangues e aluviões atuais (FUNDUNESP, 2000);
- Depósitos Detríticos de Encosta (*Debris Flows*) – constituídos por lama, areia, seixos e blocos provenientes do intenso e longo processo de erosão diferencial que acumulou, ao longo do tempo, grandes volumes de detritos nas encostas e no sopé da Serra do Mar (FUNDUNESP, 2000).

Com base em perfis de sondagens, pode-se dizer que a constituição da área é heterogênea, sendo composta por uma camada superior de aterro, em grande parte da área. Esta camada se sobrepõe a sedimentos fluviais, compostos por depósitos areno-argilosos, com seixos de tamanhos variados, e silto-argilosos, típicos de planície de inundação (Baessa, 2007).

METODOLOGIA

Com o intuito de analisar as variações verticais da resistividade, características hidrogeológicas e litológicas, e, principalmente, a resposta geoeletrica do meio contaminado por hidrocarboneto, foi utilizado o método da eletrorresistividade, aplicando-se as técnicas de SEV e Imageamento Elétrico 3D. O aparelho utilizado nos levantamentos de campo foi um resistivímetro Modelo *Super Sting R8/IP + 28*, da empresa Advanced Geoscience Inc. (USA). No Imageamento Elétrico 3D utilizou-se o sistema multieletrodo com 56 eletrodos.

Para o levantamento geofísico com a técnica de SEV foi utilizado o arranjo *Schlumberger*, com espaçamento máximo AB/2 de 100 m, o que permitiu investigar uma profundidade teórica de até 50m. A configuração eletródica *Schlumberger* consiste basicamente de quatro eletrodos cravados na superfície do terreno.

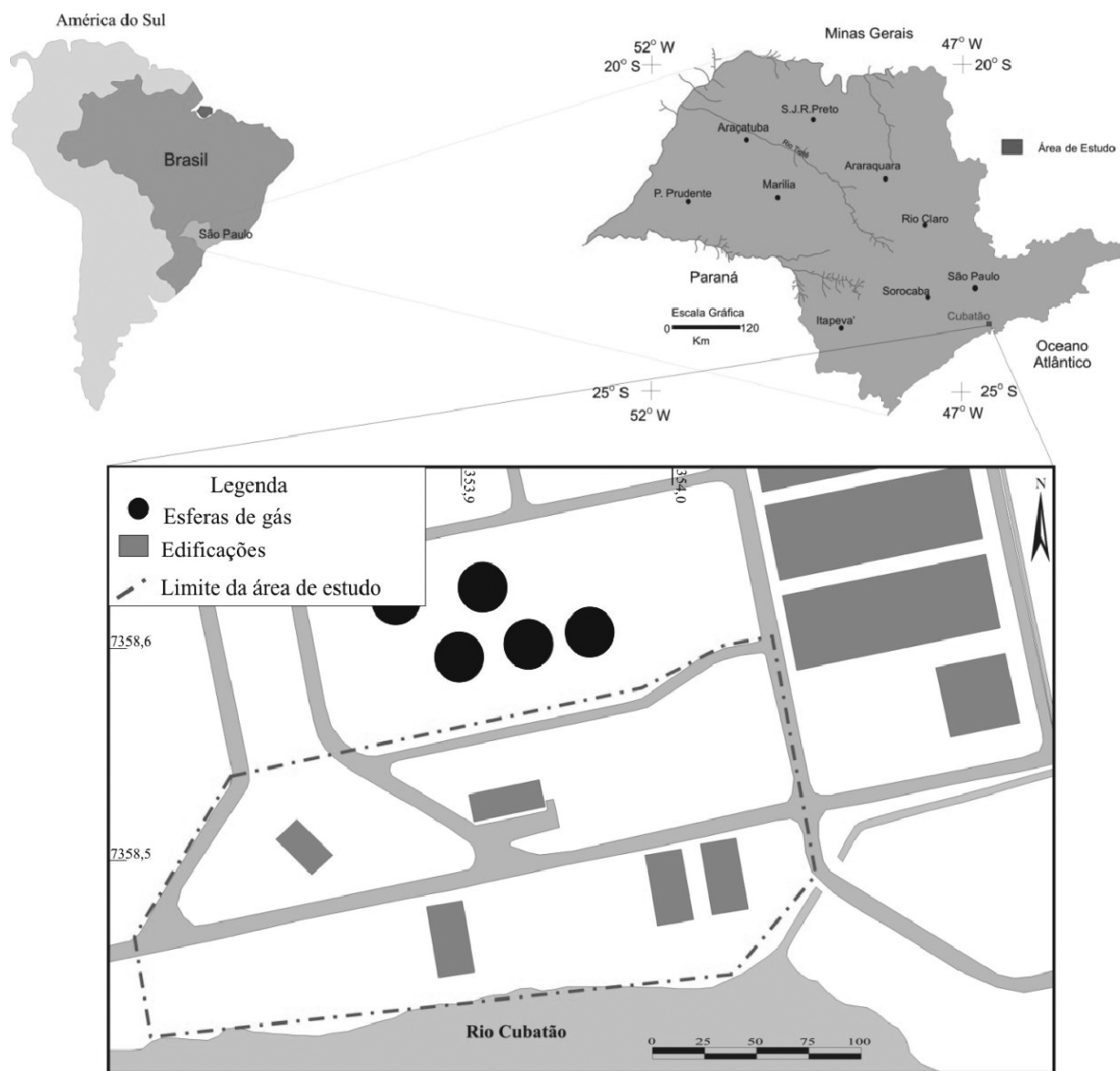


Figura 1 – Planta de localização da área de estudo.

Dois desses eletrodos (A e B) têm a função de gerar corrente elétrica no terreno, enquanto o outro par é utilizado para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles (eletrodos M e N). Para aumentar a profundidade de investigação, separam-se os eletrodos A e B progressivamente e simetricamente ao centro O (Fig. 2). Este arranjo foi escolhido levando-se em consideração dois aspectos: a praticidade em campo e a boa resolução nas heterogeneidades verticais (Braga, 2006).

Os dados de resistividade aparente obtidos no campo foram representados por meio de uma curva bilogarítmica (resistividade

$\times AB/2$), da qual se obteve um modelo geoeétrico inicial. A partir deste modelo procedeu-se à inversão dos dados de resistividade aparente, com base no método dos mínimos quadrados simples (Inman, 1975), utilizando-se o *software EarthImager 1D*, versão 1.0.1 (2006), da Advanced Geoscience Inc. (USA).

O Imageamento Elétrico 3D contempla investigações da variabilidade de resistividade em subsuperfície, tanto na direção horizontal como na vertical, de forma automatizada e previamente programada, utilizando um grande número de eletrodos com espaçamento normalmente constante, conectados a um cabo

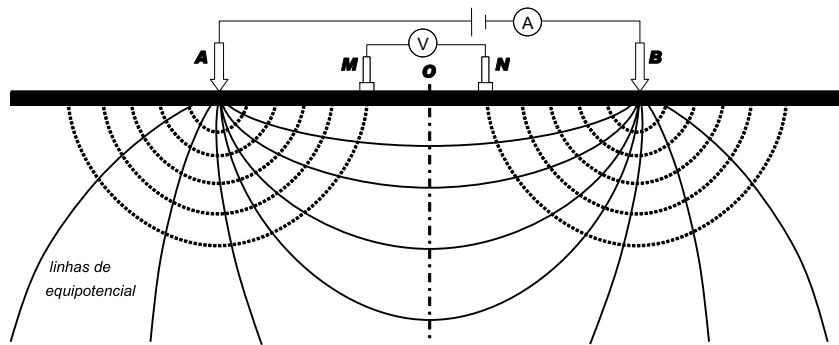


Figura 2 – Esquema de campo para o arranjo *Schlumberger* (Braga, 2006).

multieletrodo e este a uma unidade eletrônica (*switch box*) e ao resistímetro (Fig. 3).

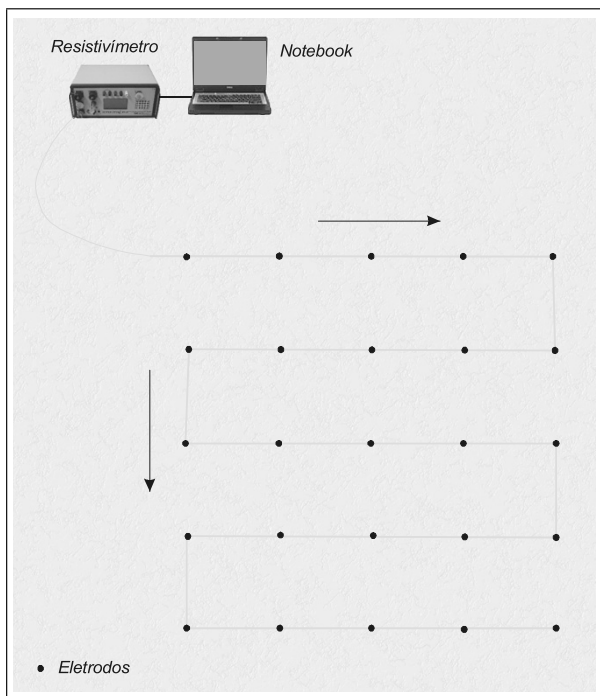


Figura 3 – Esquema de aquisição de imageamento 3D.

Para a aquisição de dados, gerou-se um arquivo com o tipo de arranjo, espaçamento dos eletrodos, sequência de medidas e outros parâmetros em um programa computacional apropriado, utilizado no campo. O *software* de aquisição de dados analisa este arquivo gerado e verifica automaticamente o contato dos eletrodos antes de iniciar a leitura.

O espaçamento entre os eletrodos na aquisição 3D foi de 5 m, totalizando uma área de 1950 m² e investigando profundidade de aproximadamente 13 m. Na aquisição de campo utilizou-se a técnica de *roll-along* e o arranjo Dipolo-Dipolo, escolhido devido à boa resolução horizontal e à boa cobertura dos dados.

De acordo com Gandolfo & Gallas (2005), um ensaio 3D com 25 eletrodos, sem a utilização de um sistema multieletrodo automatizado, despende aproximadamente 3,5 horas, enquanto neste trabalho, com 112 eletrodos, despendeu-se aproximadamente 1 hora.

Para o processamento dos dados foi utilizado o programa *EarthImager 3D*, versão 1.3.5 (2006), produzido pela Advanced Geoscience Inc. (USA). Inicialmente procedeu-se uma filtragem dos dados, com o objetivo de remover as leituras anômalas de resistividade aparente da pseudoseção, considerando-se a geologia local e as possíveis contaminações.

Após a filtragem iniciou-se o processo de inversão que utilizou soluções obtidas por meio de equações diferenciais, vinculadas ao método de inversão conhecido como "*smoothness constrained*" ou "*Occam's inversion*", que tem a função de gerar um modelo suavizado a partir do ajuste dos dados de campo.

A Figura 4 ilustra a localização do levantamento geofísico e dos poços de monitoramento existentes na área de estudo. Foram executadas 4 SEVs e 1 Imageamento Elétrico 3D.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da análise morfológica das curvas de campo e da inversão dos dados, gerou-se um modelo geoeletrico final da área (Tab. 1), caracterizado por duas zonas: não-saturada, referente à porção localizada acima do nível d'água, e saturada, referindo-se à porção localizada abaixo do nível d'água, na qual o substrato geológico encontra-se totalmente saturado.

Para a zona não-saturada (sedimentos indiferenciados), os valores de resistividade obtidos apresentam uma ampla gama de variação (7,5 a 350,0 ohm.m), típica de sedimentos desta zona, não sendo possível caracterizar estes materiais em termos litológicos. Entretanto, os níveis geoeletricos com resistividades menores que 30 ohm.m possivelmente refletem anomalias con-

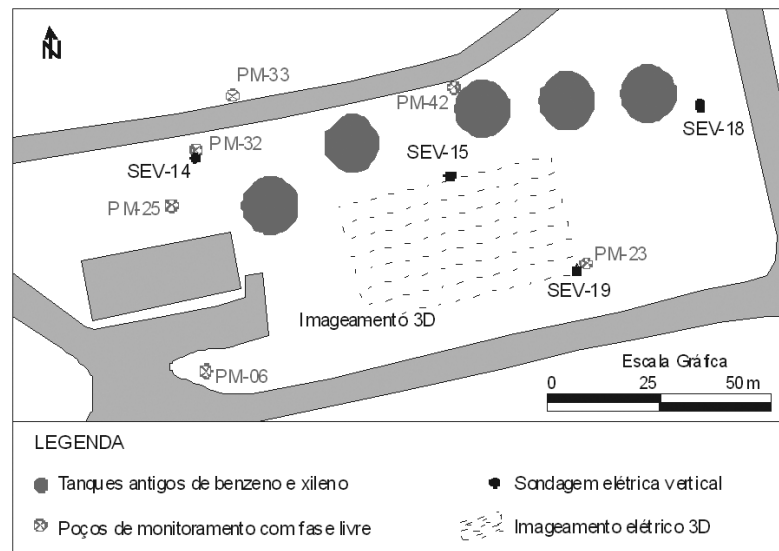


Figura 4 – Planta de localização dos ensaios geofísicos (SEVs e Imageamento Elétrico 3D) e dos poços de monitoramento.

duativas associadas à contaminação por hidrocarboneto, uma vez que as SEVs 14 e 19, que foram executadas ao lado dos poços PM-32 e 23 que possuem fase livre, apresentaram anomalias condutivas com valores de resistividade inferiores ou iguais a 30 ohm.m.

Vale notar que, tanto os valores de resistividade quanto espessura destas anomalias condutivas não correspondem à fase livre propriamente dita, mas aos subprodutos das reações de oxidação e da biodegradação do hidrocarboneto aprisionado nos poros do sedimento, logo acima da fase livre, devido ao movimento ascendente e descendente do nível d'água (NA). Este movimento em aquíferos livres está diretamente relacionado à precipitação pluviométrica e cria ótimas condições para ação microbológica aeróbica, devido à entrada ocasional de oxigênio carregado pela água de chuvas. A colonização das bactérias provavelmente ocorre nos substratos sólidos, no contato entre o hidrocarboneto e o poro aerado, e não dentro da fase livre, o qual geralmente é tóxico para as bactérias.

Para a zona saturada, os diferentes níveis geoeletricos obtidos foram agrupados em termos de litologia. A partir da correlação dos níveis geoeletricos com a geologia local, identificaram-se as seguintes eletrofácies predominantes: argilosa; argilo-arenosa; areno-argilosa e arenosa (Tab. 1).

Com intuito de abranger uma área maior, para identificar as eletrofácies e cubar as anomalias condutivas associadas à presença de contaminantes oriundos de vazamentos em tanques de benzeno e xileno ocorridos na década de 90, foi realizado o Imageamento Elétrico 3D. No entanto, não foi possível a cober-

tura/imageamento de toda a área onde os tanques estavam dispostos, devido à existência de interferentes locais, ou seja, a presença de uma espessa base de concreto onde os tanques estavam dispostos. (Fig. 4).

Tabela 1 – Modelo geoeletrico final na área de estudo.

Zona	Eletrofácies	Resistividade (ohm.m)
Não-saturada	Sedimentos superficiais	7,5 a 350,0
Saturada	Argilosa	$\rho \leq 30$
	Argilo-Arenosa	$31 < \rho < 40$
	Areno-Argilosa	$41 < \rho < 60$
	Arenosa	$61 < \rho < 300$

Os altos valores de resistividade (>300 ohm.m) presentes nas eletrofácies arenosas, observados nas Figuras 5a e 5b, estão relacionados ao aterro com presença de blocos ou restos de construções, como fundações que existiam na área, enquanto que os valores menores ou iguais a 30 ohm.m relacionam-se a porções sob intensa biodegradação de hidrocarbonetos. Estes resultados foram confirmados a partir dos dados obtidos por meio de sondagens mecânicas.

As anomalias condutivas presentes na área ficam evidenciadas na Figura 5c, onde pode-se visualizar sua distribuição espacial, que ocorre de forma disseminada na área, sem continuidade lateral. O volume total das anomalias condutivas na área estudada é de 1365,3 m³.

As anomalias condutivas presentes na zona não-saturada ocorrem preferencialmente entre 4 m e 5 m de profundidade, ou seja, na interface zona não saturada/saturada (Fig. 6).

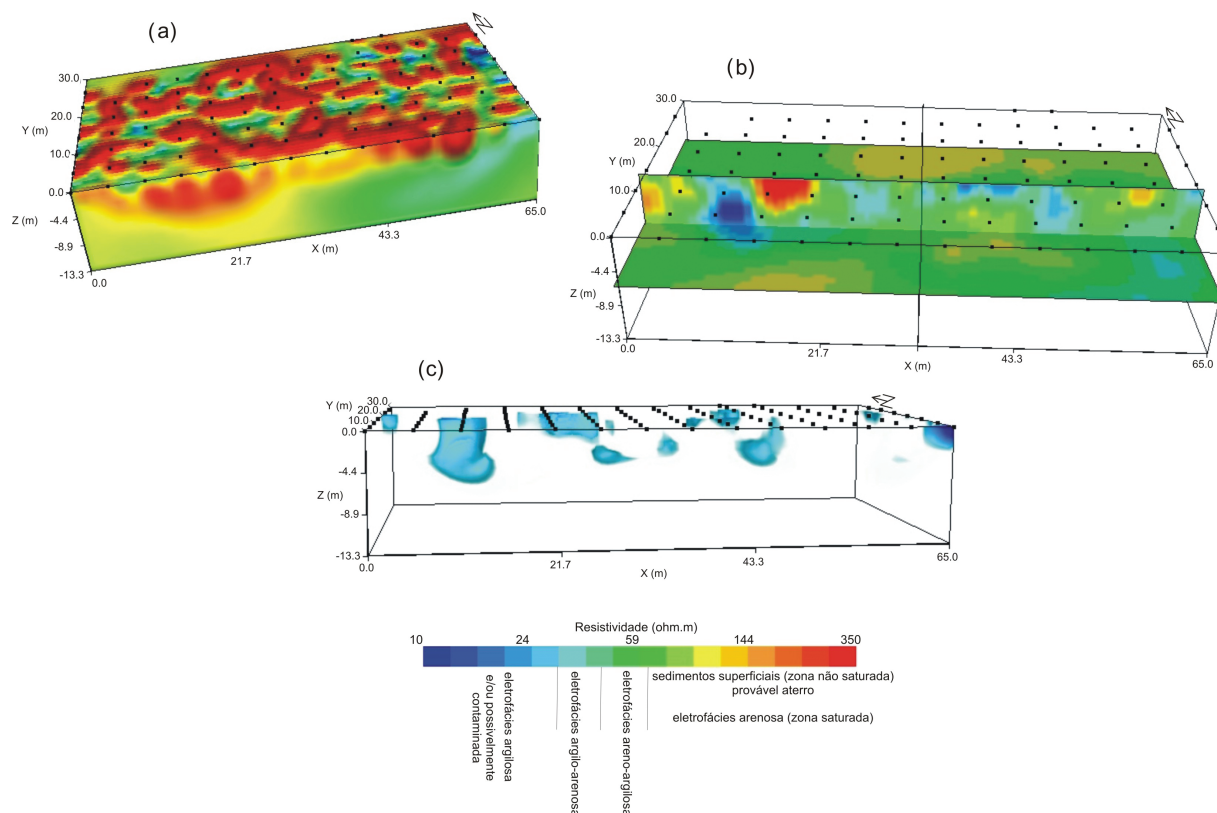


Figura 5 – Resultados do imageamento 3D. (a) Bloco do Imageamento Elétrico 3D; (b) slices vertical e horizontal e (c) delimitação das anomalias condutivas.

Na zona saturada, a partir de 6 m de profundidade, predominam valores de resistividade característicos da eletrofácies arenosa; porém, é possível observar valores referentes à eletrofácies areno-argilosa, mas que podem refletir a influência de sólidos totais dissolvidos, oriundos da biodegradação dos hidrocarbonetos detectados por meio das anomalias condutivas (Fig. 7).

Os resultados obtidos corroboram o modelo geoeletrico condutivo de pluma de LNAPLs (*light non-aqueous phase liquids*) desenvolvido por Sauck (2000), sendo apoiado por diversos estudos em laboratório e em campo (Atekwana et al., 2000, 2001, 2004a, 2004b; Cassidy et al., 2001; Legall, 2002; Werkema Jr, 2002; Abdel Aal et al., 2003, 2006; Shevnev et al., 2003, 2006; Werkema Jr et al., 2003, 2006; Davis et al., 2006), tendo sido possível verificar correlação entre as anomalias geofísicas condutivas e as áreas impactadas por hidrocarboneto.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pelas SEVs, associados aos dados de poços de monitoramento com presença de fase livre, permitiram concluir que as anomalias geoeletricas associadas à contaminação por hidrocarboneto são condutivas.

Tendo em vista que o hidrocarboneto apresenta alta resistividade elétrica, ($\sim 10^4$ a 10^5 ohm.m) (Werkema Jr, 2002; Bradford, 2003), a passagem do caráter de resistivo para condutivo, deve-se aos produtos gerados pela biodegradação, já que os microrganismos capazes de degradar os hidrocarbonetos impregnados nos sedimentos atuam de forma intensa, ocasionando aumento da condutividade do meio pela produção de biofilmes e surfactantes, além de ácidos orgânicos. Esta redução da condutividade ocorre principalmente logo acima do nível d'água subterrâneo (NA), onde a espessura de hidrocarboneto (fase livre) é movimentada pela variação do NA. Por conseguinte, o hidrocarboneto permanece aprisionado nos poros dos sedimentos logo acima deste nível.

Com base nos resultados do imageamento 3D, verifica-se que a anomalia condutiva associada à contaminação ocorre de forma disseminada na área, sem continuidade lateral, totalizando volume de $1365,3 \text{ m}^3$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES, particu-

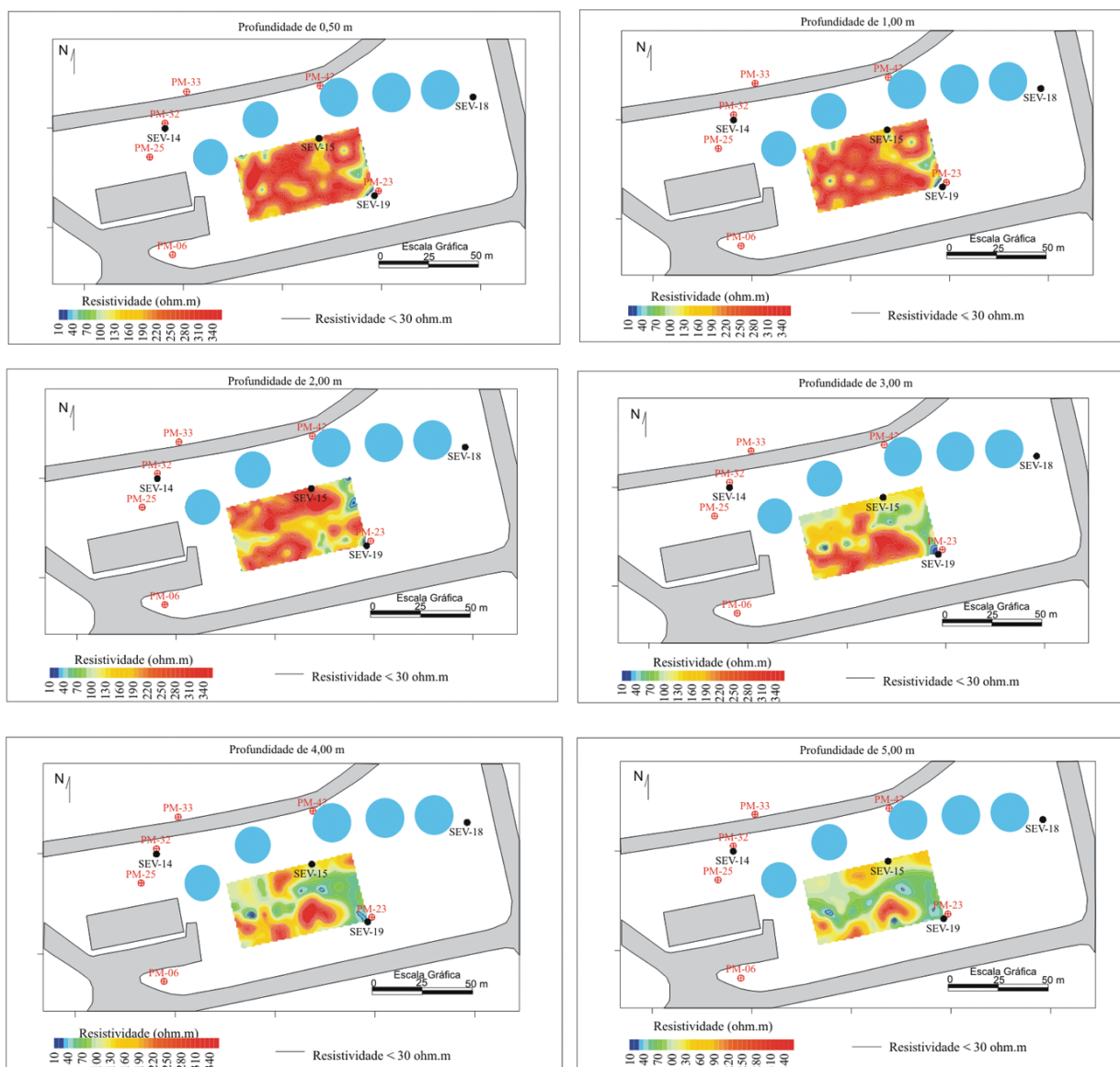


Figura 6 – Mapas de resistividades da zona não-saturada, obtidos por meio do Imageamento Elétrico 3D.

larmente à Gerência de Biotecnologia e Tratamentos Ambientais do CENPES/PETROBRAS, por prover recursos financeiros para a execução deste trabalho e ao Laboratório de Estudo de Bacias – IGCE/UNESP – Rio Claro, pelo apoio técnico e por ceder os equipamentos de geofísica necessários para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

ABDEL AAL GZ, SLATER LD & ATEKWANA EA. 2003. Induced polarization (IP) measurements of soils from an aged hydrocarbon contaminated site. In: Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and

Environmental, 2003. Environmental & Engineering Geophysical Society, 2003. p. 190–201. CD-ROM.

ABDEL AAL GZ, SLATER LD & ATEKWANA EA. 2006. Induced-polarization measurements on unconsolidated sediments from a site of active hydrocarbon biodegradation. *Geophysics*, 71(2): H13–H24.

ATEKWANA EA, SAUCK WA & WERKEMA JR DD. 2000. Investigations of geoelectrical signatures at a hydrocarbon contaminated site. *Journal of Applied Geophysics*, 44: 167–180.

ATEKWANA EA, CASSIDY DP, MAGNUSON C, ENDRES AL, WERKEMA JR DD & SAUCK WA. 2001. Changes in geoelectrical properties accompanying microbial degradation of LNAPL. In: Symposium on the Appli-

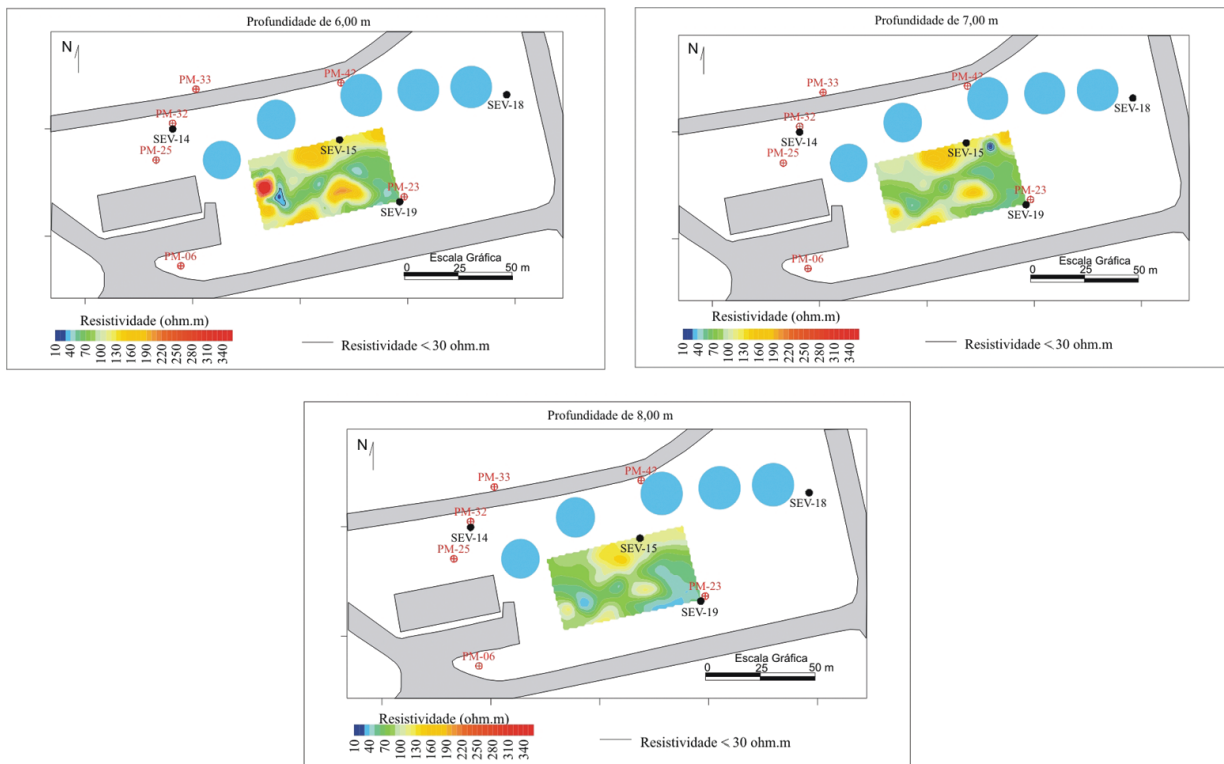


Figura 7 – Mapas de resistividades da zona saturada, obtidos por meio do Imageamento Elétrico 3D.

cation of Geophysics to Engineering and Environmental, 2001. Environmental & Engineering Geophysical Society, 2001. p. 1–10. CD-ROM.

ATEKWANA EA, ATEKWANA EA, LEGALL FD & KRISHNAMURTHY RV. 2004a. Field evidence for geophysical detection of subsurface zones of enhanced microbial activity. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, L23603, doi: 10.1029/2004GL021576.

ATEKWANA EA, ATEKWANA EA, ROWE RS, WERKEMA JR DD & LEGALL FD. 2004b. The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon. *Journal of Applied Geophysics*, 56: 281–294.

AUGUSTO FILHO O, MACEDO ES, CERRI LES & OGURA AT. 1988. Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande. In: *Seminário de Integração Técnica sobre a Poluição e a Serra do Mar, 1988*, São Paulo. Anais... São Paulo: CETESB, 1988. p. 69–75.

BAESSA MPM. 2007. Assinaturas geoeletricas em área contaminada por hidrocarboneto no Polo Industrial de Cubatão – SP. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 89 p.

BRADFORD JH. 2003. GPR Offset dependent reflectivity analysis for characterization of a high-conductivity LNAPL plume. In: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental*

Problems. *Proceedings... Environmental & Engineering Geophysical Society*, 2003. p. 238–252. CD-ROM.

BRAGA ACO. 2006. Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. 2006. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 121 p.

CASSIDY DP, WERKEMA JR DD, SAUCK WA, ATEKWANA EA, ROSSBACH S & DURIS J. 2001. The effects of LNAPL biodegradation products on electrical conductivity measurements. *Journal of Environmental & Engineering Geophysical*, 6(1): 47–52.

DAVIS CA, ATEKWANA EA, ATEKWANA EA, SLATER LD, ROSSBACH S & MORMILE MR. 2006. Microbial growth and biofilm formation in geologic media is detected with complex conductivity measurements. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L18403, doi: 10.1029/2006GL027312.

FUNDUNESP – Fundação para Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista. 2000. Diagnóstico ambiental do lençol freático da Refinaria Presidente Bernardes – RPBC – Cubatão – SP. (Relatório de Pesquisa) Rio Claro: UNESP, 86 p.

GANDOLFO OCB & GALLAS JDF. 2005. Eletrorresistividade 3D – Uma avaliação preliminar da técnica. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2): 191–198.

- INMAN RJ. 1975. Resistivity inversion with ridge regression. *Geophysics*, 40(5): 798–817.
- LEGALL FD. 2002. Geochemical and isotopic characteristics associated with high conductivities in a shallow hydrocarbon-contaminated aquifer. Tese (Doutorado) – Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan, 85 p.
- RODRIGUEZ SK. 1998. Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 171 p.
- SAUCK WA. 2000. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *Journal of Applied Geophysics*, 44: 151–165.
- SHEVNIN V, MOUSATOV A, NAKAMURA-LABASTIDA E, DELGADO-RODRIGUEZ O, MEJIA-AGUILAR A, SANCHEZ-OSIO J & SANCHEZ-OSIO H. 2003. Study of oil pollution in airports with resistivity sounding. In: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental*, 2003. Environmental & Engineering Geophysical Society, 2003. p. 180–189. CD-ROM.
- SHEVNIN V, DELGADO-RODRIGUEZ O, MOUSATOV A & RYJOV A. 2006. Estimation of soil superficial conductivity in a zone of mature oil contamination using DC resistivity. In: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental*, 2006. Environmental & Engineering Geophysical Society, 2006. CD-ROM.
- WERKEMA JR DD. 2002. Geoelectrical Response of an Aged LNAPL Plume: Implications for Monitoring Natural Attenuation. Tese (Doutorado). Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan. 136 p.
- WERKEMA JR DD, ATEKWANA EA, ENDRES AL, SAUCK WA & CASIDY DP. 2003. Investigating the Geoelectrical Response of Hydrocarbon Contamination Undergoing Biodegradation. *Geophysical Research Letters*, 30(12): 1647, doi: 10.1029/2003GL017346.
- WERKEMA JR DD, ATEKWANA EA & ATEKWANA EA. 2006. Conductivity profile rate of change from field and laboratory data within biodegradation petroleum hydrocarbon. In: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental*, 2006. Environmental & Engineering Geophysical Society, 2006. CD-ROM.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Marcus Paulus Martins Baessa. Bacharel em Geologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em 2001; Mestre em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), em 2007. Atualmente exerce a função de Geofísico Pleno na Gerência de Biotecnologia e Tratamentos Ambientais do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS). Áreas de interesse: Geofísica aplicada a estudos ambientais e hidrogeologia, diagnóstico e remediação de áreas impactadas e hidrogeoquímica.

Andresa Oliva. Bacharel em Geologia pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) em 1999. Mestre em Geociências e Meio Ambiente pela UNESP em 2002. Doutora na área de Geociências e Meio Ambiente pela UNESP em 2006, com aplicação de métodos geofísicos à hidrogeologia. Atualmente exerce a função Pesquisadora no Laboratório de Estudos de Bacias – LEBAC. Áreas de interesse: Geofísica aplicada a estudos ambientais e hidrogeologia.

Chang Hung Kiang. Bacharel em Geologia pela Universidade de São Paulo (USP), em 1974; Doutor em Geologia pela Northwestern University, em 1983 e Livre Docente pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), em 1997. Atualmente exerce a função de Professor Adjunto e de coordenador do Laboratório de Estudos de Bacias – LEBAC. Áreas de interesse: Gestão de recursos hídricos, diagnóstico e remediação de áreas impactadas, monitoramento e automação na aquisição de parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos em águas subterrâneas.