



Campo de testes da UFPA para medidas geofísicas

Jerry Williamis Lima Alves, CPGf/UFPA, José Gouvêa Luiz, CPGf/UFPA e Alberto Leandro de Melo, FAGEOF/UFPA

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

We describe the results obtained during the implementation of the Federal University of Pará test site for geophysical measurements. The work was done in three stages. In the first stage, preliminary studies were accomplished to know the physical background of the area. In the second, artifacts were buried to simulate geophysical anomalies in the measurements. In the third one, new measures were performed to detect anomalies caused by the buried artifacts. The buried artifacts are metal pipes, metal drums, and plastic drums. The measures implemented in the first and third stages involved the magnetic, ground penetrating radar, electrical resistivity, and inductive electromagnetic methods.

Introdução

Um campo de teste para geofísica consiste de uma área onde estão enterrados artefatos bem localizados, com a finalidade de possibilitar o treinamento de alunos em executar a aquisição de dados dos métodos geofísicos e testar equipamentos e esquemas de interpretação, uma vez que as propriedades físicas e geológicas da área e dos materiais enterrados serão bem conhecidas. Os materiais enterrados devem simular as fontes causadoras das distorções dos campos físicos, visando uma representação real dos objetos de estudo da Geofísica de Prospecção.

Os registros existentes sobre áreas de testes controlados de geofísica mostram que sua presença é constante em alguns países. Por exemplo, na França existe um sítio construído pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées para estudos de tomografias sísmicas e GPR (Grandjean et al., 2000); em Illinois nos Estados Unidos, foi criado um sítio controlado para Arqueologia, o Controlled Archaeological Test Site, possibilitando o treinamento de militares em técnicas geofísicas (Isaacson et al., 1999); o IAG da Universidade de São Paulo (USP) inaugurou a primeira área de testes controlados de Geofísica no Brasil para simulação de um contexto geológico-urbano permitindo a aquisição de dados pelos métodos magnético, elétrico, sísmico e GPR e eletromagnético indutivo de baixa frequência (Mendonça et al., 1999; Borges, 2007); em 2007, em Belém-PA, foi criado o campo de testes geofísicos FORAMB voltado a

aplicações ambientais e forenses da Geofísica (Costa, 2008; Silva, et al., 2008). O FORAMB consiste em um perfil de 13 m onde foram enterradas três caixas: uma caixa vazia representando um túnel de fuga ou área de soterramento, outra caixa contendo metais para representar armamentos e uma caixa contendo um cadáver humano cedido pelos órgãos competentes para estudo.

Neste trabalho, será descrita a instalação do campo de testes para geofísica da Faculdade de Geofísica da Universidade Federal do Pará (UFPA), mostrando suas várias etapas desde a construção até os resultados obtidos antes e após a colocação de artefatos na área.

Campo de testes da UFPA

O Campo de Testes da Faculdade de Geofísica da UFPA foi construído no interior do campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localizado ao lado da Cidade Universitária Prof. José da Silveira Neto da UFPA, em Belém, no bairro da Terra Firme (Figura 1). O Campo encontra-se ao redor das coordenadas geográficas 1° 26' 59" Sul e 48° 26' 3,3" Oeste (LUIZ et al., 2007).

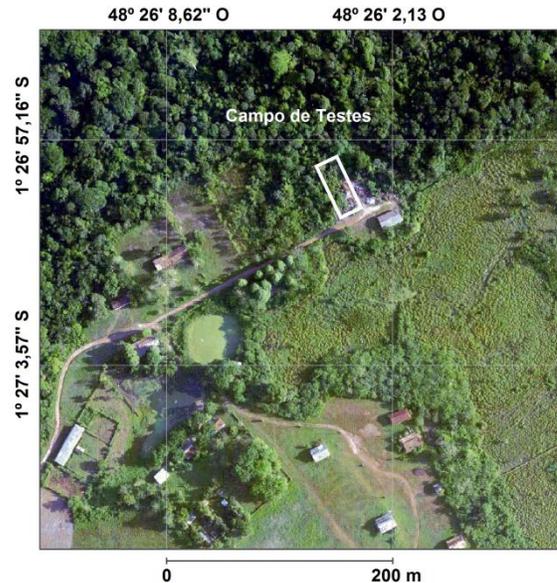


Figura 1 – Localização do Campo de Testes da UFPA.

O local para a instalação do Campo foi escolhido por não apresentar efeitos culturais causadores de anomalias magnéticas e eletromagnéticas como cercas, fios elétricos e tubulações, e por conter árvores, o que o torna similar ao ambiente onde se desenvolvem os trabalhos de prospecção geofísica (Figura 2). Antes a área servia de depósito de material inservível e lixo da UFRA. O Campo é atualmente constituído por seis perfis

espaçados de 4 m e de comprimento 50 m, totalizando uma área de 1200 m². Em cada perfil encontram-se piquetes de madeira, colocados a intervalos de 2 m para marcar a posição das estações de medidas (Figura 2).



Figura 2 – Vista do Campo de Testes da UFPA.

O Campo de Testes da UFPA teve sua construção iniciada em 2007, com a abertura de seis perfis de medidas espaçados de 4 m. Cada perfil tinha a extensão de 40 m e recebeu marcação a cada 2 m, para posicionar as estações de medida. Após a abertura dos perfis, foram executadas medidas geofísicas com os métodos magnético, eletromagnético indutivo, elétrico e radiométrico, visando obter os valores dos campos físicos no ambiente natural antes do enterramento dos materiais que iriam simular as fontes de anomalias. Os resultados dessa fase da construção do campo são relatados por Luiz et al. (2007) e por Moreira (2007). Posteriormente, devido a obras realizadas na área de acesso ao Campo de Testes, que destruíram os primeiros metros dos perfis, o campo foi reconstruído com a abertura de novos perfis sobre os antigos, porém cada um com extensão de 50 m.

A reconstrução do Campo de Teste se deu após a realização de três etapas. A primeira etapa consistiu na abertura de picadas (perfis) e aquisição de dados geofísicos para se conhecer o seu ambiente natural. A segunda etapa consistiu em enterrar artefatos para simular as fontes de anomalias geofísicas. A escolha dos objetos enterrados e locais onde estes objetos seriam colocados se deu em função da análise das respostas magnéticas, elétricas e eletromagnéticas obtidas após a execução da primeira etapa. Essa etapa ainda não está concluída, pois foi enterrada somente uma parte dos artefatos programados para enterramento no Campo de Testes. Na terceira etapa foram realizadas novas medições, a fim de localizar as distorções dos campos físicos criadas pelos artefatos já enterrados.

Artefatos enterrados

Na segunda etapa de construção do Campo de Testes foram enterrados dois tubos de ferro com 12 cm de diâmetro e 6 m de comprimento conectados entre si, perfazendo 12 m de comprimento (Figura 3A) e dois tubos de ferro com 12 cm de diâmetro e 6 m de comprimento, conectados entre si formando um “V” com 6 m em cada metade (Figura 3B). Também foram

enterrados dois tambores metálicos de 60 cm de diâmetro por 96 cm de comprimento, que foram conectados pelas bases (Figura 4A) e dois tambores de plástico medindo 60 cm de diâmetro por 96 cm de comprimento, também conectados pela base (Figura 4B). Os tubos de ferro foram enterrados a 0,20 m da superfície do terreno, enquanto os tambores foram enterrados a 0,30 m da superfície, todos na posição horizontal. A localização dos artefatos enterrados é mostrada na Figura 5.

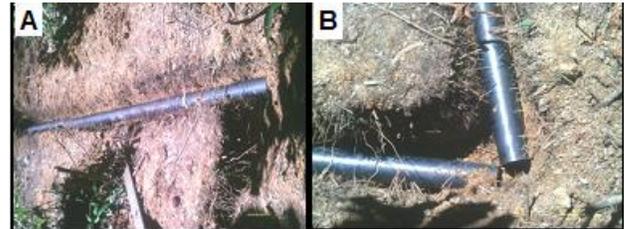


Figura 3 – Tubos metálicos enterrados no Campo de Testes. (A) Dois tubos conectados nas extremidades; (B) Dois tubos em “V”.

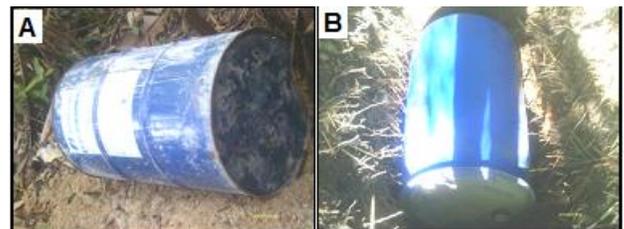


Figura 4 – Tambores enterrados no Campo de Testes. (A) Tambor metálico revestido com pintura; (B) Tambor plástico.

Medidas no Campo de Testes

Na primeira etapa (antes do enterramento dos artefatos) e na terceira etapa (após o enterramento) da reconstrução do Campo de Testes foram realizadas medidas com os métodos magnético, radar de penetração no solo (GPR), eletrossistividade (imageamento elétrico) e eletromagnético indutivo.

As medidas magnéticas e de resistividade foram realizadas a intervalos de 2 m antes do enterramento e a intervalos de 1 m após o enterramento. As medidas com o eletromagnético indutivo foram realizadas a intervalos de 2 m antes e após o enterramento.

Medidas magnéticas

As medidas magnéticas foram executadas com o magnetômetro G-856 da GEONICS, que mede o campo magnético total. Antes do enterramento, as medidas foram tomadas a cada 2 m ao longo dos perfis, com o sensor do magnetômetro a 1,2 m da superfície do terreno. Após o enterramento, antes de se realizarem as medidas nos perfis, foi realizado um teste no Perfil 2 com o sensor a 0,6 m e 1,2 m da superfície do terreno e medidas a cada 1 m (Figura 6). Na Figura é possível perceber que a amplitude do sinal aumenta quando o

sensor se encontra mais próximo do solo; no entanto, mesmo afastando o sensor do solo, pode-se observar que os valores medidos apresentam oscilações semelhantes, porém o perfil de medidas se torna mais suave.

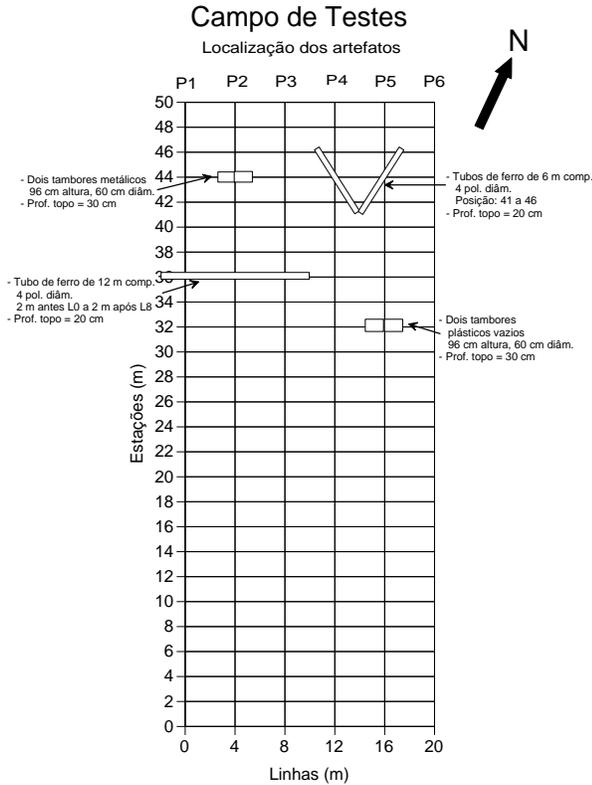


Figura 5 – Localização dos artefatos enterrados no Campo de Testes.

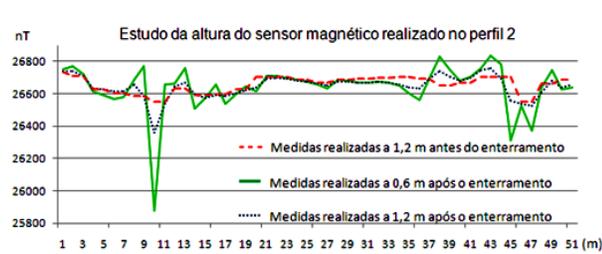


Figura 6 – Medidas magnéticas do teste realizado no Perfil 2.

Entre as posições 7 m e 11 m observa-se uma zona anômala nos perfis (principalmente no perfil com sensor a 0,6 m do solo) possivelmente causada por algum material que foi deixado no subsolo na época em que a área era usada como depósito de lixo, e cuja resposta não foi identificada nas medidas realizadas antes do enterramento por causa do espaçamento maior (2 m) entre as medidas.

A partir do teste realizado no Perfil 2 foi decidido executar as medidas com o sensor a 1,2 m, para minimizar as interferências causadas pelo lixo que ainda se encontra na área, usando o espaçamento de 1 m entre as medidas, por causa do pequeno diâmetro dos tubos metálicos enterrados.

Medidas com GPR

A aquisição de dados com GPR foi realizada com o instrumento SIR-3000 da GSSI com antena de 400 MHz e janela de 100 ns para as medidas realizadas antes do enterramento dos artefatos e janela de 30 ns para medidas após o enterramento. As medidas foram realizadas no modo tempo com o controle da distância obtido a partir da inserção de marcas no registro a intervalos de 2 m.

O processamento dos dados foi realizado com o software REFLEXW e envolveu as seguintes etapas: (a) redistribuição da amostragem, para obtenção de espaçamento uniforme entre as medidas; (b) filtro passa alta, para eliminar a saturação causada pelas ondas aéreas e diretas produzidas pelo equipamento; (c) aplicação de ganho, para compensar a atenuação do sinal; (d) estabelecimento do tempo zero, para estabelecer o nível zero de profundidade (superfície do terreno); (e) filtro passa faixa com frequências de corte igual a 200MHz e 800MHz; (f) remoção de background, para realçar os refletores localizados e inclinados; (g) filtro de média móvel, que elimina o ruído em traços individuais.

Medidas de resistividade

O levantamento de resistividade foi realizado com o resistivímetro modelo RD-1000 da GEOTEST, usando o arranjo dipolo-dipolo. As medidas realizadas antes do enterramento foram abandonadas por terem sido constatados erros nos valores obtidos e por elas terem sido realizadas somente nos primeiros 38 m de cada perfil, enquanto que os artefatos foram enterrados entre as posições 32 m e 46 m.

Para determinação do espaçamento entre os eletrodos de modo a se conseguir boa resolução na detecção dos artefatos, foi realizado um teste no Perfil 2 com eletrodos espaçados de 2m (Figura 7) e 1 m (Figura 8). Comparando os modelos mostrados nas figuras, observa-se que somente é possível identificar a presença do tubo metálico enterrado na posição 36 m e do tambor metálico na posição 44 m com o espaçamento de 1 m. Por esse motivo, foi escolhido o espaçamento de 1 m para a separação entre os eletrodos na execução das medidas, que foram realizadas somente entre as posições 25 m e 54 m ao longo dos perfis 1 a 5 (que são os perfis que cortam as posições de enterramento).

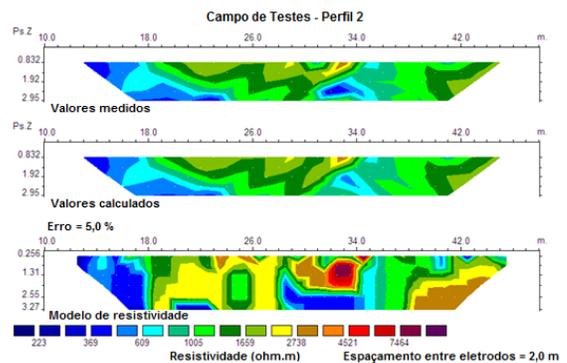


Figura 7 – Teste de medidas de resistividade no Perfil 2 com espaçamento de 2 m entre os eletrodos.

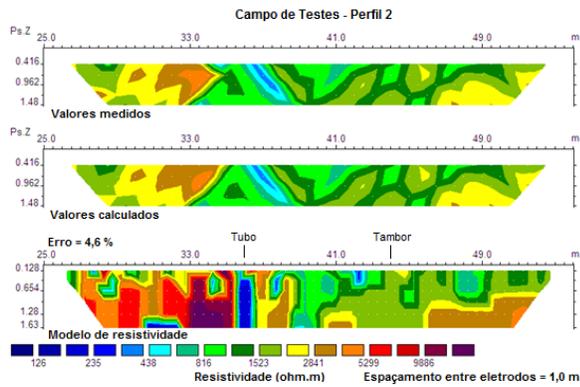


Figura 8 – Teste de medidas de resistividade no Perfil 2 com espaçamento de 1 m entre os eletrodos.

Medidas com eletromagnético indutivo

As medidas foram realizadas com o equipamento EM-34-3 da Geonics, que fornece valores de condutividade elétrica aparente. A separação entre as bobinas foi 10 m com as bobinas nas configurações coplanar horizontal (DMV – dipolo vertical) e coplanar vertical (DMH - dipolo horizontal). As medidas foram executadas antes e após o enterramento dos artefatos a intervalos de 2 m, ao longo de todos os seis perfis

Resultados

Medidas magnéticas

As medidas magnéticas estão representadas na forma de contornos de isovalores nas Figuras 9A (antes do enterramento) e 9B (após o enterramento). Nas figuras são mostradas apenas as medidas realizadas na região dos enterramentos.

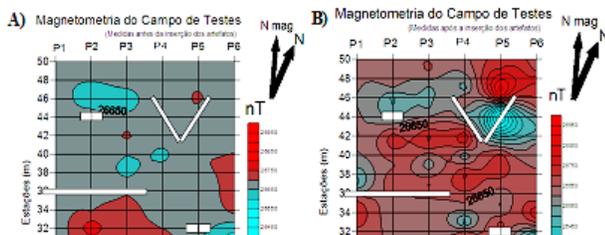


Figura 9 – Contornos do campo magnético na região do Campo de testes onde foram enterrados os artefatos. A) Antes do enterramento; B) Após o enterramento.

O tubo metálico de 12 m enterrado na posição 36 m e que corta os perfis 1 a 3 provocou anomalias entre as posições 34 m e 38 m próximas às suas extremidades. Essas anomalias são evidenciadas apenas nas extremidades do tubo devido a sua orientação ser perpendicular à direção do campo magnético terrestre (que é aproximadamente paralela aos perfis).

Os tambores metálicos enterrados a altura da estação 44 do perfil 2, provocaram um pequeno deslocamento de uma zona isolada de baixo valores do campo magnético.

Na região dos tambores de plástico (perfil 5, estação 32), notamos apenas uma pequena variação dos valores do campo magnético, pois, no caso dos tambores, por serem feitos de plástico, não produzem anomalias detectadas pelo magnetômetro.

Finalmente, a anomalia produzida pelo tubo em “V” (enterrado entre as posições 42 m e 46 m, perfis 4 e 5) foi a mais perceptível nos resultados; isso se deve ao fato dos tubos terem sido enterrados transversais aos perfis 4 e 5 e em direções não perpendiculares à direção do campo magnético terrestre (que é aproximadamente paralela aos perfis), o que torna mais visível a magnetização neles induzida pelo campo da Terra. Notamos também que nesta região os valores do campo magnético oscilaram significativamente em máximos e mínimos, caracterizando um dipolo magnético produzido pelo par de tubos.

Medidas com GPR

As Figuras 10A e 10B mostram detalhes do perfil 2 investigado com GPR antes e após a inserção do tubo metálico na posição 36 m e dos tambores metálicos na posição 44 m. Os dois artefatos provocaram, como se pode observar, o aparecimento das feições hiperbólicas destacadas nos registros.

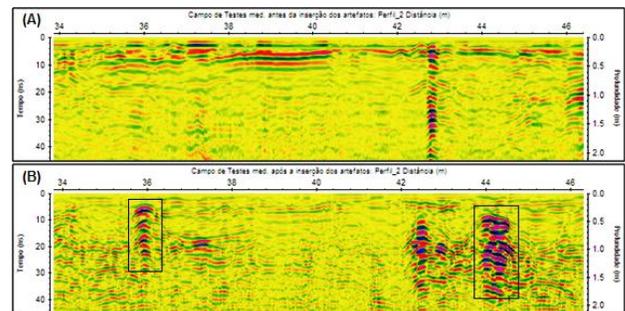


Figura 10 – Detalhes da imagem do Perfil 2 obtida com GPR. (A) Antes do enterramento; (B) Após o enterramento.

Os tubos plásticos enterrados na posição 32 m do perfil 5 também foram bem evidenciados pelo padrão hiperbólico (destacado na imagem) nos registros, quando se comparam as Figuras 11A (antes do enterramento) e 11B (após o enterramento).

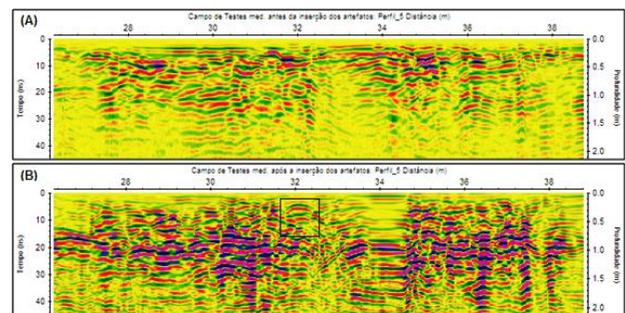


Figura 11 - Detalhes da imagem do Perfil 5 obtida com GPR. (A) Antes do enterramento; (B) Após o enterramento.

Medidas de resistividade

As medidas de resistividade realizadas no perfil 2 foram apresentadas na Figura 8, acima, que mostra na sua parte superior a pseudo-seção dos valores de resistividade aparente medidos e a pseudo-seção dos valores calculados (parte mediana da figura) para o modelo de distribuição de resistividade mostrado na sua parte inferior. No modelo de resistividade é possível visualizar os baixos valores de resistividade produzidos pela presença do tubo metálico (posição 36 m). Na posição 44 m, local onde foram enterrados os tambores metálicos, o modelo de resistividade também deveria apresentar baixos valores, porém isso não ocorre. Nesse local há um aumento na resistividade, o que parece ser contraditório. A explicação para isso é a camada de tinta, provavelmente resistente, que envolve o tambor metálico, criando uma região isolante, principalmente nos níveis mais rasos, e o ar nele contido.

A Figura 12 mostra as medidas de resistividade realizadas no perfil 5. Na posição 32 m o modelo de resistividade (parte inferior da figura) mostra o aumento nos valores causado pelos tambores plásticos aí enterrados; enquanto na posição 44 m o modelo exibe a diminuição dos valores causados pelo tubo metálico.

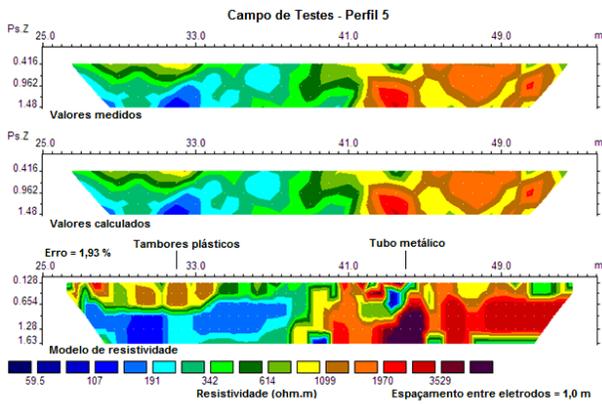


Figura 12 – Valores de resistividade obtidos no Perfil 5.

Medidas com eletromagnético indutivo

Os melhores resultados com o método eletromagnético indutivo foram obtidos com a configuração de bobinas coplanar horizontal. Isso provavelmente ocorreu porque o arranjo coplanar vertical é pouco sensível a variações laterais de condutividade, ao contrário do arranjo coplanar horizontal (McNeill, 1994).

Na Figura 13 estão representados os valores de condutividade medidos com o arranjo coplanar horizontal. A presença do tubo metálico de 12 m ao longo dos perfis 1, 2 e 3, posicionado na posição 36 m de cada perfil, produziu um ligeiro aumento na condutividade; o tambor metálico inserido no perfil 2 na posição 44 m também produziu um pequeno aumento na condutividade; o tubo em "V", situado nos perfis 4 e 5 entre as posições 42 m e 44 m, provocaram uma ligeira ampliação da região condutiva em direção à posição do artefato; e, por fim, no perfil 5, estação 32, nota-se uma diminuição na

condutividade em função da inserção do tambor de plástico contendo ar.

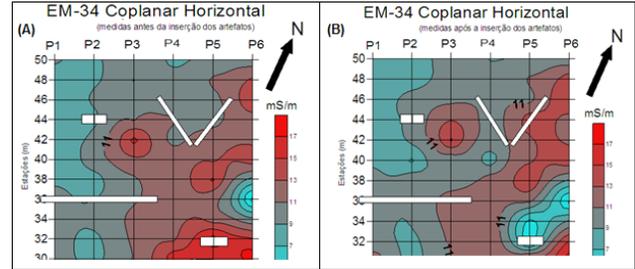


Figura 13 – Contornos de condutividade elétrica aparente na região do Campo de Testes onde estão enterrados os artefatos. (A) Antes do enterramento; (B) após o enterramento.

Conclusões

O método magnético apresentou resultados satisfatórios para a identificação dos artefatos, com destaque para os artefatos enterrados transversalmente aos perfis 4 e 5 (tubo metálico em "V") que apresentaram excelente visualização representada nos isocontornos, o que nos faz concluir que objetos pontuais ou de espessura muito pequena em comparação ao espaçamento entre estações, ou ainda enterrados perpendicularmente aos perfis do estudo, são modestamente detectáveis.

O método GPR foi o que apresentou o maior conjunto de informações sobre a área. Os resultados obtidos puderam mostrar informações tais como os níveis de profundidade, presença de objetos metálicos proveniente da zona de descarte, raízes de plantas e, principalmente, a presença dos artefatos enterrados.

Outro método que mostrou resultados bem satisfatórios foi a eletrorresistividade. A partir das imagens obtidas foi possível perceber com clareza a presença dos artefatos enterrados, principalmente, os metálicos. Deve ser ressaltado que só foi possível conseguir resultados interessantes quando o espaçamento entre os eletrodos foi reduzido para 1 m, melhorando a resolução das imagens.

O método eletromagnético indutivo EM-34 foi o que apresentou os piores resultados, sobretudo com o dipolo horizontal (arranjo coplanar vertical). A má resposta do método pode ter sido causada por os artefatos escolhidos não possuírem dimensão suficiente para gerar as anomalias desejadas. Isso provavelmente poderá ser resolvido usando equipamento com menor separação entre as bobinas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao técnico da UFPA Paulo Sérgio Pereira Magalhães pelo auxílio na construção do Campo de Testes e na coleta dos dados geofísicos.

Referências

Borges, W.R., 2007, caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. Tese de Doutorado em geofísica - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo, 250p.

Costa, A.A.S., 2008, Resistividade, potencial espontâneo e radiometria aplicados a investigação ambiental e forense no campo de testes do cemitério do Tapanã (Belém-PA). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém-Pa, 43 f.

Grandjean, G., Gourry, J.C., and Bitri, A., 2000, Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site. *Journal of Applied Geophysics*, Elsevier, 45, 141-156.

Isaacson, J., Hollinger, R.E., Gundrum, D., and Baird, J., 1999, A controlled archaeological test site facility in Illinois: Training and research in archaeogeophysics. *Journal of Field Archaeology*, 26, 227-236.

Luiz, J.G., Fonseca, N.R.M., Moreira, A.M.O., and Furtado, C.P.Q., 2007, Medidas magnéticas, eletromagnéticas e elétricas no ambiente natural do campo de testes da UFPA. In: *International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 10th*, Rio de Janeiro. Expanded Abstract. Rio de Janeiro: SBGf, CD-ROM.

McNeill, J.D., 1994, Use of electromagnetic methods for groundwater studies. In: WARD, S.H. (Ed.). *Geotechnical and environmental geophysics*. Tulsa: Society of Exploration Geophysics, v.1: 191-218.

Mendonça, C.A., Diogo, L.A., Porsani, J.L., and Hiodo, J.Y., 1999, Ensino de geofísica aplicada. O campus universitário como laboratório de exploração. In: *International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 6th*, 1999, Rio de Janeiro, RJ, Expanded Abstract, CD-ROM.

Moreira, A.M.O., 2007, Medidas geofísicas com os métodos magnético, eletromagnético e radiométrico para estabelecimento do background no campo de testes da Faculdade de Geofísica da UFPA. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – (Graduação em Geofísica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Curso de Graduação em Geofísica, Belém, 37 f.

Silva, L.M.C., Nascimento, W.G., Luiz, J.G., Costa, A.A.S., and Catete, C.P., 2008, FORAMB: Campo de testes controlados para geofísica forense, ambiental e de resgate. In: *Simpósio Brasileiro de Geofísica, 3*, Belém, PA. Belém: SBGf, CD-ROM.