



## Prospecção arqueológica por métodos geofísicos no Sudeste do Pará: O caso do Sítio Domingos, Canaã dos Carajás

José Gouvêa Luiz\*, UFPA e Edithe da Silva Pereira, Museu Paraense Emílio Goeldi

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

Magnetic, resistivity, and ground penetrating radar (GPR) measurements were carried out on an archaeological site under investigation to find remains buried by ancient people that could have lived in the area.

Archaeological excavation on places indicated by magnetic anomalies revealed concentration of ceramic fragments and intact pottery. The correlation between resistivity measurements and the soil profile described in the area suggest the 1810 to 2560 Ohm.m range as the most representative for the archaeological occupation layer. GPR images showed anomalous features correlating to several magnetic anomalies. Those features, however, are not very conclusive to represent the searched remains. Because of that, GPR is not recommended to be the main tool for archaeological prospecting in the area.

### Introdução

A metodologia de prospecção geofísica tem sido usada com sucesso para auxiliar na indicação de pontos de escavação arqueológica no estado do Pará, em particular na Ilha de Marajó (Alves, 1979; Alves e Lourenço, 1981; Roosevelt, 1991; Barradas, Schaam & Luiz, 1999; Bevan & Roosevelt, 2003). Por esse motivo, a equipe de Arqueologia do Museu Paraense Emílio Goeldi vem incluindo levantamentos geofísicos para detalhar os sítios arqueológicos detectados em seus trabalhos de reconhecimento.

Neste trabalho é descrito o levantamento geofísico realizado no Sítio Domingos (PA-AT-247:Domingos), descoberto em 2000, durante os trabalhos de prospecção na área que seria afetada pela implantação de um projeto de extração de minério de cobre (Magalhães, 2001). O sítio está localizado nos arredores das coordenadas 06° 26,39' N e 50° 01,95' W (UTM: 22 606 981 E e 92 88074 N), no município de Canaã dos Carajás, sudeste do Estado do Pará.

Escavações arqueológicas realizadas no sítio antes do levantamento geofísico permitiram o resgate de milhares de fragmentos cerâmicos e três vasilhas cerâmicas inteiras, sendo uma delas urna funerária. O levantamento geofísico aqui descrito foi realizado com o objetivo de auxiliar a prospecção arqueológica, indicando locais para

novas escavações com objetivo de detectar artefatos cerâmicos enterrados no sítio, pois estes normalmente produzem distorções no campo magnético terrestre.

O levantamento consistiu de medidas do campo magnético terrestre, medidas de resistividade aparente e de medidas da propagação de onda eletromagnética de frequência 400 MHz com o método do Radar de Penetração no Solo (GPR ou Georadar).

As medidas foram realizadas em três campanhas de campo: a primeira foi realizada no período de 04 a 08 de outubro de 2003; a segunda entre 10 e 17 de junho de 2004; e a terceira entre 27 e 30 de julho de 2004. Na primeira campanha foi coberta a área de 30 m x 50 m, que corresponde à parte oeste do sítio (Figura 1), sendo realizadas medidas magnéticas e de resistividade elétrica aparente; na segunda campanha foram realizadas medidas com o Georadar em duas outras partes da área pesquisada: a porção norte da parte oeste levantada no primeiro período, numa extensão de 30 m x 10 m (Figura 1) e na parte leste do sítio, cobrindo 40 m x 60m (Figura 1); na terceira campanha foi coberta a mesma área da segunda campanha, porém com medidas magnéticas.

### Medidas Magnéticas

As medidas magnéticas no Sítio Domingos foram realizadas a intervalos de 1 m, sobre perfis espaçados de 2 m e orientados segundo a direção N340°.

Os perfis foram numerados de oeste para leste, iniciando em 10 e terminando em 80 (10, 12, 14, ..., 78, 80). O perfil 40 coincide com uma das linhas base antes estabelecida pela equipe da pesquisa arqueológica. As estações de medida foram numeradas de sul para norte, iniciando em zero e terminando em 60 (0, 1, 2, 3, ..., 59, 60). A estação 30, em todos os perfis, coincide com uma segunda linha base estabelecida pela equipe da pesquisa arqueológica, que é perpendicular à linha base coincidente com o perfil 40.

Enquanto na primeira campanha o sensor do magnetômetro foi mantido a 0,5 m da superfície do terreno, as medidas magnéticas realizadas na terceira campanha tiveram que ser realizadas com o sensor colocado sobre a superfície do terreno, com seu eixo orientado na direção perpendicular aos perfis de medida. Esse procedimento foi necessário para prevenir a influência de uma linha de alta tensão de direção perpendicular aos perfis, que se encontra cerca de 150 m distante da área do levantamento. A referida linha não estava ativa durante a realização das medidas da primeira campanha.

A variação diurna do campo magnético foi monitorada através da ocupação periódica de uma estação de referência (estação base), a intervalos de tempo inferiores a 40 minutos. A estação usada como referência

foi a estação 30 do perfil 40 (no cruzamento das duas linhas bases estabelecidas pela equipe da pesquisa arqueológica). Cada medida foi corrigida da variação diurna do campo magnético admitindo-se uma variação linear no tempo decorrido entre duas medidas na estação de referência.

### Medidas de Resistividade Elétrica Aparente

As medidas de resistividade elétrica foram realizadas ao longo de perfis com os eletrodos dispostos segundo a configuração bipolo-bipolo. A separação entre os eletrodos foi mantida igual a 1 m, sendo empregados 5 níveis de amostragem.

Os perfis de medida coincidem com os perfis do levantamento magnético realizado na primeira campanha de campo, porém foram realizados a intervalos de 4 m a partir do perfil 10. Desse modo, foram levantados os perfis 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38 e, ainda, o perfil 40.

O objetivo do levantamento foi encontrar uma relação entre os valores de resistividade e os sedimentos da subsuperfície rasa, que permita o mapeamento da camada arqueológica de ocupação.

### Medidas com Georadar

As medidas com o Georadar foram realizadas somente na parte levantada na segunda campanha de campo, que coincide com a área onde foi feito o levantamento magnético da terceira campanha de campo. Desse modo, foram feitas medidas entre as estações 50 e 60 dos perfis 10 a 40 (porção norte da parte oeste da área) e entre as estações zero e 60 das linhas 42 a 80 (parte leste da área).

Para as medidas foi usado o equipamento GSSI SIR 3000 com antena de 400 MHz. Os dados foram coletados no modo de tempo com a antena sendo deslocada continuamente sobre a superfície do terreno. O controle da distância horizontal nos perfis foi efetuado através de marcas inseridas no registro a intervalos de 5 m.

O objetivo do levantamento foi detectar feições anômalas do tipo: (a) descontinuidades nos refletores (camadas), que podem indicar enterramentos; ou (b) hipérbolos de pequena abertura, que podem indicar a presença de corpos tridimensionais compactados como as urnas cerâmicas.

### Resultados (metade oeste da área pesquisada)

Nesta parte da área foram feitas medidas magnéticas e de resistividade elétrica aparente.

#### (a) Medidas magnéticas

As medidas magnéticas realizadas na metade oeste da área estão representadas nos mapas apresentados nas Figuras 2 e 3. Os valores do campo são relativos ao valor 25.845 nT medido na estação de referência (estação 30 do perfil 40).

O mapa da Figura 2 mostra uma região anômala nas proximidades do canto sudoeste do mapa, na área limitada pelos perfis 10 a 20 e as estações zero a 13. É nesse local que se encontra a maior variação do campo (-343 a 345 nT), que é muito grande quando comparada

com as anomalias magnéticas associadas aos objetos cerâmicos, normalmente com amplitudes inferiores a 100 nT. Uma análise semi-quantitativa da feição anômala descrita, sugere que a sua fonte encontra-se à profundidade máxima de 1,7 m.

O intervalo dos contornos de isovalores (50 nT) usado no mapa da Figura 2 é relativamente elevado e pode esconder anomalias mais fracas, como as normalmente esperadas para material cerâmico. Por esse motivo, optou-se por suavizar o mapa, eliminando os valores correspondentes à zona de forte anomalia localizada no canto sudoeste, e construir novo mapa com intervalo de contornos menor. Esse mapa é apresentado na Figura 3.

O mapa da Figura 3 (campo magnético total filtrado) evidencia novas anomalias, de intensidades menores e mais compatíveis com material cerâmico. Essas anomalias estão centradas nos seguintes locais: (a) perfil 18, estação 16; (b) perfil 18, estações 22 a 24; (c) estação 38 dos perfis 18 e 20; (d) perfil 28, estação 21; (e) perfil 30, estação 3; (f) perfil 38, estações 6 e 8.

#### (b) Medidas de resistividade elétrica

Para análise, as medidas de resistividade elétrica foram representadas na forma de mapas de contornos de isovalores e na forma de perfis. A Figura 4 mostra os contornos para o nível de investigação 2, enquanto na Figura 5 é mostrada a distribuição de resistividade abaixo do perfil 10.

Uma descrição dos sedimentos encontrados nas escavações realizadas na área do Sítio Domingos antes do levantamento geofísico foi realizada pela equipe de pesquisa arqueológica do Museu Goeldi. Essa descrição identificou um horizonte, que recebeu a denominação Camada 1C, com as seguintes características gerais: solo marrom acinzentado muito escuro, macio, seco, arenoso, de granulação fina a média, com espessura entre 20 e 40 cm. Esta é a camada de ocupação arqueológica na qual são encontrados vestígios arqueológicos dentre os quais se destacam, pela quantidade, os fragmentos cerâmicos.

Os valores de resistividade medidos foram correlacionados com a litologia observada nas escavações arqueológicas realizadas na área antes do levantamento geofísico. Essa correlação indica que: (a) as medidas de resistividade foram afetadas pelos sedimentos observados nas escavações, bem como por sedimentos que jazem abaixo das profundidades investigadas por elas (a profundidade de investigação nas escavações foi geralmente inferior a 70 cm, enquanto as medidas de resistividade alcançaram profundidades superiores a 1,5 m); (b) as medidas de resistividade não apresentam resolução suficiente para que se identifiquem as pequenas espessuras das camadas descritas pela arqueologia (algumas delas da ordem de 10 cm de espessura); (c) os valores de resistividade refletem a umidade e a compactação dos sedimentos identificados.

No mapa da Figura 4 observa-se que na parte nordeste e nas proximidades do canto sudoeste concentram-se valores mais elevados de resistividade aparente do que no restante da área. Essa distribuição é muito nítida para os níveis 1 a 3 e torna-se menos acentuada para os

níveis 4 e 5. Isso sugere um aumento na argilosidade e/ou na umidade dos sedimentos com o aumento da profundidade, naqueles locais.

A região que concentra as fortes anomalias magnéticas (canto sudoeste nos mapas das Figuras 1 e 2) correlaciona-se muito bem com os valores altos de resistividade aparente que são observados no canto sudoeste do mapa do nível 2 (Figura 4). A partir dessa correlação e da correlação com os sedimentos observados nas escavações pode-se associar, em primeira aproximação, o intervalo de valores de resistividade aparente 1600 a 2400 ohm.m com a camada arqueológica denominada camada 1C. Essa camada, como dito anteriormente, representa a camada de ocupação onde foram encontrados diversos fragmentos cerâmicos.

Na Figura 5 os dados de resistividade estão representados na forma de perfis (imagens). A parte superior das figuras mostra uma pseudo-seção dos valores de resistividade aparente medidos no perfil, enquanto que na parte mediana é apresentada uma pseudo-seção dos valores de resistividade aparente calculados para o modelo de distribuição de resistividade que é mostrado na porção inferior das figuras. Em cada perfil, a semelhança entre a pseudo-seção de valores medidos e a pseudo-seção de valores calculados permite que se reconheça se o modelo que gerou a pseudo-seção calculada pode representar uma distribuição de resistividade aceitável para a subsuperfície.

Em todos os perfis, os modelos de distribuição de resistividade (parte inferior da Figura 5) mostram seções interpretadas da subsuperfície entre as profundidades 0,20 e 1,7 m. Por outro lado, a camada de ocupação arqueológica (camada 1C, acima descrita) tem o seu topo definido geralmente a partir da profundidade de 0,10 m e uma espessura variando de 20 a 40 cm. Assim, essa camada corresponde à parte mais superficial dos modelos de resistividade, identificada pela coloração laranja que corresponde, na escala de resistividades mostrada na parte inferior das figuras, ao intervalo 1810 – 2560 ohm.m.

(c) Escavações arqueológicas realizadas na parte oeste da área

Foram realizadas escavações arqueológicas antes e após o levantamento geofísico. Essas últimas para testar as anomalias magnéticas detectadas. Os locais das escavações realizadas antes e após o levantamento geofísico estão representados na Figura 1.

Nas escavações realizadas antes do levantamento geofísico foram encontrados vasilhames cerâmicos inteiros (entre os quais uma urna funerária) e uma grande quantidade de fragmentos cerâmicos. A figura 6 mostra foto da escavação 6, realizada antes do levantamento geofísico, onde se observa a urna funerária.

As anomalias magnéticas foram testadas através de 10 escavações. Nessas escavações foram encontrados muitos fragmentos cerâmicos e algumas lâminas de machado polido. No local da forte zona magnética anômala (canto sudoeste do mapa), além de uma grande quantidade de material cerâmico foram encontradas

rochas máficas ricas em minerais magnéticos (provavelmente magnetita). Essas rochas certamente são a fonte da forte anomalia magnética observada. As Figuras 7 e 8 mostram fotos da escavação 26, realizada no local dessa anomalia. Na Figura 7 observam-se fragmentos cerâmicos, enquanto na Figura 8 aparecem os blocos de rocha magnética, evidenciados em um nível da escavação abaixo do nível onde foi encontrada a cerâmica.

### Resultados (metade leste da área pesquisada)

Nesta parte da área foram feitas medidas magnéticas e da propagação de ondas eletromagnéticas com o Georadar.

(a) Medidas magnéticas

As medidas magnéticas realizadas na metade leste da área estão representadas no mapa apresentado na Figura 9. Os valores do campo magnético são relativos ao valor 25.845 nT medido na estação de referência (estação 30 do perfil 40).

Diversas anomalias magnéticas são evidenciadas no mapa da Figura 9, algumas delas de amplitude bastante elevada (superiores a 300 nT), como aquelas que ocorrem no perfil 58 (estação 57), no perfil 70 (estação 35) e no perfil 74 (estações 44 a 45). Comparando-se as anomalias magnéticas evidenciadas na parte oeste da área (Figura 2) com as anomalias da parte leste, observa-se que estas últimas são muito mais localizadas, restringindo-se praticamente a uma estação de medida.

Embora um grande número de anomalias magnéticas tenha sido evidenciado na parte leste da área, optou-se por indicar para escavação arqueológica apenas aquelas que mostraram alguma feição anômala nos radargramas obtidos com o Georadar. Essas anomalias estão localizadas nas seguintes posições: Perfil 46 (Estação 2); Perfil 48 (Estações 22 a 23); Perfil 54 (Estação 22); Perfil 56 (Estações 24, 46 e 52); Perfil 58 (Estação 13); Perfil 62 (Estação 36); Perfil 64 (Estações 19 a 26); Perfil 70 (Estação 35); Perfil 74 (Estações 44 a 45 e Estação 59); Perfil 76 (Estações 16 e 18); Perfil 78 (Estações 16 e 18).

(b) Medidas com georadar

Os dados de obtidos com o Georadar foram processados com auxílio do programa computacional GRADIX. O processamento envolveu os seguintes procedimentos: (a) redistribuição espacial da amostragem para obtenção de espaçamento uniforme entre as medidas; (b) aplicação de filtro passa alta (dewow); (c) estabelecimento do tempo zero de registro, para obtenção do nível zero de profundidade (posição da superfície do terreno); (d) determinação da velocidade de propagação da onda eletromagnética usando o método da superposição de hipérbolos; (e) conversão da escala vertical de tempo em profundidade.

Em todos os perfis a escala vertical de tempo foi convertida em profundidade usando a velocidade de 170 m/ $\mu$ s para a propagação da onda.

Os radargramas obtidos mostraram feições que podem ser consideradas anômalas. Como por exemplo registros na forma geométrica de hipérbolos, ondulações e

interrupções nos registros, que aparecem como descontinuidades laterais (Figuras 10 e 11). As formas hiperbólicas são normalmente provocadas por difrações da onda eletromagnética em corpos bidimensionais ou tridimensionais, os quais podem ser blocos de rochas, dutos ou, na prospecção arqueológica, potes cerâmicos. As descontinuidades podem ser devido a interrupções no acamamento normal dos sedimentos do subsolo, que em termos arqueológicos seriam provocadas por enterramentos. As escavações realizadas na área mostraram, entretanto, que muitas das feições de forma hiperbólica foram provocadas por raízes ou por rochas.

Algumas das feições anômalas evidenciadas nos radargramas ocorrem sobre anomalias magnéticas ou muito próximas delas. Esses locais, descritos anteriormente, foram recomendados para a escavação arqueológica. Nas Figuras 10 e 11 são mostrados os radargramas obtidos sobre a parte dos perfis 48 e 76 onde ocorreram anomalias magnéticas. Nesses locais foram encontrados artefatos cerâmicos enterrados Figuras (12 e 13).

(c) Escavações arqueológicas realizadas na parte leste da área

Algumas das anomalias evidenciadas no levantamento geofísico já foram testadas através de escavações. Algumas evidenciaram material cerâmico, enquanto outras nada evidenciaram.

Na região das anomalias do Perfil 48 (Estações 22 a 23) e do Perfil 54 (Estação 22) foram abertas várias unidades de escavação de 1m x 1m, sendo encontrado 4 vasilhames cerâmicos entre os perfis 48 e 50 (estações 23 a 24) e 1 vasilhame e 1 lâmina de machado polido entre os perfis 52 e 54 (estações 23 a 25). Parte dessa escavação é mostrada na Figura 12.

Na anomalia do Perfil 76 (Estações 16 e 18) uma unidade de escavação evidenciou 1 vasilhame cerâmico entre as estações 15 e 16 e uma grande concentração de fragmentos cerâmicos entre as estações 16 e 17. O setor escavado sobre a anomalia do Perfil 78 (Estações 16 e 18) evidenciou 1 lâmina de machado polido entre as estações 15 e 16 (Figura 13).

### Conclusões

As medidas do campo magnético, bem como as medidas de resistividade elétrica e com o Georadar, realizadas no sítio PA-AT-247:Domingos mostraram resultados muito promissores.

As medidas magnéticas evidenciaram diversas anomalias que foram testadas através de escavações arqueológicas, as quais mostraram material cerâmico fragmentado, vasilhames inteiros e lâminas de machados.

A escavação realizada no local das fortes anomalias magnéticas evidenciadas no canto sudoeste metade oeste da área mostrou que essas anomalias não foram provocadas por material cerâmico e sim por blocos de rochas máficas ricas em minerais magnéticos (provavelmente magnetita). No entanto, essas rochas encontravam-se misturadas a uma grande quantidade de

material cerâmico e serviram de guia para a localização do material cerâmico.

A correlação das medidas de resistividade elétrica com as medidas magnéticas e com a descrição dos sedimentos encontrados nas escavações permitiu que se estabelecesse, em primeira aproximação, o intervalo de 1600 a 2400 ohm.m para a resistividade aparente da camada 1C (camada de ocupação arqueológica) nos mapas apresentados. Nos perfis de resistividade interpretada, o intervalo de resistividade associado à camada 1C foi 1810 a 2560 ohm.m.

As medidas com o Georadar evidenciaram feições anômalas representadas por descontinuidades laterais, ondulações e formas hiperbólicas. Algumas dessas feições ocorreram sobre anomalias magnéticas e foram usadas como guia para indicar locais para escavação arqueológica na metade leste da área.

As feições anômalas do Georadar, obtidas com a antena de 400 MHz usada neste trabalho, não são muito conclusivas, sendo difícil associa-las ao material cerâmico. Por exemplo, algumas delas foram testadas, constatando-se terem sido produzidas por raízes. Por esse motivo, o método não é recomendado para ser usado como método principal na prospecção arqueológica da área. Talvez com o uso de uma antena de 900 Mhz seja possível obter melhores resultados.

### Agradecimentos

Pesquisa realizada através de convênio entre o Museu Paraense Emílio Goeldi, a Companhia Vale do Rio Doce e a Sociedade Zeladora Amigos do Museu Emílio Goeldi.

### Referências

- Alves, J.J.A.**, 1979, Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. Tese de Mestrado em Geofísica. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas. Universidade Federal do Pará, 55 p.
- Alves, J.J.A. e Lourenço, J.S.**, 1981, Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia [N.S.], 26: 1-52.
- Barradas, J.A., Schaan, D.P. e Luiz, J.G.**, 1999, Magnetic and GPR Survey to Identify Archaeological Features on Cacao Site, Anajás River, Marajó Island, Pará, Brazil. 6º Congresso Internacional da SBGf, Rio de Janeiro, Disponível em CD.
- Bevan, B.W. and Roosevelt, A.C.**, 2003, Geophysical Exploration of Guajará, a prehistoric earth mound in Brazil. *Geoarchaeology*, vol. 18, no. 3, p. 287-331.
- Magalhães, M. P.**, 2001, Relatório de prospecção arqueológica na área da Mineração Serra do Sossego. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 32 p. Inédito.
- Roosevelt, A.C.**, 1991, Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil. San Diego: Academic Press, 495 p.

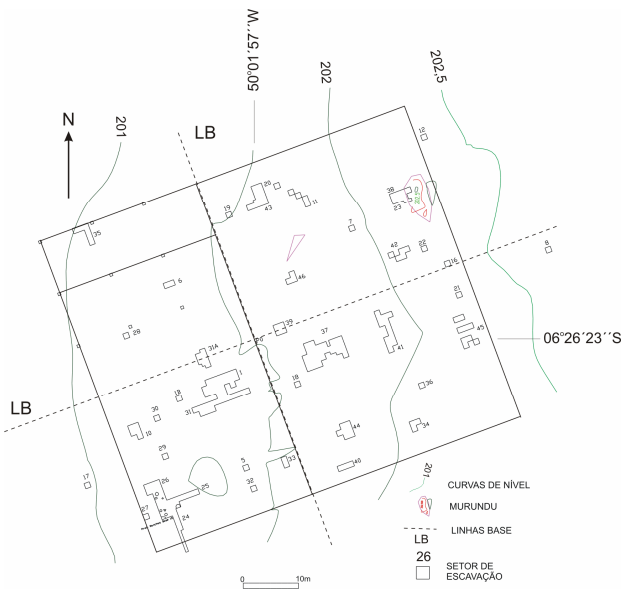


Figura 1 – Mapa de localização do levantamento geofísico e das escavações arqueológicas.

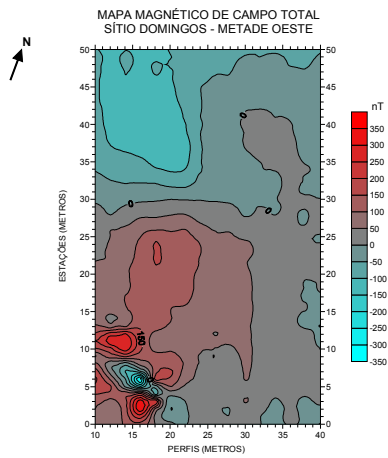


Figura 2 – Mapa magnético da metade oeste da área do Sítio Domingos.

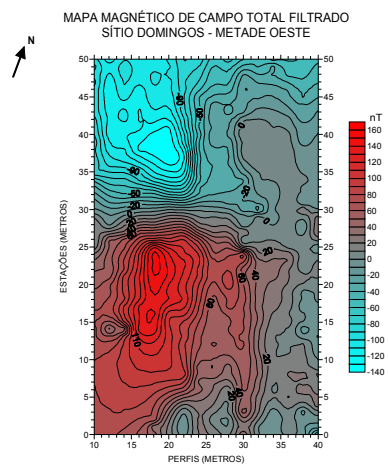


Figura 3 – Mapa magnético filtrado da metade oeste do Sítio Domingos.

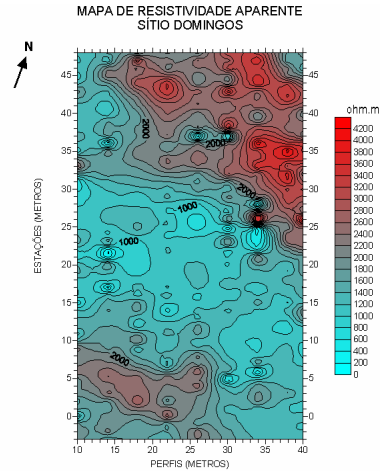


Figura 4 – Mapa de resistividade aparente, arranjo bipolo-bipolo, nível 2.

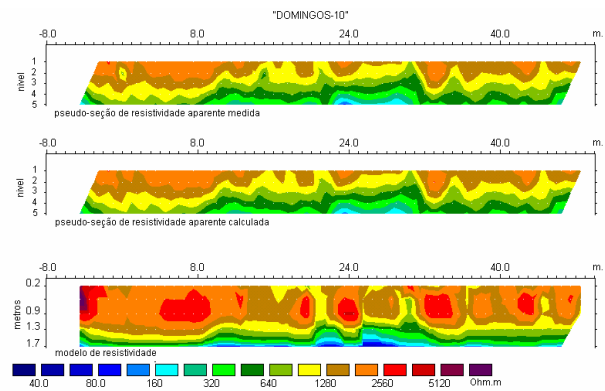


Figura 5 – Perfil de resistividade ao longo do perfil 10 com o arranjo bipolo-bipolo, 5 níveis de investigação e bipolos de 1 m.



Figura 6 – Escavação 6, realizada antes do levantamento geofísico.



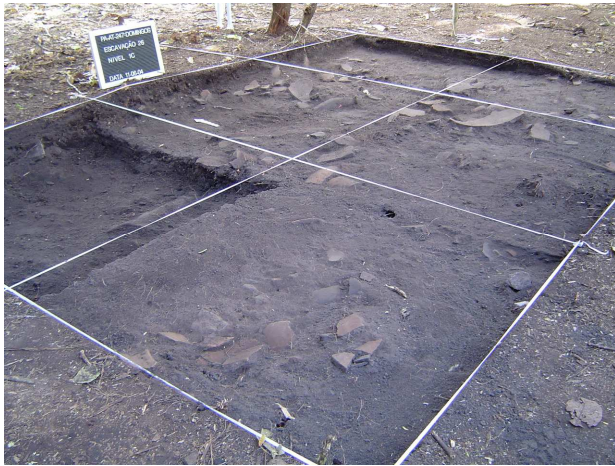


Figura 7 – Escavação 26, realizada para testar a anomalia do canto sudoeste do mapa magnético.

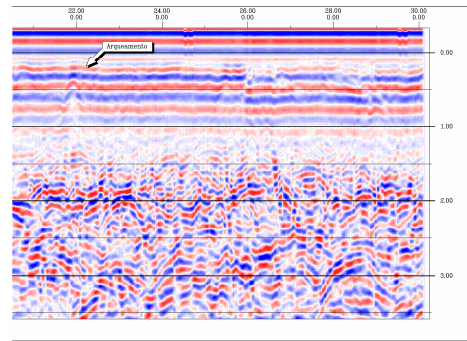


Figura 10 – Radargrama de parte do perfil 48, que cruza uma das anomalias magnéticas.



Figura 8 – Escavação 26, mostrando os blocos de rocha responsáveis pela forte anomalia magnética local.

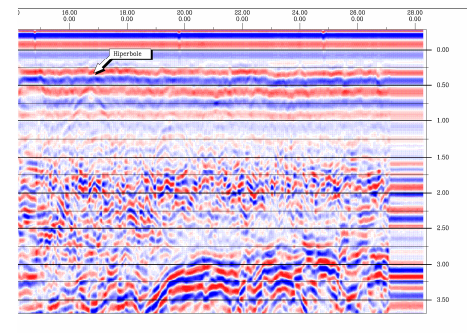


Figura 11 – Radargrama de parte do perfil 76, que cruza uma das anomalias magnéticas.



Figura 12 – Escavação 37, realizada para testar anomalia magnética do perfil 48.

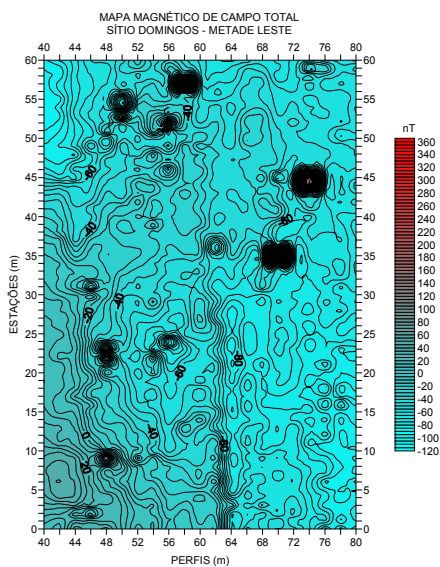


Figura 9 – Mapa magnético da metade leste da área do Sítio Domingos.



Figura 13 – Escavação 45, realizada para testar anomalia magnética do perfil 76.