

Geofísica Aplicada à Arqueologia no Estado do Pará, Brasil

José Gouvêa Luiz, CPGf/UFPA & Faculdade de Geofísica/UFPA, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

The first geophysical experiments applied to Archaeology in Pará were performed in 1977. Since then, the application of geophysical methodologies to Archaeology has allowed to the indication of excavations where archaeologists found mainly ceramic artifacts (pottery, burial urns, cooking hearts, sherds, pipes, and ax heads). Experiments were also made to map the archaeological black earth layer (TPA). Examples that show the success of the geophysical methodologies as applied to Archaeology in Pará are presented.

Introdução

O uso da Geofísica para auxiliar na prospecção arqueológica é relativamente recente. Embora os primeiros trabalhos datem da metade da década de 1940 (Aitken, 1961), somente a partir da década de 1980 eles se tornaram muito frequentes por causa do desenvolvimento das técnicas geofísicas visando estudar com detalhe os primeiros 50 m da crosta, principalmente para resolver problemas da Engenharia e problemas relacionados com contaminação do ambiente. Medidas de resistividade elétrica foram as primeiras medidas geofísicas usadas na prospecção arqueológica e datam de 1946 (Aitken, 1961); a seguir (1958), começaram a ser usadas medidas magnéticas (Wynn, 1986). No Pará, os primeiros experimentos geofísicos para Arqueologia (medidas magnéticas e de resistividade elétrica) foram realizados em 1977 pelo Prof. José Seixas Lourenço da UFPA e seu aluno de mestrado na época, José Jerônimo de Alencar Alves. Provavelmente, esta foi também a primeira experiência com métodos geofísicos aplicados à Arqueologia realizada no Brasil. Hoje, os métodos geofísicos mais aplicados na Arqueologia são os métodos da eletrorresistividade (medidas de resistividade elétrica), eletromagnéticos (medidas de condutividade elétrica e susceptibilidade magnética), magnético (medidas do campo magnético terrestre) e radar de penetração no solo ou GPR (medidas da propagação de onda eletromagnética). A aplicação da Geofísica na Arqueologia permite a detecção dos seguintes materiais, importantes para o estudo arqueológico: material cerâmico (vasilhas, urnas, fragmentos), fornos, pisos, alicerces de construções e túneis. A Geofísica pode também fornecer informações sobre a estratigrafia do subsolo e a camada de ocupação. Os trabalhos geofísicos voltados para a Arqueologia no Pará sempre

foram realizados em parceria com arqueólogos do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Primeiros Trabalhos

Os trabalhos desenvolvidos pelo Prof. Lourenço e seu aluno, Jerônimo Alves, em 1977, foram realizados em dois sítios arqueológicos: sítio PA-SA-4 e sítio PA-JO-21. O primeiro localizado nas terras da Fazenda Camará, na Vila de Bacuriteua, município de Marapanim, no nordeste do estado do Pará, e o segundo localizado no Teso dos Bichos, nos domínios da Fazenda Taperebá, município de Cachoeira do Arari, no leste da Ilha de Marajó, estado do Pará (Alves, 1979, Alves e Lourenço, 1981). No sítio PA-SA-4 (Bacuriteua) foram realizadas apenas medidas do campo magnético, enquanto no Teso dos Bichos foram realizadas medidas magnéticas (Figura 1) e de resistividade elétrica (Figura 2).

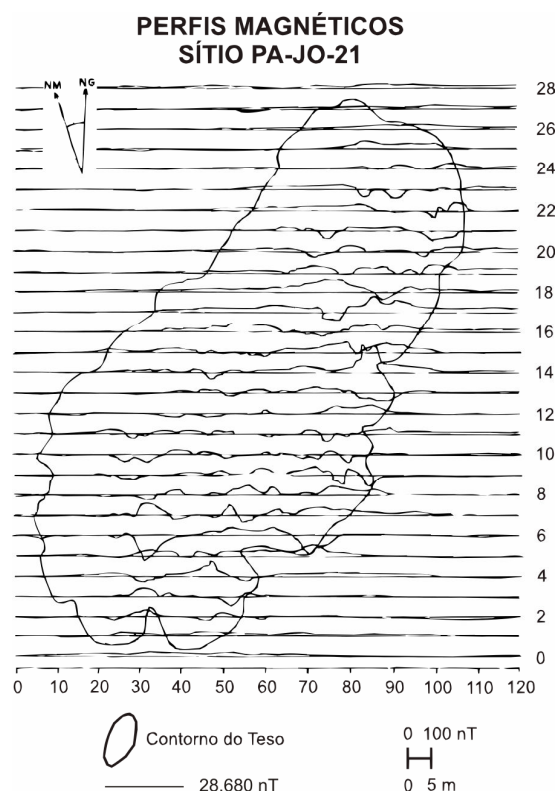


Figura 1 – Perfis magnéticos do sítio PA-JO-21 (Teso dos Bichos). Adaptado de Alves (1979).

No sítio de Bacuriteua, as medidas magnéticas não evidenciaram nenhuma zona anômala importante, talvez devido à malha de investigação empregada, que consistiu de medidas a intervalos de 10 m ao longo de

perfis espaçados de 10 m. Por isso, nenhuma escavação foi recomendada a partir do levantamento geofísico.

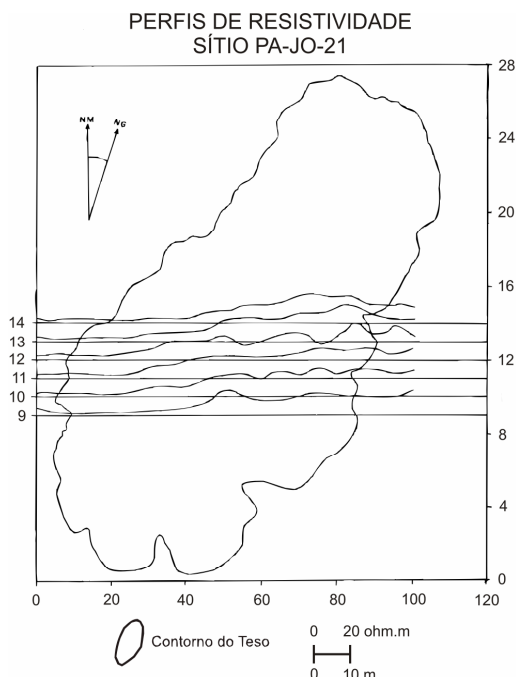


Figura 2 – Perfis de resistividade do sítio PA-JO-21 (Teso dos Bichos). Adaptado de Alves (1979).

As medidas magnéticas realizadas no Teso dos Bichos mostraram oscilações de grande amplitude na parte leste do Teso (Figura 1), com anomalias que atingem 130 nT de amplitude. A partir dos dados do levantamento geofísico foram realizados dois cortes estratigráficos (escavações) e três perfurações (sondagens), para investigar a causa das anomalias. Em um dos cortes foram encontrados 6 fornos dispostos em 4 níveis estratigráficos diferentes, enquanto o outro corte revelou um forno e uma urna funerária contendo ossos e matéria orgânica (Alves, 1979). Nas perfurações, realizadas até a profundidade de 2 m, foram encontrados 4 níveis argilosos, alguns com carvão e evidências de queima (Alves, 1979).

Em 1983, logo após os trabalhos de Lourenço e Alves, a arqueóloga, Anna Roosevelt realizou estudos, ainda no Teso dos Bichos na Ilha de Marajó, com ajuda do Prof. José Lourenço e de professores e alunos de pós-graduação da UFPA. Nesse estudo, foram realizadas novas medidas, mais detalhadas, com o método magnético em 4 locais do sítio (Roosevelt, 1991). A Dra. Anna Roosevelt voltou ao Teso dos Bichos em 1985, quando coordenou, juntamente com Bruce Bevan, um levantamento geofísico detalhado sobre todo o sítio com os métodos magnético, eletromagnético (medidas de condutividade elétrica e susceptibilidade magnética), da eletrorresistividade e GPR (Roosevelt, 1991). Diversos artefatos arqueológicos foram encontrados associados a anomalias caracterizadas por baixos magnéticos, altos de resistividade elétrica e baixos de condutividade elétrica (Roosevelt, 2007).

Entre 1987 e 1988 o geofísico Bruce Bevan fez análise detalhada de medidas magnéticas realizadas no sítio Guajará localizado às margens do Rio Anajás, no município de Anajás, parte central da Ilha de Marajó. A análise levou à estimativa de 8000 fornos enterrados, que foi posteriormente corrigida para 2200 fornos após correlação com os resultados de 10 escavações realizadas no sítio (Bevan e Roosevelt, 2003). Além dos métodos geofísicos usados anteriormente no Teso dos Bichos, foi usado o método sísmico de refração, que forneceu informações sobre a estratigrafia do sítio (Bevan e Roosevelt, 2003; Roosevelt, 2007).

Tanto no Teso dos Bichos, quanto no sítio Guajará, o GPR, aplicado com antena de 180 MHz, mostrou-se pouco efetivo devido à moderada condutividade elétrica da subsuperfície causada pela argilosidade do solo, que atenua as ondas de radar (Bevan e Roosevelt, 2003). As anomalias obtidas com o GPR refletiram apenas perturbações muito superficiais, sem relação com os artefatos arqueológicos.

No final da década de 1980 foram investigados os sítios Taperinha e Santarém, ambos localizados no município de Santarém, na região do Baixo Amazonas, estado do Pará. No sítio Taperinha, que é constituído de sambaquis, os métodos da eletrorresistividade, GPR e sísmico de refração produziram bons resultados, permitindo a identificação das camadas de conchas intercaladas entre solo de terra preta e areia (Roosevelt, 2007). Além da estratificação, o GPR mostrou anomalias que foram associadas a fornos e enterramentos. Medidas de condutividade elétrica, do campo magnético e de potencial elétrico espontâneo também foram executadas no sítio sem produzir resultados satisfatórios (Roosevelt, 2007). As escavações realizadas no sítio recuperaram um grande número de artefatos. No sítio Santarém as medidas de condutividade elétrica, do campo magnético e de resistividade não produziram bons resultados. O GPR, entretanto mostrou excelentes resultados, fornecendo informações sobre a estratigrafia e indicando pontos para a realização de escavações onde foram encontradas cavas preenchidas com terra preta (relacionadas com rituais), cerâmica decorada e estátuas quebradas, além de ferramentas (Roosevelt, 2007). Os ótimos resultados apresentados pelo GPR são devidos o ambiente do sítio ser constituído por sedimentos arenosos pouco úmidos, e, portanto, bastante resistivos.

Trabalhos mais Recentes

Os trabalhos mais recentes de Geofísica aplicada à Arqueologia realizados no Pará quase sempre envolveram a participação de professores e alunos de pós-graduação da UFPA em parceria com arqueólogos do Museu Paraense Emílio Goeldi. A maioria dos trabalhos foi financiada por empresas, que necessitavam apresentar, junto ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), um estudo visando salvar e resgatar a história e a identidade cultural das áreas impactadas por seus projetos de exploração que continham sítios arqueológicos.

Abaixo são apresentados resultados de levantamentos geofísicos mais recentes (entre 1998 e 2008) obtidos em diversos sítios.

Sítio Cacoal

Em 1998, a arqueóloga Denise Schan e o geólogo João Barradas realizaram estudos no sítio Cacoal (PA-JO-49: Cacoal), localizado no município de Anajás, na parte central da Ilha de Marajó (Barradas et al., 1999). Durante o estudo foram realizadas medidas magnéticas e com GPR. As medidas magnéticas mostraram as quatro zonas anômalas identificadas pelas letras A, B, C, D na Figura 3. O GPR também apresentou padrões anômalos sobre os locais das anomalias magnéticas; um desses padrões anômalos aparece destacado por um círculo escuro na Figura 4, que mostra o registro do GPR obtido sobre a parte sul da anomalia magnética D (na posição da linha vermelha representada na Figura 3). Cinco escavações foram realizadas no sítio Cacoal, sendo três delas para investigar as anomalias magnéticas B e D mostradas na Figura 3. No centro da anomalia B foi encontrada uma grande quantidade de carvão e fragmentos cerâmicos entre 0,10 e 0,25 m de profundidade (Barradas et al., 1999). Uma das escavações sobre a anomalia D foi realizada perpendicular ao perfil GPR, na posição indicada pelo traço escuro na Figura 3. Essa escavação revelou fragmentos cerâmicos e duas vasilhas com carvão enterradas a 0,40 m de profundidade (Barradas et al., 1999). A segunda escavação sobre a anomalia D, localizada mais a norte, além do perfil GPR, nada revelou.

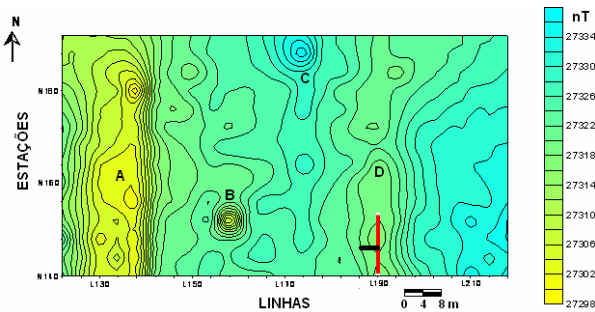


Figura 3 – Mapa magnético de campo total do sítio PA-JO-49: Cacoal. A linha vermelha mostra o local de um dos perfis de GPR.

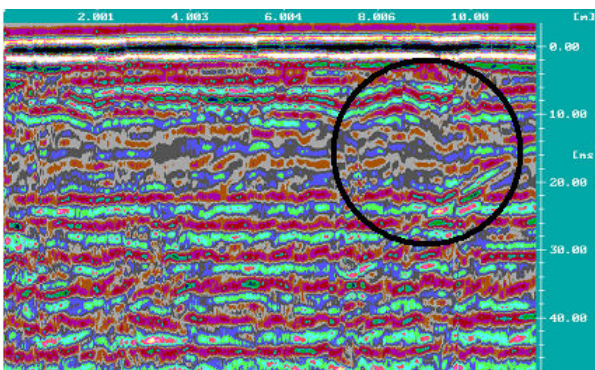


Figura 4 – Perfil de GPR realizado em parte da anomalia magnética D (linha vermelha na Figura 3). Compilado de Barradas et al. (1999).

Sítio Domingos

O sítio Domingos (PA-AT-247: Domingos) está localizado no município de Canaã dos Carajás, sudeste do Estado do Pará, na estrada que liga o Projeto Sossego (extração de minério de cobre) à cidade de Canaã dos Carajás. O levantamento geofísico 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 GPR (Luiz, 2003, 2004; Luiz e Pereira, 2005).

Diversas anomalias foram evidenciadas com as medidas magnéticas, como se pode observar na Figura 5, que mostra os valores obtidos na metade leste do sítio. Das anomalias magnéticas evidenciadas, foram indicadas para escavação apenas aquelas que apresentaram correlação com padrões anômalos nos perfis do GPR, como é o caso da anomalia destacada na Figura 5 por um quadrado. O perfil do GPR realizado sobre essa anomalia está representado na Figura 6, com destaque para a feição anômala (hipérbole) que correlaciona com a posição da anomalia magnética. A escavação 45, realizada sobre essa zona anômala, é mostrada na Figura 7. As escavações realizadas no sítio mostraram que a resposta magnética recebeu contribuição tanto dos artefatos arqueológicos, como de blocos de rochas, que na área apresentam forte magnetismo.

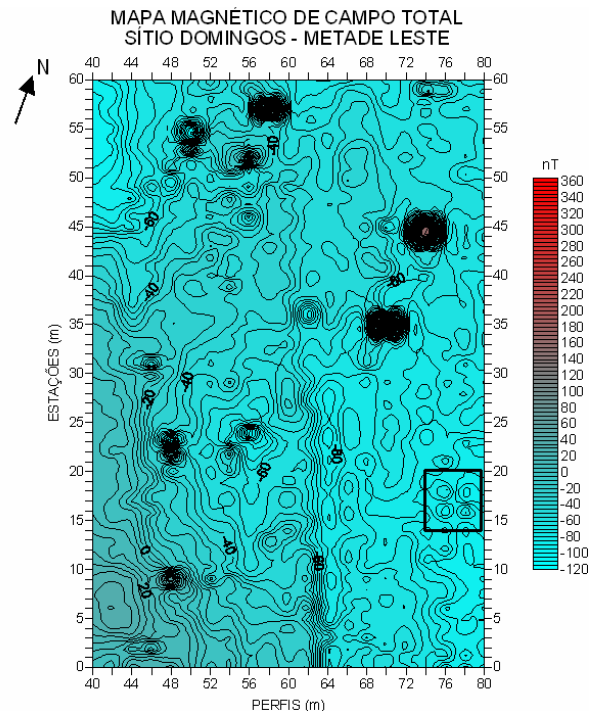


Figura 5 – Mapa magnético de campo total da parte leste do Sítio PA-AT-247: Domingos. Adaptado de Luiz e Pereira (2005).

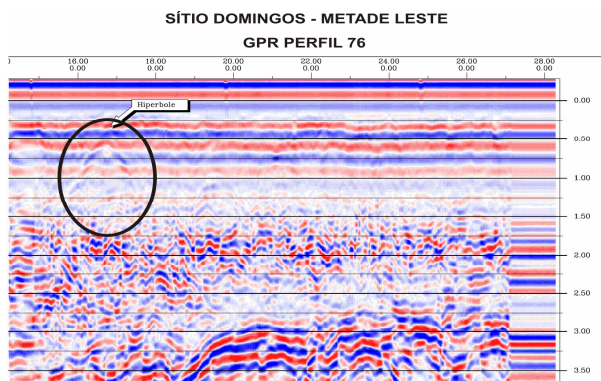


Figura 6 – Perfil de GPR realizado sobre a anomalia magnética destacada por um quadrado na Figura 5. A elipse mostra a feição anômala no registro de GPR. Adaptado de Luiz & Pereira (2005).



Figura 7 – Foto da escavação realizada sobre a anomalia magnética destacada pelo quadrado na Figura 5. Compilado de Luiz & Pereira (2005).

As medidas de resistividade foram correlacionadas com a descrição do solo obtida durante algumas escavações que haviam sido realizadas na área do sítio antes do levantamento geofísico. Essa descrição identificou um horizonte, que recebeu a denominação camada 1C, que corresponde à camada de ocupação arqueológica (TPA) na qual são encontrados vestígios arqueológicos dentre os quais se destacam, pela quantidade, os fragmentos cerâmicos (Luiz e Pereira, 2005). Os modelos de distribuição da resistividade com a profundidade, gerados a partir das medidas, ao serem correlacionados com a descrição do solo, sugerem que o intervalo de resistividade 1810 a 2560 ohm.m pode ser associado à camada 1C. Esse intervalo está representado pela coloração laranja na Figura 8, que mostra o modelo de resistividade obtido a partir das medidas realizadas ao longo do perfil 10 na metade oeste do sítio (Luiz e Pereira, 2005).

Na área do sítio Domingos foram realizadas mais de 40 escavações, a maioria delas em locais indicados pelos levantamentos geofísicos. O material arqueológico

recuperado em grande parte das escavações indicadas pela geofísica consistiu de urnas funerárias, fragmentos cerâmicos, material lítico (fragmentos e lâmina de machado polido, batedor, almofariz) (Luiz e Pereira, 2005; Pereira, 2006).

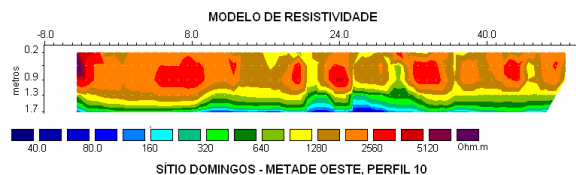


Figura 8 – Modelo mostrando a distribuição da resistividade com a profundidade obtida em perfil realizado na metade oeste do Sítio PA-AT-247: Domingos. Compilado de Luiz & Pereira (2005).

Sítio Bittencourt

O sítio Bittencourt (PA-BA-83: Bittencourt) está localizado no município de Abaetetuba, a 80 Km a SW de Belém. O sítio compreende duas áreas, denominadas de área 1 e área 2, que distam entre si cerca de 850 m. Na área 1 foram realizadas medidas com GPR (frequência de 400 MHz) e medidas de radioatividade (cintilometria gama), não sendo possível realizar medidas magnéticas devido a interferências externas. Na área 2 as medidas geofísicas consistiram de magnetometria, GPR (frequência de 400 MHz) e cintilometria gama. As medidas de cintilometria gama foram executadas com o objetivo de testar a possibilidade de mapear a variação de espessura da TPA, que muitos estudos têm mostrado ser constituída por material mais arenoso (produz menores valores de cintilometria) do que argiloso (produz maiores valores cintilométricos).

Na área 1 as feições anômalas mostradas pelo GPR foram escavadas sem que fossem encontrados vestígios arqueológicos, o que indica que essas feições têm origem geológica (concreções) e/ou de outros artefatos como as raízes de árvores (Luiz e Aragão 2006). As medidas de cintilometria gama na área 1 indicaram, em primeira aproximação, que os valores acima de 20 contagens por segundo (cps), parecem correlacionar com o solo essencialmente argiloso, enquanto os valores abaixo de 12 cps ao solo essencialmente arenoso (Luiz e Aragão 2006).

Na área 2 foram detectadas 7 anomalias magnéticas, todas com correspondentes feições anômalas mostradas pelo GPR (Aragão, 2006; Luiz e Aragão 2006). Escavações realizadas sobre essas anomalias revelaram fragmentos de cerâmica, faiança, argila queimada, carvão e artefatos de ferro (Aragão, 2006; Aragão et al., 2005). Uma correlação entre a espessura da TPA, determinada em furos de trado, e as contagens cintilométricas mostrou que espessuras variando de 0,11 a 0,29 m estão relacionadas com valores cintilométricos de 12 a 16 cps. A Figura 9 ilustra a relação entre as contagens de radiação gama (cintilometria gama) e a espessura da TPA.

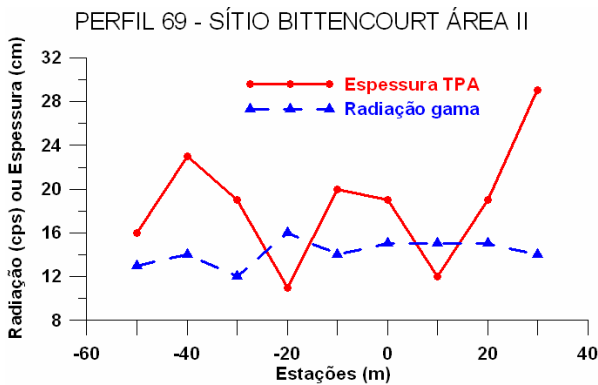


Figura 9 – Correlação entre a espessura de TPA e valores de cintilometria gama obtidos na área 2 do sítio PA-BA-83: Bittencourt. Compilado de Aragão (2006).

Sítio Jaburu do Rio Paru

O sítio PA-AM-06: Jaburu do Rio Paru, está localizado no município de Almeirim, estado do Pará, na região do Baixo Amazonas. No sítio foram aplicados os métodos magnético, cintilométrico de radiação gama e GPR (frequência de 400 MHz). As anomalias magnéticas que apresentaram correlação com feições anômalas do GPR foram indicadas para escavação, sendo revelado um esqueleto, fragmentos de cerâmica, louças e artefatos de ferro (Aragão, 2006; Aragão et al., 2007).

Os menores valores de cintilometria gama mostraram uma boa correlação com os locais em que foram observadas as maiores espessuras da TPA. A melhor correlação foi obtida na parte mais norte da área investigada do sítio (a norte do perfil 300), conforme se pode observar na Figura 10.

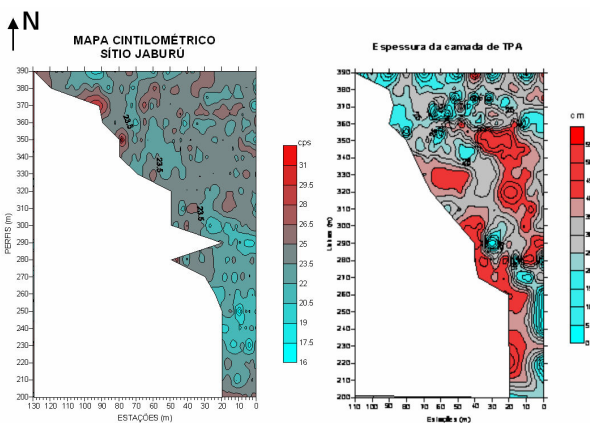


Figura 10 – Mapas de cintilometria gama e espessura da camada de TPA para o sítio PA-AM-06: Jaburu do Rio Paru. Adaptado de Aragão (2006).

Outros Trabalhos Recentes

A geofísica foi aplicada também nos seguintes sítios:

- a) PA-JO-46: Joanes (maio de 2008) com medidas de GPR (frequência de 400 MHz). O sítio está localizado na área urbana da Vila de Joanes, município de Salvaterra, na Ilha de Marajó, estado do Pará. As medidas foram distribuídas em oito áreas do sítio. Diversas feições anômalas foram identificadas e recomendadas para teste através de escavações (Luiz, 2008). As escavações estão ainda em andamento.
- b) PA-ST-24: Pacoval (julho de 2008) com medidas magnéticas e GPR (frequência de 400 MHz). O sítio encontra-se em área urbana da Vila Pacoval, município de Prainha, estado do Pará. Cinco áreas do sítio foram investigadas. Diversas anomalias magnéticas com correspondente feição anômala no GPR foram indicadas para teste através de escavações, que estão sendo processadas (Luiz, 2008). Por se encontrar em área urbana, algumas das anomalias magnéticas detectadas foram relacionadas a interferências elétricas ou de artefatos metálicos pertencentes aos moradores das áreas.

Conclusões

A aplicação de metodologia geofísica para auxiliar a prospecção arqueológica no estado do Pará tem mostrado resultados muito satisfatórios, conforme demonstrado pelos exemplos aqui apresentados. O método magnético pode ser considerado o de melhor resposta quando o material arqueológico é constituído de cerâmica, artefatos relacionados com o uso de fogo ou de artefatos metálicos. Essa resposta pode, no entanto, ser encoberta se o sítio encontra-se sob rede elétrica, como normalmente ocorre em zonas urbanas. Neste caso, outros métodos devem ser testados, como, por exemplo, o GPR com sensores blindados.

Com quaisquer dos métodos geofísicos empregados deve-se sempre ter em mente que a resposta geofísica é ambígua, isto é, diversas estruturas (fontes de anomalias) podem produzir feições anômalas idênticas. Esse efeito pode, entretanto, ser minimizado com o emprego de mais de um método e com informação adicional. A informação adicional deve, neste tipo de aplicação da geofísica, ser fornecida pelo arqueólogo. Isso significa que arqueólogos e geofísicos devem interagir, discutindo as anomalias evidenciadas nos levantamentos, para decidir onde escavar.

A resposta da geofísica deve ser mais eficaz nos sítios menos afetados por interferência antrópica. Nos dias atuais, entretanto, sítios com pequena interferência são muito difíceis de ser encontrados. Isso corrobora a premissa da interação entre arqueólogos e geofísicos e sugere que outros especialistas também devem participar da prospecção arqueológica

Referências

- Aitken, M. J.**, 1961, *Physics and Archaeology*. New York: Interscience, 181 p.
- 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 J. S. Lourenço**, 1981, *Métodos geofísicos aplicados à arqueologia no estado do Pará*. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia, v. 26, p. 1-52.
- Aragão, R. C.**, 2006, *Metodologia geofísica aplicada à pesquisa de salvamento arqueológico nos sítios Bittencourt, Jambuaçu e Jaburu, estado do Pará*. Dissertação de Mestrado. Belém: Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, 60 p.
- Aragão, R. C., J. G. Luiz, e P. R. C. Lopes**, 2005, *Metodologia geofísica aplicada ao salvamento arqueológico de área adjacente a mineroduto no nordeste do Pará*. 9º Congresso Internacional da SBGf, Salvador, disponível em CD.
- Aragão, R. C., J. G. Luiz, e P. R. C. Lopes**, 2007, *Métodos magnético e cintilométrico aplicados ao salvamento arqueológico do sítio Jaburu do Rio Paru*. 10º Congresso Internacional da SBGf, Rio de Janeiro, disponível em CD.
- Barradas, J. A., D. P. Schaan e J.G. Luiz**, 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 A. C. Roosevelt**, 2003, *Geophysical exploration of Guajará, a prehistoric earth mound in Brazil*. *Geoarchaeology*, v. 18, n. 3, p. 287-331.
- Luiz, J. G.**, 2008, *Projeto pesquisa arqueológica e educação patrimonial na vila de Joanes, ilha de Marajó*. Relatório preliminar sobre levantamento geofísico. Belém: Departamento de Geofísica/UFPa, 3 p.
- Luiz, J. G.**, 2008, *Relatório preliminar sobre levantamento geofísico na vila do Pacoval (sítio arqueológico PA-ST-24: Pacoval)*. Belém: Departamento de Geofísica/UFPa, 8 p.
- Luiz, J. G.**, 2004, *Prospecção arqueológica através de medidas magnéticas e georadar na porção norte da parte oeste e na parte leste do Sítio Domingos, Canaã dos Carajás – PA*. Relatório Técnico. Belém: Departamento de Geofísica/UFPa, 30 p.
- Luiz, J. G.**, 2003, *Prospecção arqueológica através de medidas geofísicas magnéticas e elétricas no Sítio Domingos, Canaã dos Carajás – PA*. Relatório Técnico. Belém: Departamento de Geofísica/UFPa, 26 p.
- Luiz, J. G. e R. C. Aragão**, 2006, *Prospecção geofísica para salvamento arqueológico no sítio PA-BA-83: Bittencourt*. Belém: Relatório Técnico. Departamento de Geofísica/UFPa, 20 p.
- Luiz, J. G. e E. S. Pereira**, 2005, *Prospecção arqueológica por métodos geofísicos no Sudeste do Pará: O caso do Sítio Domingos, Canaã dos Carajás*. 9º Congresso Internacional da SBGf, Salvador, disponível em CD.
- Pereira, E.**, 2006, *Programa de arqueologia preventiva na área da mineração Serra do Sossego/PA*. Relatórios de Campo, etapas de junho e setembro de 2004. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Roosevelt, A. C.**, 1991, *Moundbuilders of the amazon: geophysical archaeology on Marajo island, Brazil*. San Diego: Academic Press, 495 p.
- Roosevelt, A. C.**, 2007, *Geophysical archaeology in the lower amazon: a research strategy*. In: Wiseman, J. and El-Baz, F. (ed.) *Remote sensing in archaeology*, p. 443-475. New York: Springer.
- Wynn, J. C.**, 1986, *Archaeological prospection: an introduction to the special issue*. *Geophysics*, Tulsa, v. 51, n. 1, p. 533-537.