

INFLUÊNCIA DO DEPÓSITO SANITÁRIO METROPOLITANO DE BELÉM (AURÁ) SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA

Vânia Eunice Bahia¹
José Gouvêa Luiz²
Norbert Fenzl³

RESUMO

Medidas geofísicas com o Sistema Eletromagnético Slingram foram realizadas na área localizada entre o Depósito de Resíduos Sólidos de Belém e o Lago Água Preta, cuja água é usada no abastecimento da cidade de Belém. O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de contaminação do lago por migração em subsuperfície do chorume derivado do depósito de resíduos. As medidas eletromagnéticas permitiram construir imagens da distribuição da condutividade elétrica do subsolo. Os resultados indicam que as variações de condutividade detectadas são melhor correlacionadas às variações litológicas do que ao chorume.

Palavras-chaves: Belém; Lago Água Preta; Aurá; Resíduos Sólidos; Geofísica.

ABSTRACT

Slingram Electromagnetic Measurements were carried out in an area located between the Belem Solid Waste Deposit and Agua Preta Lake that supplies water for consumption in Belem. The objective of the work was to verify possible contamination of the lake by underground migration of leachate derived from the waste deposit. Electromagnetic measurements allowed to build images of the underground electrical conductivity distribution. The results show that detected conductivity changes are better explained by lithological changes than by the leachate.

Key words: Belem; Agua Preta Lake; Aura; Solid Waste; Geophysics.

1 - INTRODUÇÃO

A área de depósito de resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém (Depósito do Aurá) está localizada a cerca de 2 Km do Lago Água Preta, cuja água é usada no abastecimento da região. Há, portanto, uma preocupação constante de que o chorume derivado do lixo depositado no Aurá infiltre no subsolo e chegue aos mananciais de abastecimento, contaminando-os.

Diversos tipos de estudos têm sido desenvolvidos na área do depósito e na sua cercania com a finalidade de verificar essa possibilidade (Oliveira, 1997; Luiz et al, 1999; Menezes, 2000; Piratoba Morales & Fenzl, 2000, Piratoba Morales et al, 2001; Piratoba Morales, 2002).

Este trabalho descreve o estudo

realizado com metodologia geofísica em uma área ainda não investigada, que se situa entre o Depósito do Aurá e o Lago Água Preta. O estudo foi desenvolvido com a finalidade de verificar se alguma contaminação provocada pelo chorume está migrando em subsuperfície, do depósito para o lago.

O monitoramento da subsuperfície foi realizado a partir de medidas eletromagnéticas em 8 frequências, que permitiram que se obtivessem imagens da distribuição da condutividade elétrica abaixo dos perfis de medidas. Essas imagens foram posteriormente correlacionadas aos tipos litológicos observados em poços rasos da área.

¹ Curso de Pós-Graduação em Geologia & Geoquímica – CPGG/UFPA – vbahia@ufpa.br

² Prof. Dr. Departamento de Geofísica – DGF/UFPA – gouvea@ufpa.br

³ Prof. Dr. Curso de Pós-Graduação em Geologia & Geoquímica – CPGG/UFPA – norbert@ufpa.br

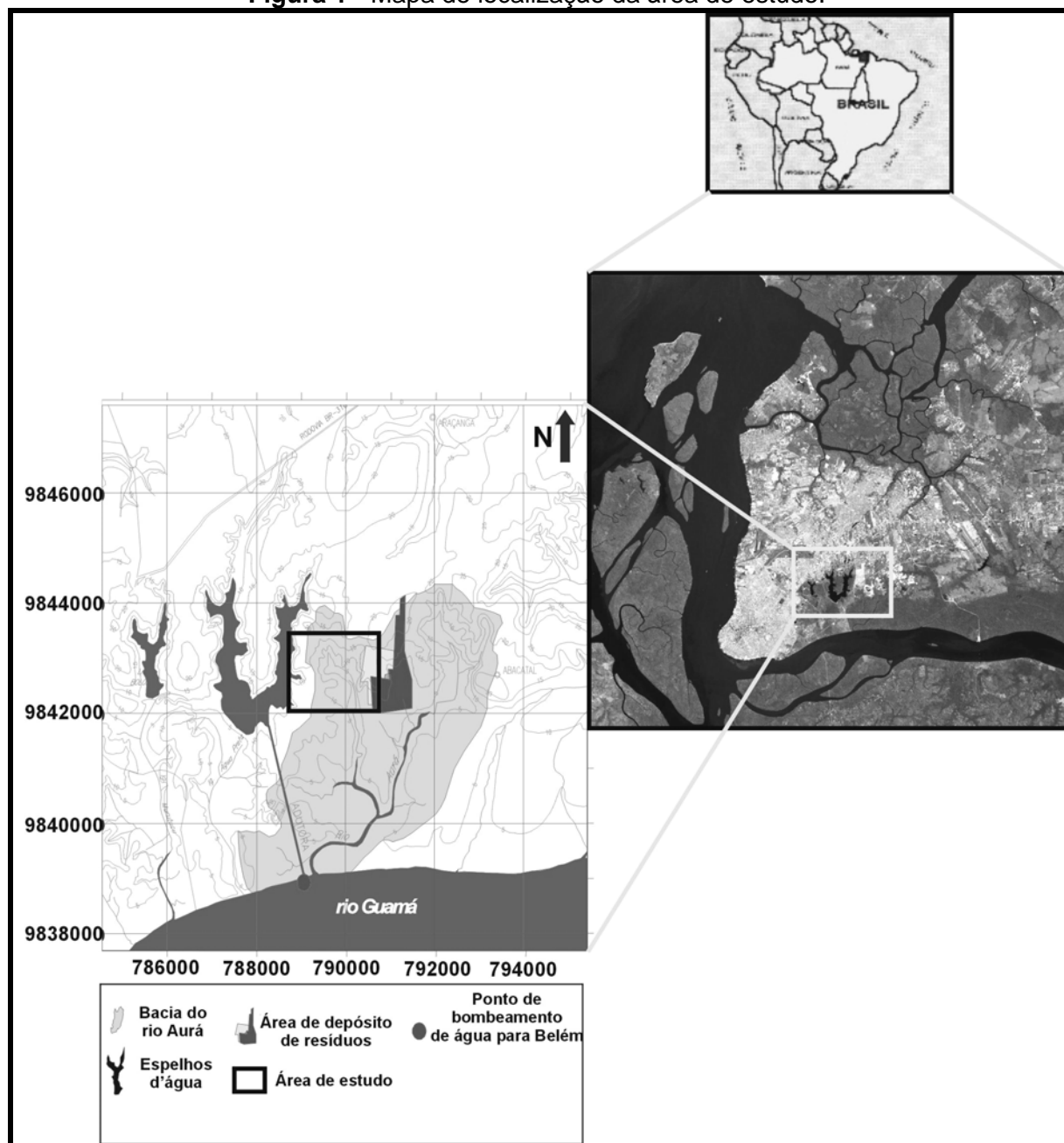
2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - Localização e acesso

O estudo foi realizado em uma área de $2,56 \times 10^6 \text{ m}^2$ que está situada na localidade de Santana de Aurá, no município de Ananindeua, entre o Depósito do Aurá e o Lago Água Preta (Figura 1). Na sua porção central encontram-se extensas áreas

pertencentes ao Ministério da Defesa (Exército) e à EMBRAPA. Ao Sul encontram-se áreas de baixadas cobertas com densa vegetação que se estendem até o Rio Guamá; a Leste a área limita-se com o Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá e a Oeste está o Lago Água Preta. O acesso principal à área é feito por estrada que corta no sentido norte-sul.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Piratoba Morales (2002).

2.2 - Geologia

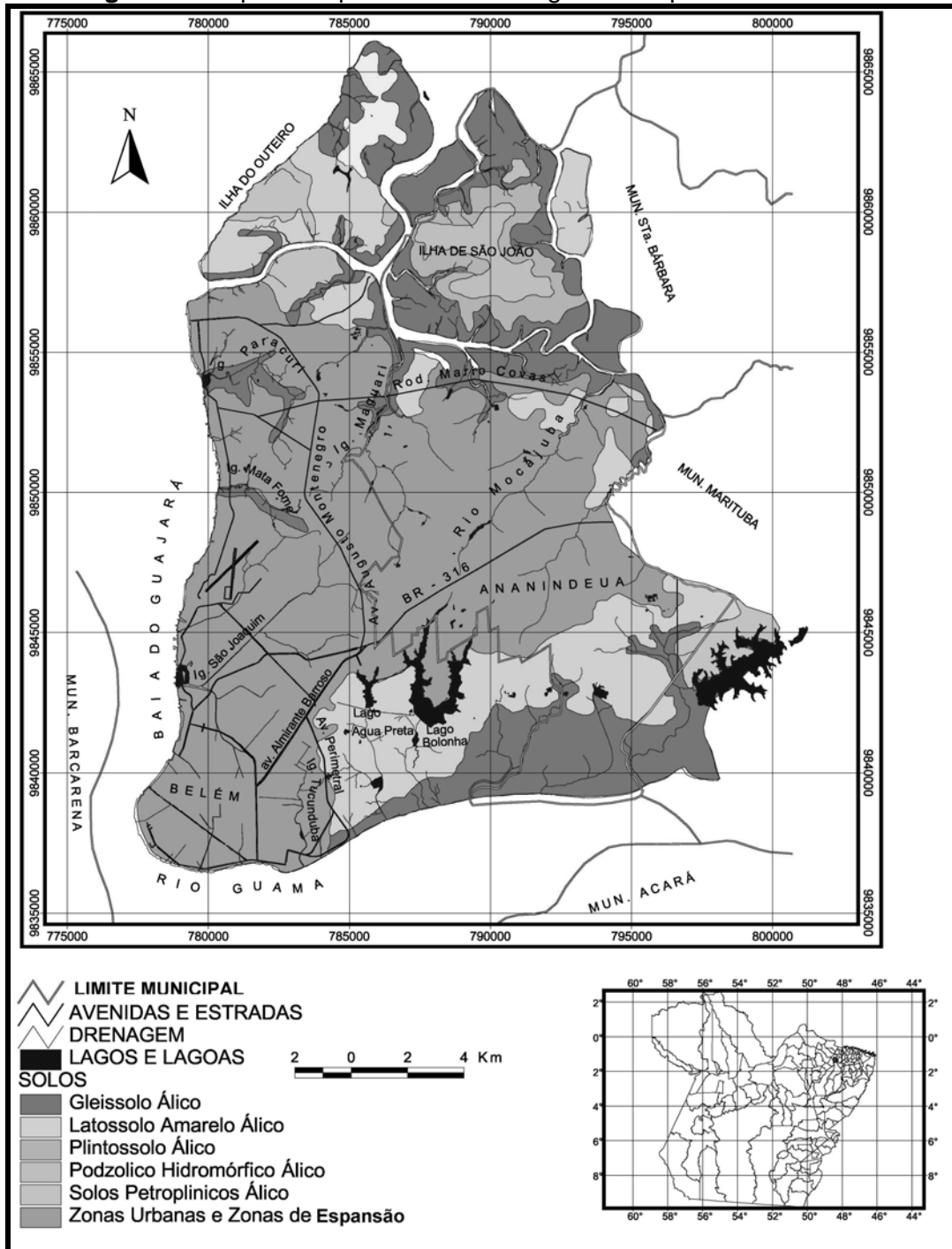
Predominam na área do estudo, solos do tipo Latossolo Amarelo, seguido do Concrecionário Laterítico, Glay pouco

húmido, Podzol Hidromórfico e Areias Quartzosas (Vieira & Santos, 1987) (Figura 2).

A análise dos sedimentos retirados de 5 poços de monitoramento instalados na área do estudo mostra que a subsuperfície local, até a profundidade média de 20m, é essencialmente argilosa (Bahia, 2003). Nos poços encontraram-se argilas de coloração marrom esverdeada, argilas variegadas com

concreções ferruginosas (mais abundantes) e cinza esbranquiçadas com tons avermelhados. Intercaladas nas argilas ocorrem pacotes de areia média a fina, quase sempre de espessuras inferiores a 2 metros (Bahia, 2003).

Figura 2 - Mapa dos tipos de solo da Região Metropolitana de Belém.



Fonte: Matta (2002).

2.3 - Hidrogeologia

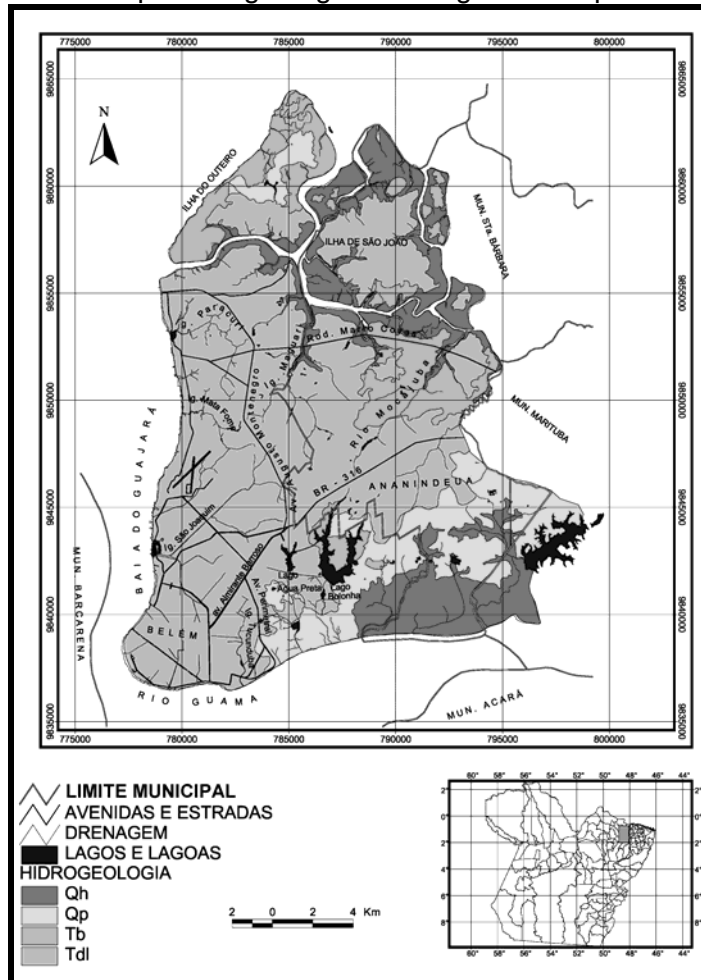
Os principais aquíferos da Região Metropolitana de Belém são

constituídos pelos sedimentos clásticos arenosos do Quaternário e do Grupo Barreiras, que se estendem em geral até

profundidades inferiores a 50m. Abaixo de 50m encontram-se aquíferos importantes representados por sedimentos arenosos e calcíferos da Formação Pirabas. A Figura 3 mostra o mapa hidrogeológico da Região

Metropolitana de Belém e uma descrição das características físicas dos aquíferos presentes, conforme apresentado por Matta (2002).

Figura 3 - Mapa hidrogeológico da Região Metropolitana de Belém.



	OCORRÊNCIA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	TIPOS LITOLÓGICOS	RESERVA (m ³ /h/10Km ²)**
Qh	Aqüíferos porosos descontínuos de extensões variáveis e livres, de Permeabilidade média a alta, e água de boa qualidade. O aproveitamento é feito por poços amazonas, ponteiros e tubulares rasos, de até 18 metros. Fornecem vazões da ordem de 10m ³ /h, são muito produtivos e de grande importância hidrogeológica.	Argilas, areias, siltes, arenitos inconsolidados e subordinadamente conglomerados	30.000
Qp	Aqüíferos porosos descontínuos de extensões variáveis e livres. Possuem alta permeabilidade, água de boa qualidade e vulnerabilidade média a alta. Seu aproveitamento é feito através de poços amazonas e tubulares rasos, de até 12 metros que permitem vazões bastante elevadas, na ordem de até 10m ³ /h.	Areias, arenitos inconsolidados médios a grossos, conglomerados e muito raramente siltes e argilas	30.000
Tdl	Aqüíferos porosos descontínuos, extensões variáveis, semi-confinados a livre e permeabilidade baixa a média. A água é de boa qualidade, podendo ocorrer excesso de ferro em alguns poços. O aproveitamento é obtido por poços tubulares de até 40 metros. Possuem grande importância hidrogeológica e oferecem vazões de 1 a 3m ³ /h.	Argilas variegadas, silte, areias, lateritos e subordinadamente arenitos ferruginosos	20.000
Tb	Aqüíferos porosos semi-confinados a confinados e extensão regional. Permeabilidade média a alta. Águas geralmente de boa qualidade, podendo ocorrer excesso de ferro, na maioria das vezes, devido, possivelmente, a presença de lateritas ferruginosas. Aproveitamento por poços tubulares de até 100m de profundidade. Possuem grande importância hidrogeológica e apresentam vazões na ordem de até 100 m ³ /h.	Argila avermelhada, silte, areia, conglomerado e subordinadas lateritas e arenitos ferruginosos	60.000
Tpi	Aqüífero poroso, contínuo de extensão regional e confinado. Sua permeabilidade é alta e de grande importância hidrogeológica, com vazões na ordem de 400m ³ /h. Aproveitamento por poços de até 300 m de profundidade.	Argilas esverdeadas, folhelhos, siltitos, calcário fossilífero, calcarenitos, areias, conglomerados e arenitos grosseiros	200.000

** disponibilidade d'água, ao longo de 50 anos.

SISTEMAS AQUIFEROS

Qh/QP e Tdl - abrangem todos os sedimentos alúvio-colúviais e detritico -lateríticos do Quaternário e do Terciário;
Tb - Grupo Barreiras; Tpi - Formação Pirabas

Fonte: Matta (2002).

3 - METODOLOGIA GEOFÍSICA

Uma das metodologias mais utilizadas para detectar e monitorar fluxos de contaminantes é a aplicação dos métodos geofísicos, sendo os mais indicados na detecção de plumas condutivas, os métodos elétricos e eletromagnéticos (Costa *et al.*⁴ apud Piratoba Morales, 2002).

Neste trabalho optou-se pelos métodos eletromagnéticos devido a rapidez e facilidade com que as medidas são realizadas no campo. Além disso, os métodos eletromagnéticos requerem pouco espaço no terreno para a execução de uma sondagem, contornando assim um dos problemas logísticos impostos pelo método elétrico da eletrorresistividade que consiste na expansão lateral dos eletrodos no terreno.

Os métodos eletromagnéticos (EM) se utilizam do fenômeno da indução eletromagnética, cuja teoria é desenvolvida nas equações de Maxwell. Sua operacionalidade se dá com a utilização de uma bobina transmissora onde um campo

magnético primário é gerado. Este campo induz correntes em materiais condutivos do subsolo. As correntes geram campos magnéticos secundários, que são medidos através de indução em uma bobina receptora.

Os métodos EM possuem diversos tipos de sistemas associados aos parâmetros medidos (inclinações do campo, componentes real e imaginária, impedância) e as configurações de arranjos entre o transmissor e o receptor. No presente trabalho foi empregado o Sistema Slingram.

Os sistemas EM podem ser usados tanto para investigar a variação lateral de resistividade na subsuperfície (caminhamento ou perfilagem horizontal), como para investigar as variações de resistividade com a profundidade (sondagens eletromagnéticas). As perfilagens horizontais são realizadas deslocando-se lateralmente o transmissor e o receptor, mantidos a uma separação constante. As sondagens EM (SEM) consistem em medidas com diversas frequências ou durante um intervalo de tempo usando fonte e receptor fixos.

A distribuição de corrente induzida na subsuperfície depende da condutividade elétrica e da permeabilidade magnética do subsolo e da frequência da corrente no

⁴ COSTA, A.L; ZANINI, L.F.; DIAS, N.L. & CORREA, O. 1992. Metodologia Geofísica para detecção de contaminação de águas subterrâneas: caso do lixão da estrada da Palha. Ciência e Tecnologia. 24-37p.

transmissor (correntes de baixa frequência alcançam maiores profundidades que correntes de alta frequência). Medidas de resposta EM em várias frequências ou para vários valores de tempo, contêm, portanto informações da variação da condutividade com a profundidade. As sondagens também podem ser realizadas, medindo-se a resposta em várias separações de fonte-receptor em uma única frequência ou tempo.

3.1 - Sistema Slingram

Este sistema, que é um dos mais empregados na aplicação dos métodos EM, consiste de um dipolo transmissor e um dipolo receptor, em que as componentes em-fase e quadratura do campo magnético secundário são medidas para uma dada frequência em percentagem do campo primário. O sistema pode ser empregado com diversos arranjos de bobinas, dos quais um dos mais populares é o arranjo denominado de HLEM (Horizontal Loop Eletromagnetic), que recebe este nome devido utilizar tanto a bobina transmissora como a receptora enrolada no plano horizontal.

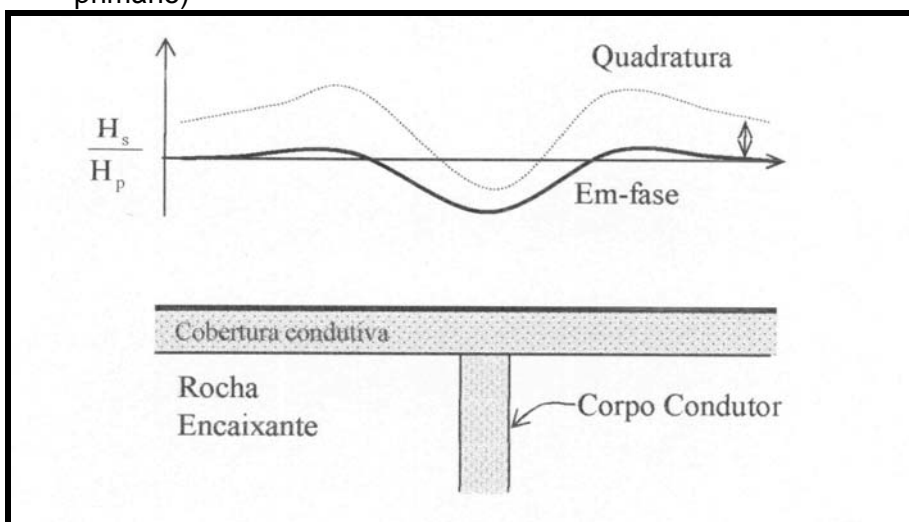
Conforme descrito anteriormente, durante a operação, uma corrente oscilante de frequência conhecida e pré-determinada passa a circular na bobina transmissora. A mesma produzirá um campo magnético primário, que induzirá força eletromotriz e,

conseqüentemente, corrente em corpos condutores existentes na subsuperfície. O campo secundário, por sua vez, induzirá uma voltagem oscilante na bobina receptora que alcança o seu máximo num tempo diferente daquele em que o máximo do campo primário é alcançado. Por isso, os campos primário e secundário são ditos estarem fora de fase (Silva, 2002).

A voltagem induzida pelo campo secundário é separada em duas componentes durante a sua medida na bobina receptora: uma que se encontra em fase com o campo primário (componente em fase ou componente real) e uma segunda que se encontra um quarto de período fora de fase (componente fora de fase, componente em quadratura ou componente imaginária). As medidas do campo secundário são tomadas como percentagem do campo primário gerado no transmissor, o qual é transmitido ao receptor via cabo ou por telemetria. A modificação do campo eletromagnético, medido no receptor em relação ao campo primário, depende da distribuição das condutividades elétricas dos diferentes meios na subsuperfície do terreno.

A Figura 4 ilustra uma resposta HLEM considerada típica, em que um corpo condutivo vertical se encontra em contato com uma rocha encaixante menos condutiva.

Figura 4 - Perfil HLEM sobre um corpo condutor (H_s = campo secundário; H_p = campo primário)



Fonte: Silva (2002)

3.2 - Coleta de Dados (Levantamento de Campo)

No presente estudo, foram executados 5 perfis de medidas com o Sistema Slingram

HLEM MAX MIN II fabricado pela Companhia APEX Parametrics Ltd., que permite amostragem nas frequências 110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080

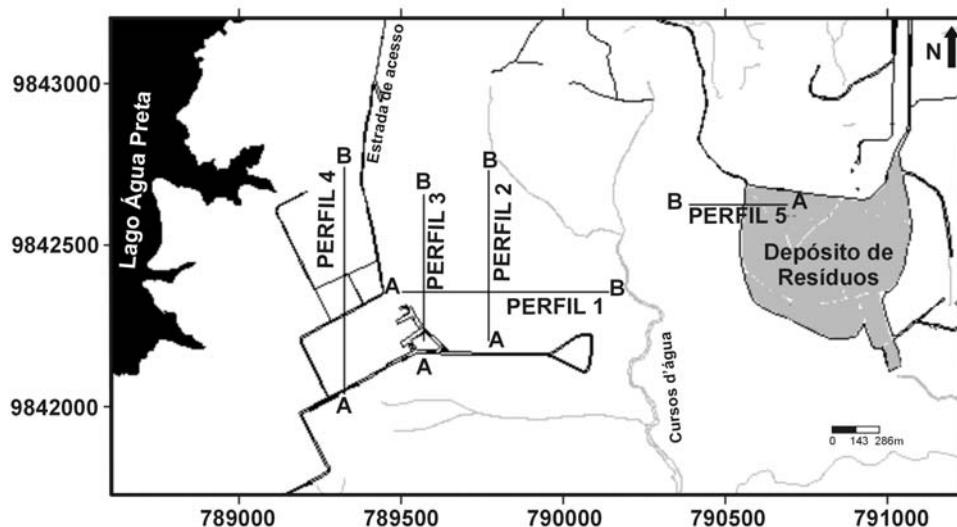
Hz. O uso das oito frequências permite a investigação na vertical (SEM) e a sua combinação com a perfilagem horizontal (investigação lateral) permite a obtenção de uma imagem da subsuperfície abaixo dos perfis.

A distância entre as bobinas transmissora e receptora foi de 50m e de 25m o intervalo entre os pontos de medidas para todos os perfis, pois esses valores oferecem uma boa resolução vertical para

os objetivos deste estudo. As medidas foram efetuadas em Agosto de 2002.

A Figura 5 mostra a localização dos 5 perfis de medidas. Eles foram realizados no sentido A-B mostrado na figura. Os locais dos perfis foram selecionados de modo que abrangessem a maior parte da área do estudo. Os perfis têm os seguintes comprimentos: 575m, 525m, 450m, 650m, 250m.

Figura 5 - Localização dos perfis eletromagnéticos na área de estudo.



4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores medidos para as componentes em fase e quadratura foram representados na forma de perfis, com as posições de medida na horizontal e os valores das componentes no eixo vertical. Essa representação permite que se visualize variações laterais e se identifiquem eixos de condutores localizados na subsuperfície, similares ao mostrado na Figura 4.

Além disso, as componentes em-fase e quadratura foram combinados através da fórmula:

$$Z = \sqrt{F^2 + Q^2} ,$$

sendo Z o módulo do campo, F o valor da componente em fase e Q o valor da componente em quadratura.

O valor de Z adquirido, foi então representado de modo a se visualizar a sua variação com a frequência. Para isso, em cada posição de medida, os valores de Z foram colocados em um eixo vertical e a seguir correlacionados lateralmente, traçando-se contornos de isovalores. Esse tipo de representação permite visualizar o comportamento do ambiente geológico na

direção vertical, abaixo das posições de medida, uma vez que a profundidade de investigação depende da frequência (frequências mais altas estão relacionadas com uma menor profundidade e frequências mais baixas com maiores profundidades). Essa representação equivale, portanto, a uma sondagem vertical da subsuperfície e segundo Silva (2002), os valores maiores de Z são associados às zonas mais condutoras da subsuperfície, por exemplo as zonas argilosas.

Abaixo se apresenta uma descrição das medidas obtidas nos 5 perfis e a sua interpretação.

a) Perfil 1

Os valores medidos ao longo deste perfil estão representados na Figura 6 (valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético) e Figura 7 (contorno de isovalores do módulo de campo). Ambas as formas de representação mostram a distância percorrida de 600 metros no sentido oeste-leste para o perfil, que termina no Igarapé Santo Antônio.

A representação da Figura 6 permitiu a identificação de 5 eixos condutores cuja localização é mostrada por setas na figura.

O eixo identificado na posição 100m da Figura 6 é bem evidenciado na representação mostrada na Figura 7 pela zona condutora entre as posições 75m e 125m, que ocorre em todas as frequências. É possível que tal condutividade esteja relacionada a mudanças litológicas (material argiloso) em subsuperfície ou à presença de água.

Os outros eixos condutores evidenciados na Figura 6 (posições 225, 350, 400 e 525m) não parecem estender-se a grandes profundidades, conforme indica a representação mostrada na Figura 7. Os condutores a eles associados parecem ser essencialmente superficiais e podem ser devidos a solo mais úmido e/ou argiloso. O

condutor localizado na posição 525m pode também ser devido à influência antrópica, o que acarretou alterações nos valores obtidos para esta estação.

É possível que o contorno de isovalor 20 mostrado na Figura 7, possa ser correlacionado ao topo dos sedimentos lateríticos menos condutivos do Grupo Barreiras. Nesse caso, os valores de contorno maiores que 20 estariam associados a sedimentos mais condutivos, provavelmente do Pós-Barreiras.

A representação mostrada na Figura 7, ao ser correlacionada com os sedimentos da subsuperfície, proporciona uma imagem geológica aparente da subsuperfície. A imagem é considerada aparente, devido não apresentar uma escala de profundidade definida.

Figura 6 - Valores dos componentes em-fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 1.

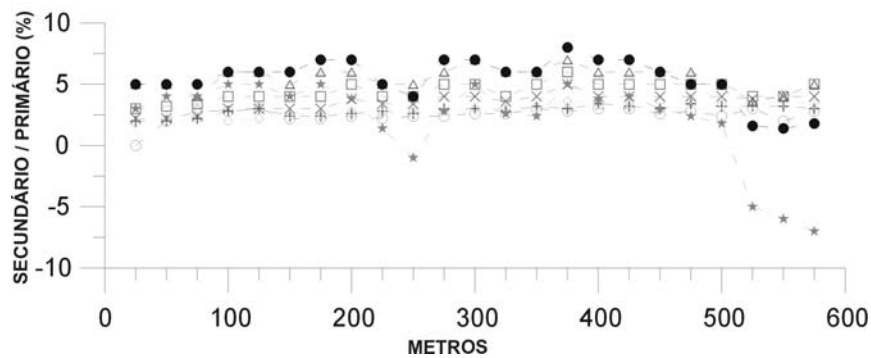
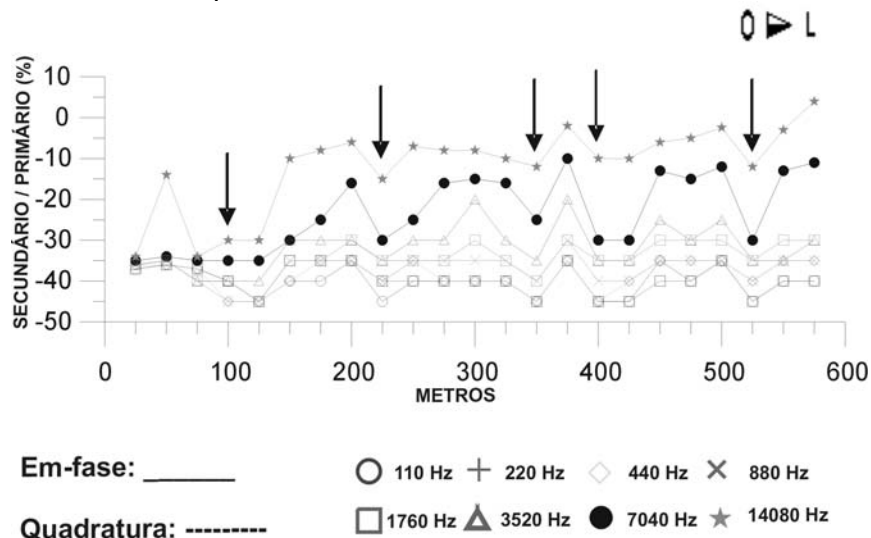
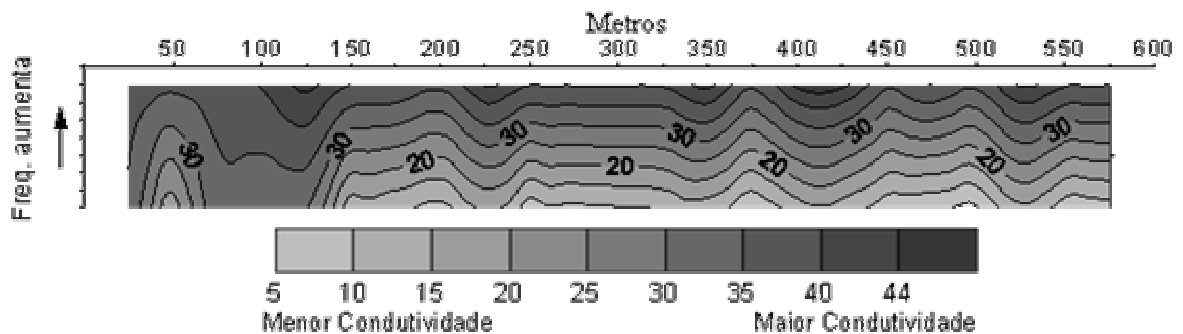


Figura 7 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 1.



b) Perfil 2

O perfil 2 foi realizado no sentido S-N, cruza o perfil 1 e cobre uma distância de 525m. Este perfil foi interrompido aos 525m devido a presença de uma torre de alta tensão, que influenciou nas medidas coletadas a partir desta posição.

As observações geológicas de superfície ao longo deste perfil permitiram identificar a presença de um terreno bastante argiloso e úmido no decorrer de todo o seu percurso.

As Figuras 8 e 9 mostram respectivamente as respostas obtidas para as componentes em-fase e quadratura e do módulo do campo.

Os valores das componentes em-fase e quadratura mostrados na Figura 8 permitiram a identificação de 3 eixos condutores. Esses eixos, são bem evidentes em todas as frequências embora as condutividades a eles associadas sejam maiores para as frequências mais altas, conforme indica a representação da Figura

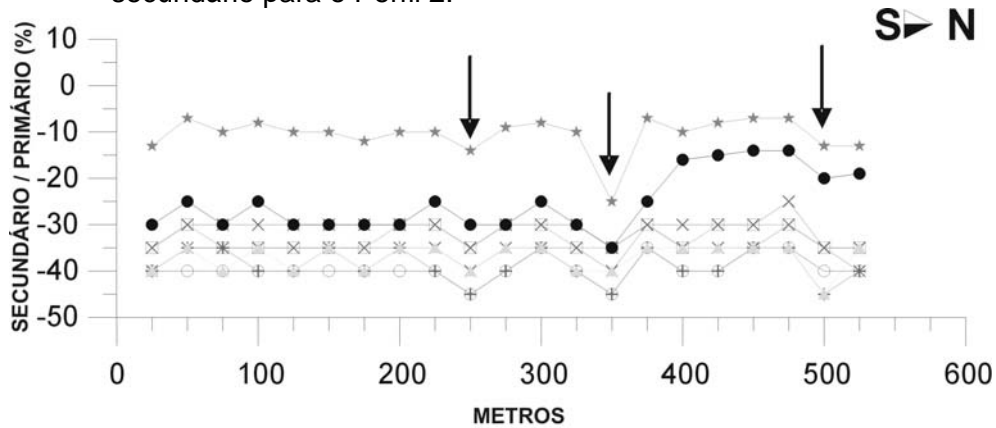
9. É provável que eles sejam devidos a presença de água no solo, que neste perfil estava bem evidenciada superficialmente.

O eixo condutor localizado na posição 350m parece ser o que se estende a maior profundidade, conforme sugere a

representação da Figura 9.

Considerando o contorno de isovalor 20 como o limite da zona laterítica do Grupo Barreiras, o perfil pode ser usado como uma imagem aparente da subsuperfície, conforme descrito anteriormente.

Figura 8 - Valores das componentes em-fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 2.



Em-fase: _____

○ 110 Hz + 220 Hz ◇ 440 Hz × 880 Hz

Quadratura: - - - - -

□ 1760 Hz △ 3520 Hz ● 7040 Hz ★ 14080 Hz

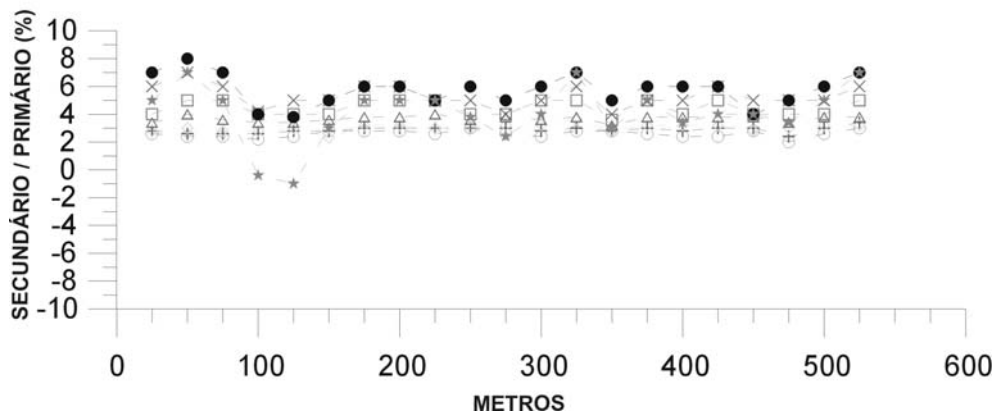
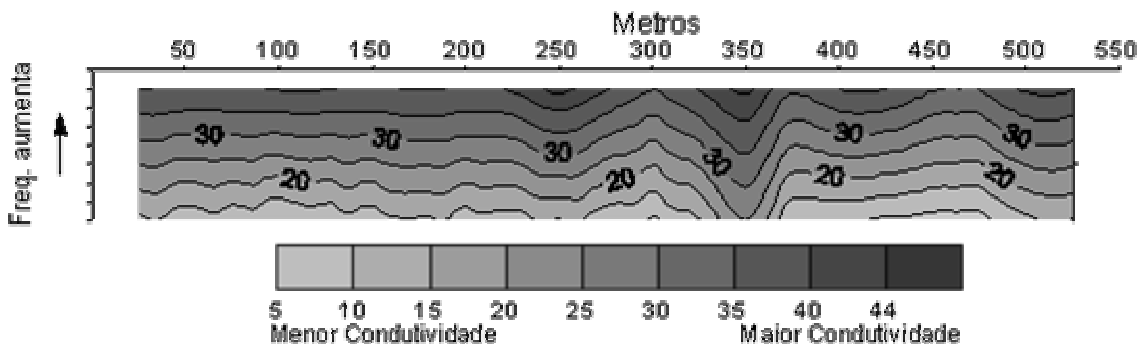


Figura 9 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a freqüência para o Perfil 2.



c) Perfil 3 (área do Exército)

Este perfil foi realizado no sentido S-N, paralelo ao perfil 2, e cobriu a extensão de 450m. O perfil, à semelhança do perfil 2 foi interrompido na torre de alta tensão. As medidas obtidas neste perfil encontram-se representadas nas Figuras 10 e 11.

Quatro eixos de condutores podem ser identificados na Figura 10. Desses, a

comparação com a representação do módulo de campo na Figura 11, indica que os eixos localizados nas posições 175m e 375m associam-se a corpos condutores que se estendem a maiores profundidades. Como anteriormente, a Figura 11 mostra uma imagem geológica aparente onde o topo do Grupo Barreiras se delineia através do contorno de valor 20.

Figura 10 - Valores dos componentes em-fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 3.

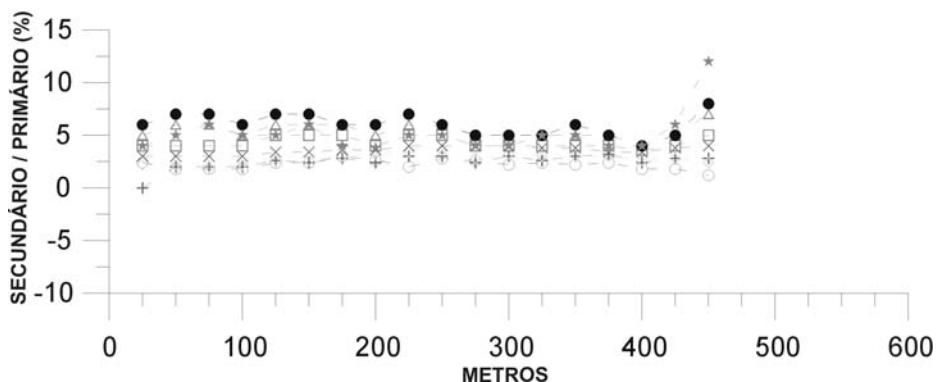
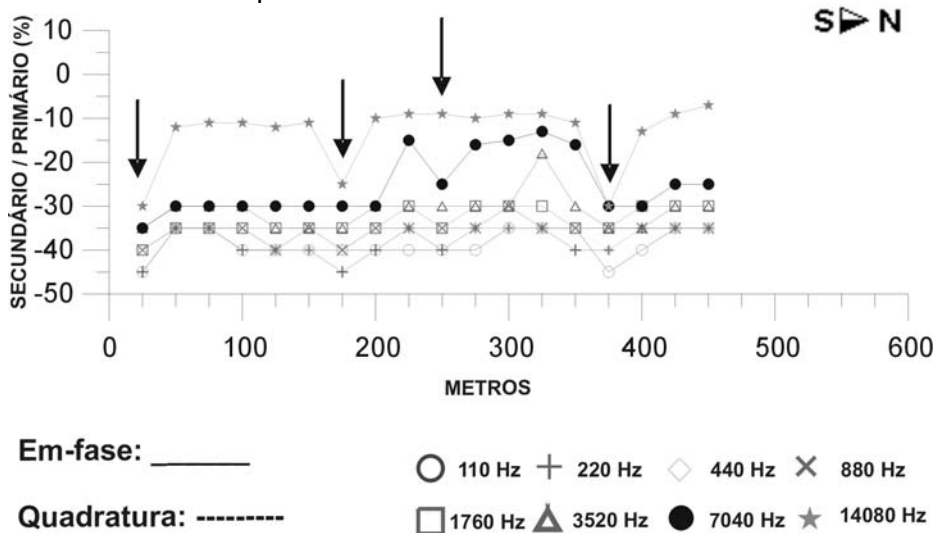
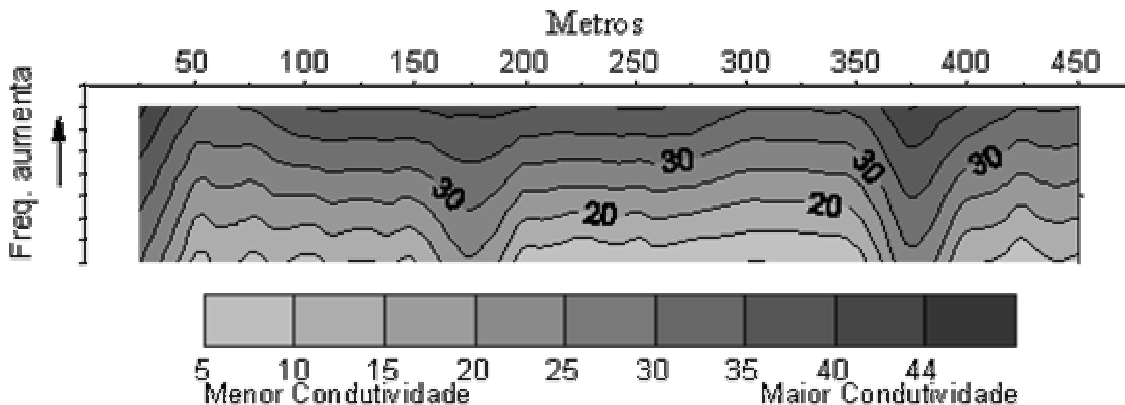


Figura 11 - Contornos de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 3.



d) Perfil 4 (área da EMBRAPA)

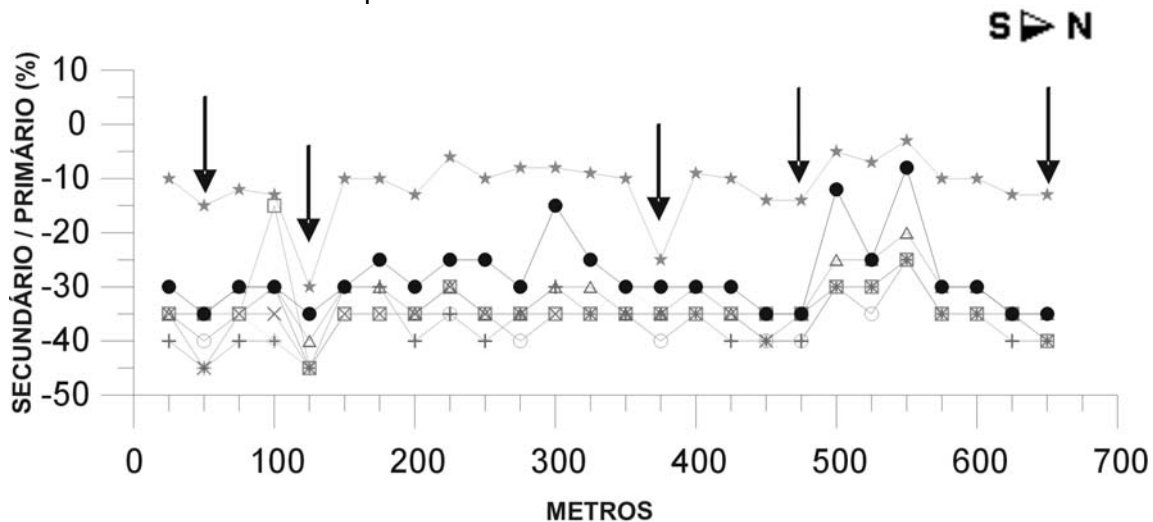
Este é o perfil mais a oeste na área estudada e foi realizado em área pertencente à EMBRAPA. O perfil se inicia próximo à estrada de acesso e tem 650m de extensão em direção ao Norte. Os valores medidos são apresentados na forma de perfis das componentes em-fase e quadratura do campo magnético (Figura 12) e módulo do campo (Figura 13).

Na Figura 12 é possível identificarem-se 5 eixos de condutores. A comparação com a Figura 13 indica que os condutores associados aos eixos localizados nas posições 125m e 375m estendem-se a profundidades maiores que os outros.

Ainda na Figura 12, verifica-se que no intervalo entre as estações 25m e 100m do perfil, as curvas apresentam um comportamento anômalo caracterizado por diversas oscilações. Possivelmente, isto se deve à presença nesta área de várias interferências antrópicas, como uma linha de transmissão e cercas de arame que a delimitam.

A representação da Figura 13 indica que as zonas mais condutoras estendem-se a profundidades menores do que nos outros perfis. Nas posições entre 550m e 650m, por exemplo, há um predomínio de material mais resistivo próximo à superfície do terreno.

Figura 12 - Valores das componentes em-fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 4.



Em-fase: _____

○ 110 Hz + 220 Hz ◇ 440 Hz × 880 Hz

Quadratura: - - - - -

□ 1760 Hz △ 3520 Hz ● 7040 Hz ★ 14080 Hz

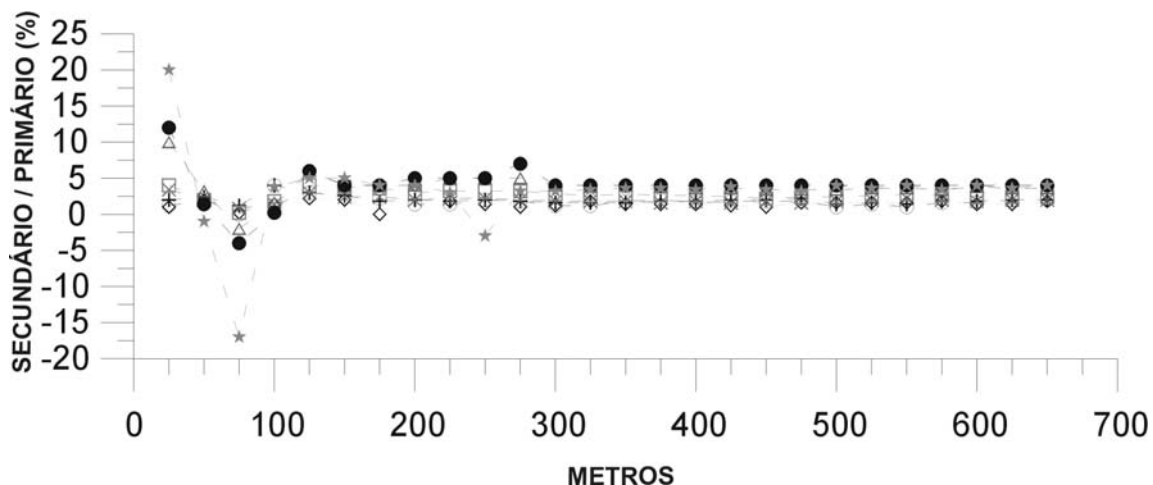
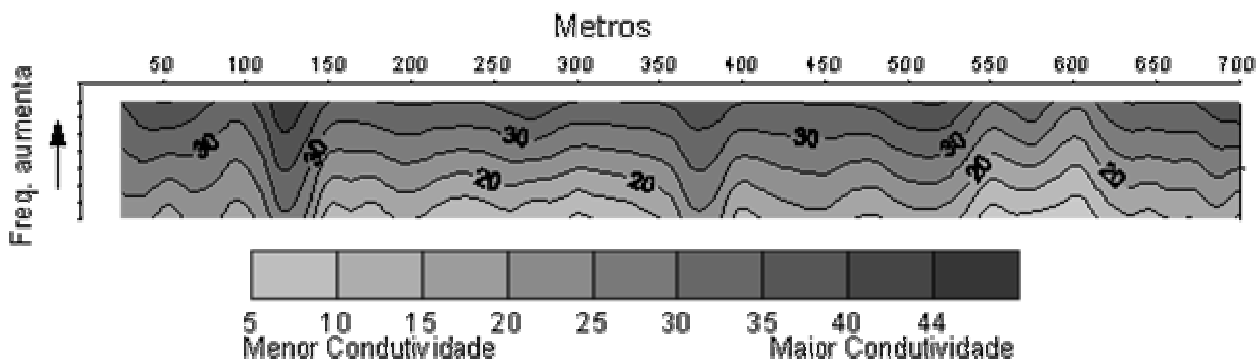


Figura 13 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 4.



e) Perfil 5 (Depósito de Resíduos Sólidos)

Este é o perfil localizado mais a leste na área do estudo, mais precisamente na área de Depósito de Resíduos Sólidos de Belém.

Os valores obtidos ao longo deste caminhamento estão representados na Figura 14 (componentes em fase e quadratura do campo magnético) e Figura 15 (módulo do campo).

Figura 14 - Valores das componentes em-fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 5.

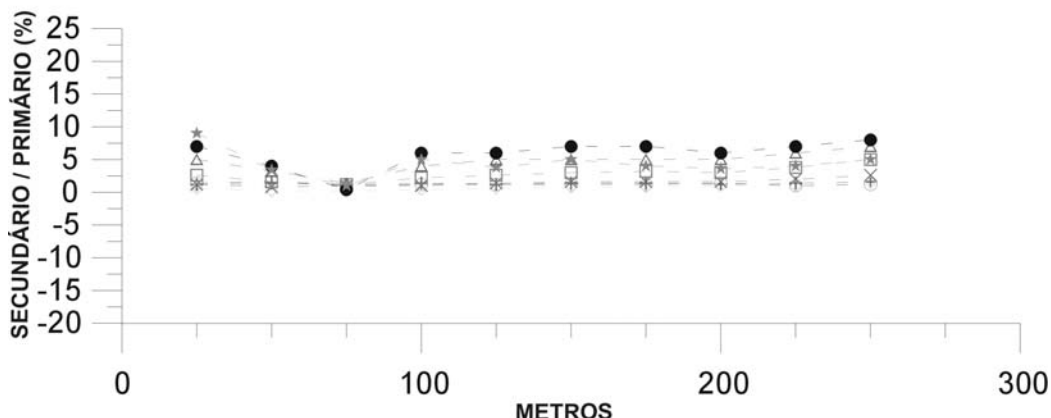
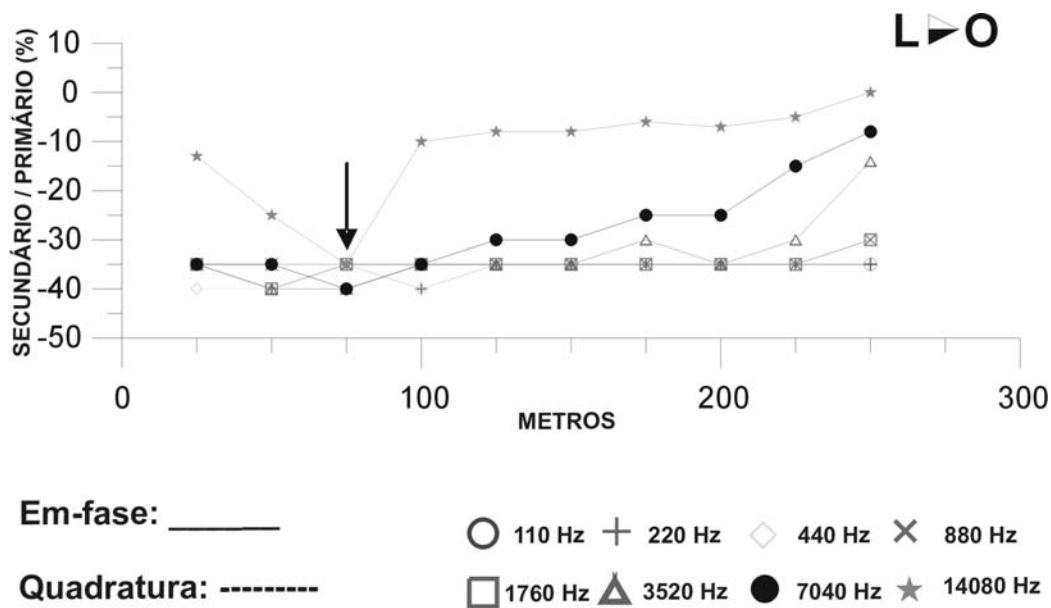
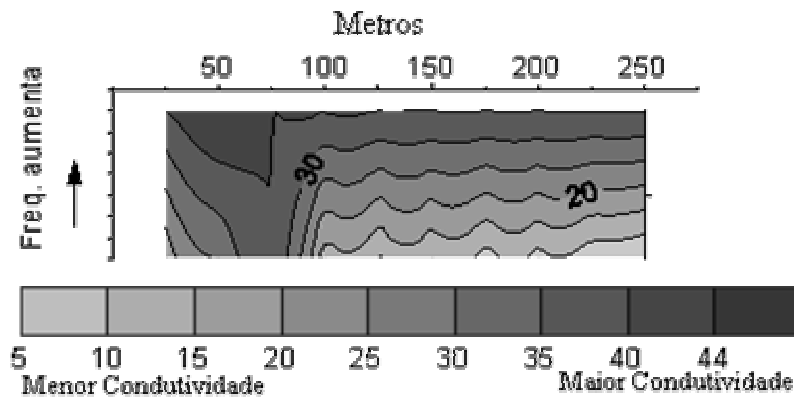


Figura 15 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a

freqüência para o Perfil 5.



As observações feitas ao longo deste perfil permitiram estabelecer apenas um eixo de condutor na estação 75m (Figura 14). O eixo é bem evidente em todas as freqüências (Figura 15) e a análise em conjunto com os litotipos e as condições do ambiente (depósito de resíduos), sugere que ele pode estar associado provavelmente à presença de água e/ou chorume. A zona condutora evidenciada estende-se em profundidade, porém não se propaga em direção ao Lago Água Preta.

7 - CONCLUSÕES

A representação das medidas eletromagnéticas na forma de perfis das componentes em fase e quadratura evidenciou diversos eixos de condutores. Por outro lado, a representação das medidas na forma de sondagens eletromagnéticas (módulo de campo versus freqüência) permitiu que se visualizasse a extensão em profundidade desses eixos.

A distribuição espacial da condutividade evidenciada na representação das sondagens eletromagnéticas, quando correlacionada com os tipos litológicos observados nos poços de monitoramento existentes na área, permite que se tenha uma pseudo-seção geológica ou imagem geológica aparente abaixo dos perfis de medidas. Essa pseudo-seção sugere que as oscilações de condutividade evidenciadas com as medidas eletromagnéticas relacionam-se muito mais com a litologia do que com a contaminação provocada por chorume proveniente do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá. Apenas no perfil 5, realizado a partir do depósito de resíduos, a zona anômala de condutividade pode ser devida ao chorume, porém ela não se

estende lateralmente em direção ao Lago Água Preta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa, pelo financiamento do referido projeto de estudo através do Processo Nº 476923/01-8.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAHIA, V.E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Auré) e o Lago Água Preta.** Belém: 2003. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia). Centro de Geociências - UFPA.
- LUIZ, J.G.; PIRATOBA MORALES, G.; ALVES, J. G.V.; LOPES, E. Apparent Resistivity Measurements in Complexo do Aurá Landfill, Ananindeua - Pará -Brazil. In: SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS OF BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, (1999, Rio de Janeiro). *Anais...* Rio de Janeiro: 1999.
- MATTA, M.A. DA S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil.** Belém: 2002. Tese (Doutorado em Hidrogeologia). Centro de Geociências – UFPA..
- OLIVEIRA, A.H. **Metais pesados nos arredores de depósitos de lixo de Belém-PA.** Belém: 1997. Dissertação (Mestrado em Geoquímica). Centro de Geociências - UFPA.
- PIRATOBA MORALES, G. & FENZL, N. Environmental impact for of the deposit of solid waste of the "Auré" Belém-PA

- (Brazil). In: 31^a INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS (2000, Rio de Janeiro). **Anais...** Rio de Janeiro: 2000.
- PIRATOBA MORALES, G.; LUIZ, J.G.; MENDES, R.L.R. & BARRADAS, J.A. Delimitação da pluma de contaminação dos resíduos sólidos do Lixão do Aurá (Ananindeua/PA) por imageamento elétrico. In: 7TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, (2001, Salvador). **Anais...** Salvador: 2001.
- PIRATOBA MORALES, G. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá.** Belém: 2002. Tese (Doutorado em Hidrogeoquímica). Centro de Geociências – UFPA.
- SILVA, R.C.S. **Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança, nordeste do Pará.** Belém: 2002. Dissertação (Mestrado em Geofísica). Centro de Geociências - UFPA.
- VIEIRA, L.S. & SANTOS, P.C.T. **Amazônia: seus solos e recursos naturais.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1987.