

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS AO DIAGNÓSTICO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PARQUE AMBIENTAL DE BELÉM (PA).

Autores: Vânia Bahia¹; José Gouvêa Luiz²; Norbert Fenzl³; Gundisalvo Piratoba Morales⁴

RESUMO

O Parque Ambiental de Belém, localizado na Região Metropolitana de Belém, engloba os Lagos Bolonha e Água Preta - com uma área total de 8.989.500 m² (CENSA/COSANPA, 1983). Esses lagos são os dois grandes reservatórios de água superficial da cidade, reforçados por uma adutora que lhes fornece água do Rio Guamá. Devido à pressão urbana com o surgimento de favelas sem saneamento básico, desmatamento e a ocupação de terra com fins especulativos, esta área de proteção ambiental está sofrendo impactos e processo de degradação ambiental.

A presente pesquisa teve como um dos objetivos específicos à **caracterização geofísica do Parque Ambiental de Belém, avaliando os impactos ambientais nele ocorrentes**, correlacionando os dados obtidos com estudos de poços de monitoramento.

As medidas geofísicas eletromagnéticas (EM) e as Sondagens Elétricas Verticais (SEV) realizadas, refletiram a presença de camadas argilosas e do lençol freático relativamente próximo à superfície do terreno. Os resultados levantados com este método indireto, permitiram identificar valores anômalos (alta condutividade) em alguns locais, que foram posteriormente verificados mediante a instalação de poços de monitoramento e análise geoquímica de amostras de água.

Palavras-chaves: Geofísica Ambiental; Parque Ambiental de Belém; Contaminação.

¹ Núcleo de Altos Estudos Amazônicos/Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica/UFPA: Campus Universitário do Guamá – Setor Profissional - Av. Perimetral, S/N^o – Fone/Fax: (91) 3201-7868 – E-mail: vbahia@ufpa.br;

² Departamento de Geofísica/UFPA Campus Universitário do Guamá – Rua Augusto Corrêa, N^o 01 – Fone: (91) 3201-7107 – E-mail: gouvea@ufpa.br.

³ Núcleo de Altos Estudos Amazônicos/UFPA: Campus Universitário do Guamá – Setor Profissional - Av. Perimetral, S/N^o – Fone/Fax: (91) 3201-7868 – E-mail: norbert@ufpa.br;

⁴ Centro de Ciências Naturais e Tecnologia-CCNT/UEPA: Trav. Enéas Pinheiro, 2626 – Fone: (91) 3276-4011 – E-mail: gundy_morales@yahoo.com.br

ABSTRACT

The Belém Environmental Park, located within the Metropolitan Region of Belém, encompasses the Bolonha and Água Preta lakes – with a total area of 8.989.50 sq meters (CENSA/COSANPA, 1983). The Bolonha and Água Preta lakes, are the city large water reservoirs, reinforced by a water intake, which drains water from the Guamá. This whole area has been exposed to environmental impacts and environmental degradation processes due to the urban pressure caused by surrounding slumbers without basic sanitation, deforesting practices, and land occupation.

The main goal of our work is to present a geophysical characterization of the Belem Environmental Park, assessing resulting environmental impacts in the area, by correlating monitoring wells data.

Electromagnetic (EM) geophysical measurements, and Vertical Electrical Resistivity (VERS) carried throughout the project, showed the presence of clayed layers and the shallow water table nearby. The results achieved through this indirect method allowed the identification of anomalous values (high conductivity) in some locations that were later checked by installed monitoring wells, and geochemical analysis of water samples.

Key words: Environmental Geophysics; Belem Environmental Park; Contamination.

1 - INTRODUÇÃO

Em Belém, a maior cidade da Amazônia, com uma população estimada de 1.405.871 habitantes (IBGE, 2005), são visíveis as formas de degradação ao meio ambiente. A cidade cresce de forma confusa e caótica e assim problemas ambientais decorrentes da expansão da metrópole se configuram sobre o meio ambiente oriundos principalmente do crescimento urbano, havendo por isso um quadro sócio-ambiental permissivo e favorecedor de agravos à saúde da população, que ocorrem em grande número, gravidade e proporção.

A problemática do Parque Ambiental de Belém existe em decorrência da urbanização crescente e desordenada que se verifica nos municípios de Belém e Ananindeua, levando ao surgimento de bairros, conjuntos residenciais e à multiplicação de favelas. Nesses locais encontram-se as principais nascentes das bacias hidrográficas dos lagos Bolonha e Água Preta, algumas destas já seriamente comprometidas, pois se encontram sujeitas à degradação às suas proximidades.

1.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÀREA DE ESTUDO

A cidade de Belém está inserida na micro-região Guajarina no Estado do Pará, com uma área territorial de 736 km². Limita-se pela baía de Marajó até o extremo oriental da ilha de Mosqueiro; ao sul, pelo rio Guamá, até a confluência com o rio Mojú; a oeste, pelas baías do Guajará, Santo Antônio e Marajó (Figura 1).

A Grande Belém abrange os municípios de Belém, que tem como principais distritos Icoaraci e Mosqueiro; Ananindeua e parte de Benevides. O município de Ananindeua é contíguo ao de Belém e possui uma área aproximada de 485 km².

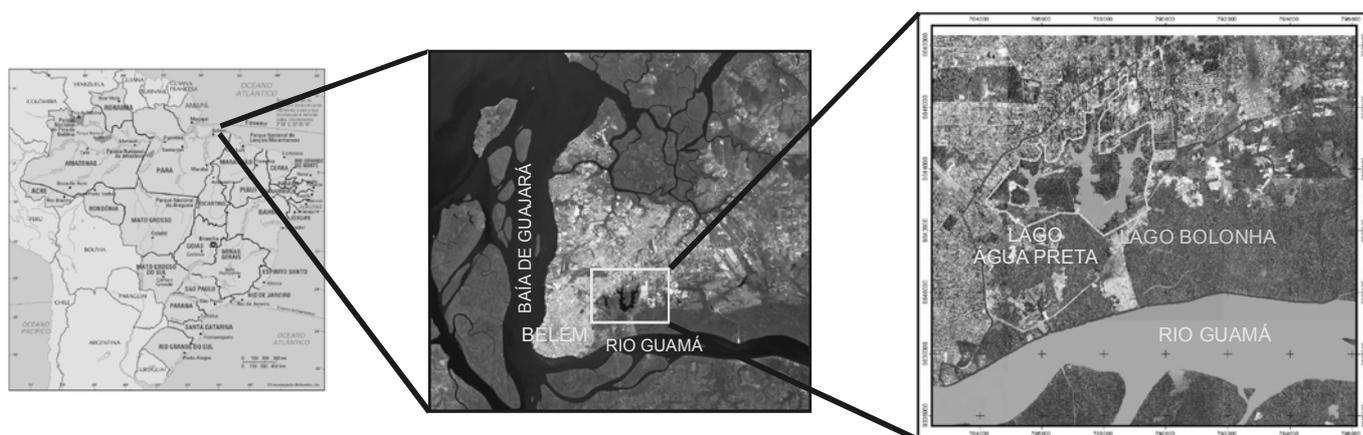


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (modificado de Bahia, 2003).

O Parque Ambiental de Belém, com uma área de 8.989.500 m², está localizado em uma área delimitada por um polígono irregular (Figura 2). Ao Norte está limitado pelo Igarapé Água Cristal, afluente esquerdo da Microbacia do Igarapé São Joaquim, pertencente à Bacia do Igarapé do Una. Ao Sul pelo Rio Guamá, a leste pela Bacia do Rio Aurá e a oeste pela microbacia do Igarapé Tucunduba, afluente do Rio Guamá. É formado pelos lagos Bolonha, Água Preta e as suas áreas de entorno. Estes lagos representam parte dos mananciais de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém. Os “açudes” representados pelos lagos Água Preta e Bolonha, situados a NE de Belém são os dois grandes reservatórios de água superficial que a cidade utiliza; são eles formados pela barragem de algumas nascentes e “igarapés” dessa região, reforçados por uma adutora que lhes fornece água do Guamá, captada à montante da aglomeração belenense.

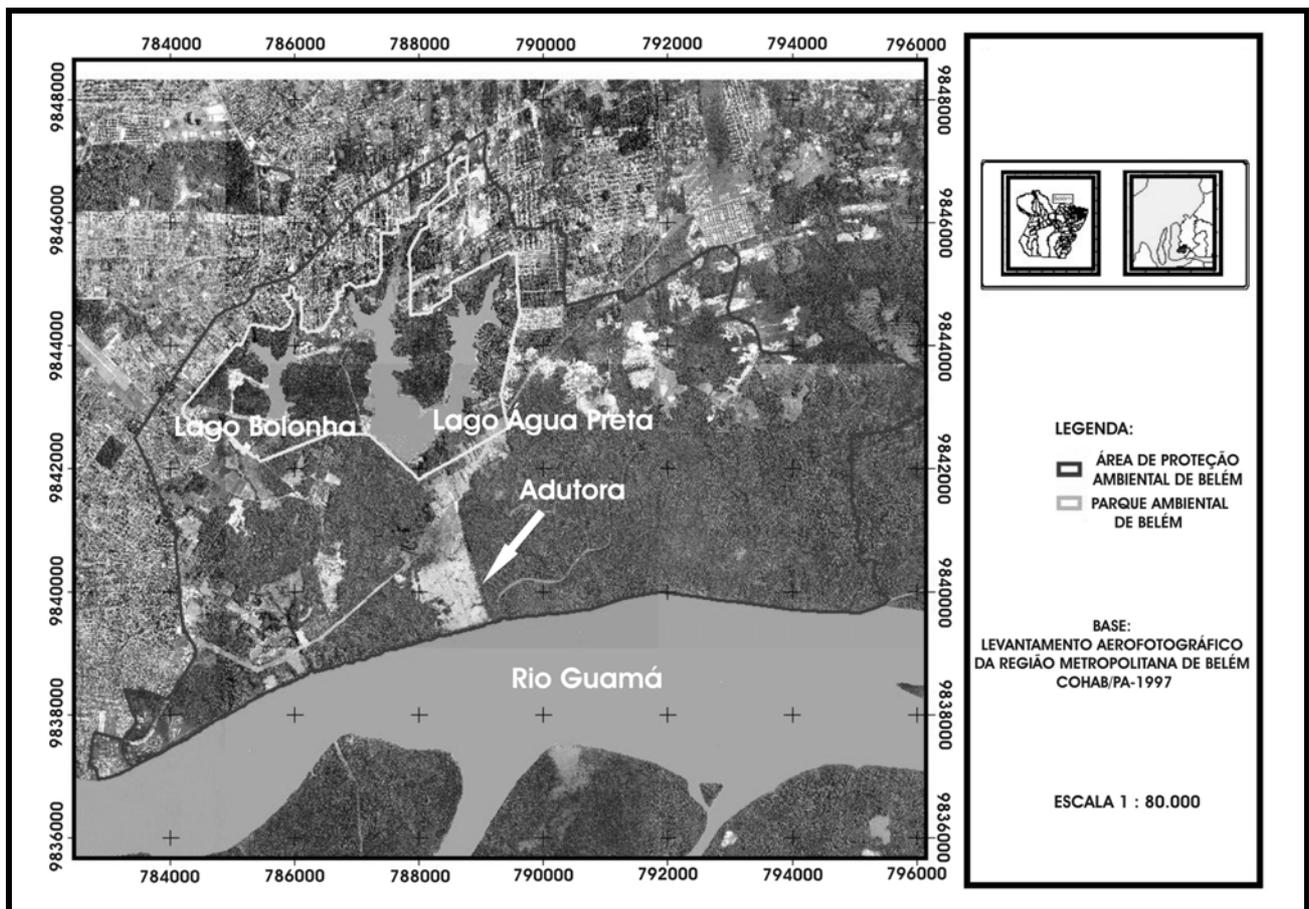


Figura 2 - Mapa de delimitação do Parque Ambiental de Belém-PA (COHAB, 1997).

2 - OBJETIVOS

2.1 - GERAL

- Avaliação dos impactos ambientais da área do Parque Ambiental de Belém-PA, baseado em estudos geofísicos.

2.2 - ESPECÍFICOS

- Determinar mediante metodologias diretas (poços de monitoramento) e indiretas (de Sondagens Elétrico Verticais SEV e Método Eletromagnético) as áreas da zona saturada atingidas por infiltração de contaminantes;

- Gerar subsídios que permitam desenvolver trabalhos de pesquisa mais apurados em diferentes temas abordados.

3 – GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

Os terrenos que constituem a Região Metropolitana de Belém (RMB) são de rochas sedimentares sobrejacentes a um substrato granito-gnaissico, os quais são formados por quatro unidades geológicas: Formação Pirabas, Grupo Barreiras, Grupo Pós-Barreiras e Aluviões (IDESP, 1980). Esse pacote sedimentar pertence à bacia da foz do Amazonas e pode atingir mais de 4.000 metros de espessura.

Segundo Farias et al. (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras (Figura 3).

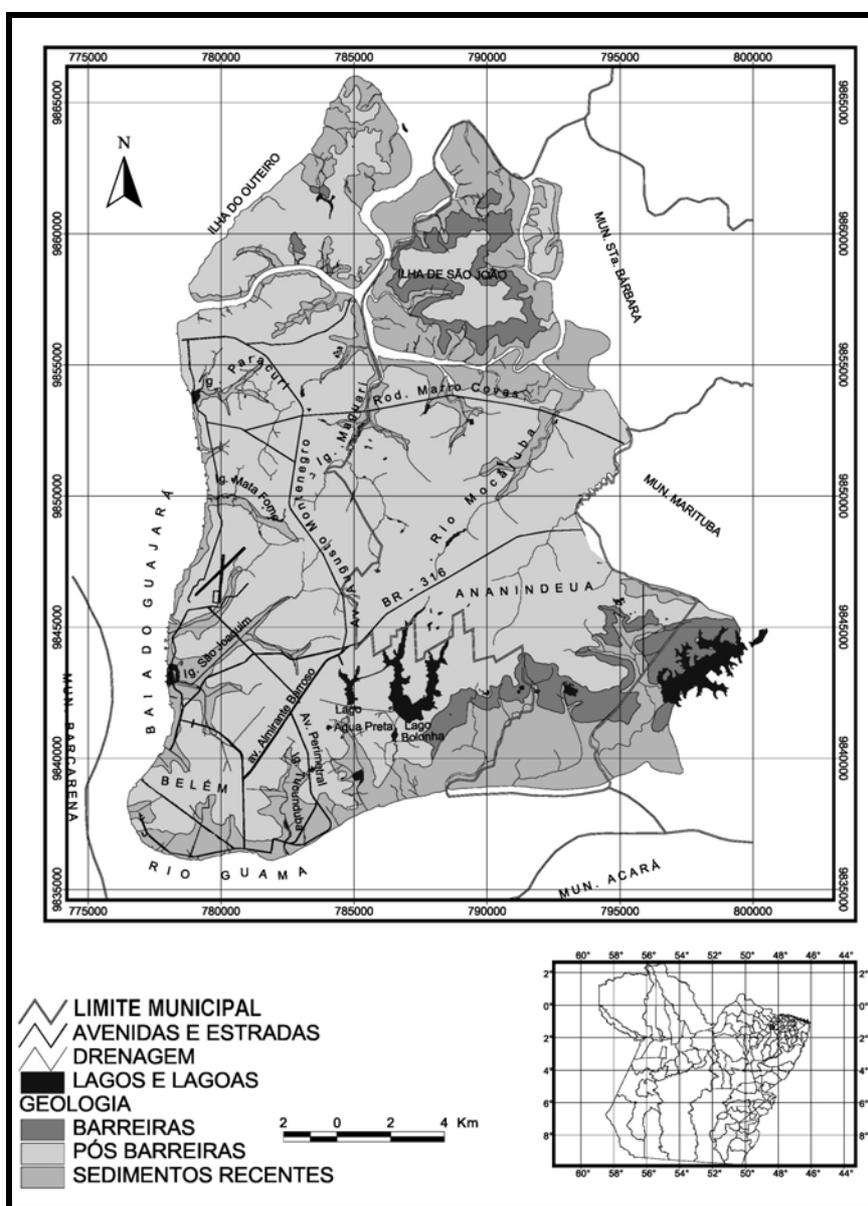


Figura 3 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Matta, 2002)

Os principais aquíferos da RMB são constituídos pelos sedimentos clásticos arenosos do Quaternário (Pós-Barreiras), do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas (Pereira et. al., 1994). Sendo que os aquíferos do Quaternário são formados por areias finas a médias, quartzosas, de origem continental, cuja espessura média de sedimentos é de cerca de 20 metros. Localizam-se geralmente na parte superior de terreno, com pequena distribuição espacial e apresentando alta vulnerabilidade à contaminação.

Adjacente à área de estudo, há uma grande área devastada pela extração de material de construção, que apresenta confinamento de águas superficiais pontuais em toda sua extensão.

O solo natural da área, em sua grande parte, é caracterizado por camadas do tipo argilo-arenoso em que a declividade natural do terreno indica um caimento no sentido sul-norte e leste-sul, o que proporciona o escoamento das águas superficiais em direção ao lagos, igarapés e ao Rio Guamá.

4 – EVOLUÇÃO URBANA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM-PA

Segundo Bordalo (2006), o processo de expansão urbana das grandes metrópoles tem sido no mundo inteiro, uma das principais causas de ocupação e degradação das áreas de mananciais e vem ocorrendo com maior intensidade nas metrópoles localizadas nos países em desenvolvimento.

Essa rápida expansão urbana está relacionada ao diferenciado nível de desenvolvimento econômico e demográfico e pela crescente industrialização e urbanização dos países em desenvolvimento. Ela é responsável pelo aumento cada vez maior da demanda urbana, seja industrial ou domiciliar, por água tratada oriunda dos mananciais, que antes ficavam em áreas rurais e agora passam a ser inseridos dentro da nova malha urbana.

Essa situação de elevado crescimento urbano, sem um crescimento correspondente das ações de caráter urbanísticas e sanitárias em algumas metrópoles, como a implantação de rede de coleta e tratamento de esgotos sanitários, canalização de rios e córregos, e a preservação da mata ciliar, só tem agravado os impactos produzidos no ciclo hidrológico.

A expansão da metrópole vem contribuindo para ocupação urbana da área de entorno do Parque Ambiental de Belém, através do entendimento das diferentes formas de apropriação, bem como do processo de degradação ambiental verificado nas microbacias hidrográficas dos Igarapés do Murutucu e Água Preta (Figura 4).

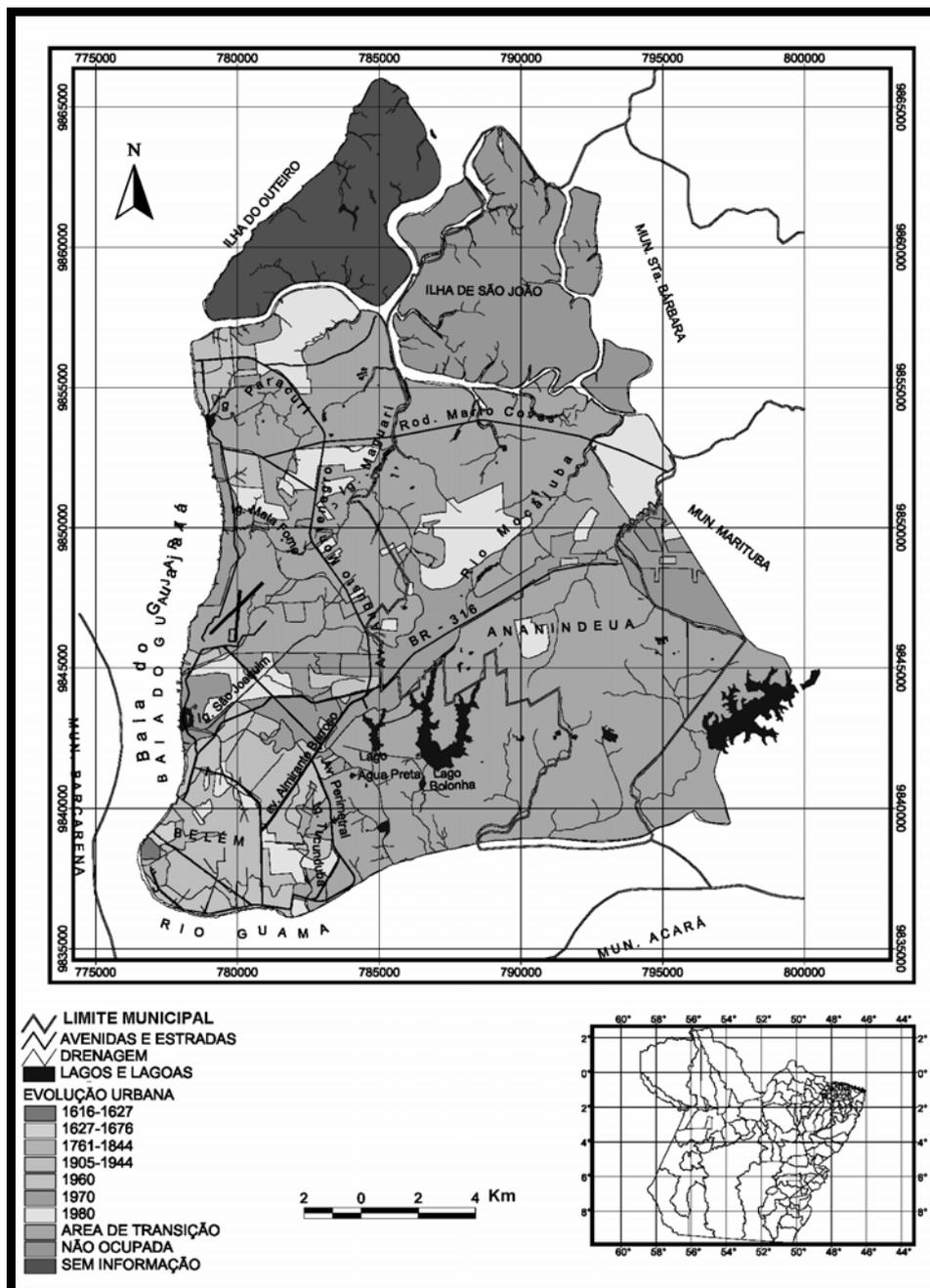


Figura 4 - Mapa de evolução urbana na Região Metropolitana de Belém (modificado de Matta, 2002).

Vale ressaltar, que esse crescimento urbano não vem acompanhado de infra-estrutura urbana, provocando o aparecimento de focos de poluição ambiental a partir do desmatamento das matas, e hídrica através dos esgotos que vertem para as nascentes localizadas no interior da área. Cita-se ainda outros fatores preocupantes, tais como a construção próxima de um cemitério e a existência de um lixão abandonado, além da implantação do aterro sanitário de lixo doméstico e industrial dos municípios de Belém e Ananindeua, localizado a apenas 1,4 Km da área de estudo. Durante a estação chuvosa, o lençol freático, bem como o Rio Aurá sofrem a possibilidade de uma contaminação direta por chorume, visto que a sua foz se encontra a 200 metros das bombas de

captação e bombeamento de água da COSANPA no Rio Guamá, que abastece os lagos através da adutora, colocando em risco os mananciais ali existentes.

5 - METODOLOGIA

5.1 - MEDIDAS ELETROMAGNÉTICAS

Foram realizados na área do Parque Ambiental de Belém, oito perfis de medidas eletromagnéticas (fase e quadratura) com o Sistema Slingram MAX MIN I na configuração coplanar horizontal (Figura 4). A amostragem foi feita em 8 frequências (110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz). A distância entre as bobinas transmissora e receptora foi igual a 50m e o espaçamento entre as medidas foi de 25m.

As componentes em fase e em quadratura foram combinadas através da equação (1):

$$Z = \sqrt{F^2 + Q^2} , \quad (1)$$

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 foi então representado de modo a se obter 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 constitui uma pseudo-seção da subsuperfície, pois permite que se visualize o comportamento de Z nas direções horizontal e vertical, abaixo das posições de medidas, uma vez que a profundidade de investigação depende da frequência (frequências mais altas estão relacionadas com menor profundidade e frequências mais baixas com maior profundidade). Nesta representação, os valores maiores de Z são associados às zonas mais condutoras da subsuperfície, por exemplo, as zonas argilosas, enquanto os menores valores são associados às zonas arenosas (Silva, 2002).

5.2 - MEDIDAS DE RESISTIVIDADE APARENTE

As medidas de resistividade aparente com o Método de Eletroresistividade usando a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) foram realizadas na área de estudo com o arranjo Schlumberger, com aberturas de AB/2 de 1,0; 1,3; 1,8; 2,4; 3,2; 4,2; 5,5; 7,5; 10; 13; 18; 24; 32; 42; 55, 75, 100, 130 e 180 metros. Foram realizadas 10 SEV's, em pontos estrategicamente

selecionados no início dos trabalhos, de modo a abranger a área identificada como a mais atingida pela expansão urbana (Figura 5).

As SEV's foram interpretadas usando programa desenvolvido por Zohdy & Bisdorf (1989), que processa a curva de medidas digitalizando-a e estabelecendo um modelo de distribuição da resistividade associado a um número de camadas igual ao número de pontos usados na digitalização. Esse tipo de modelo mostra maior detalhe na variação da resistividade com a profundidade do que os modelos interpretativos geralmente obtidos com outros programas.

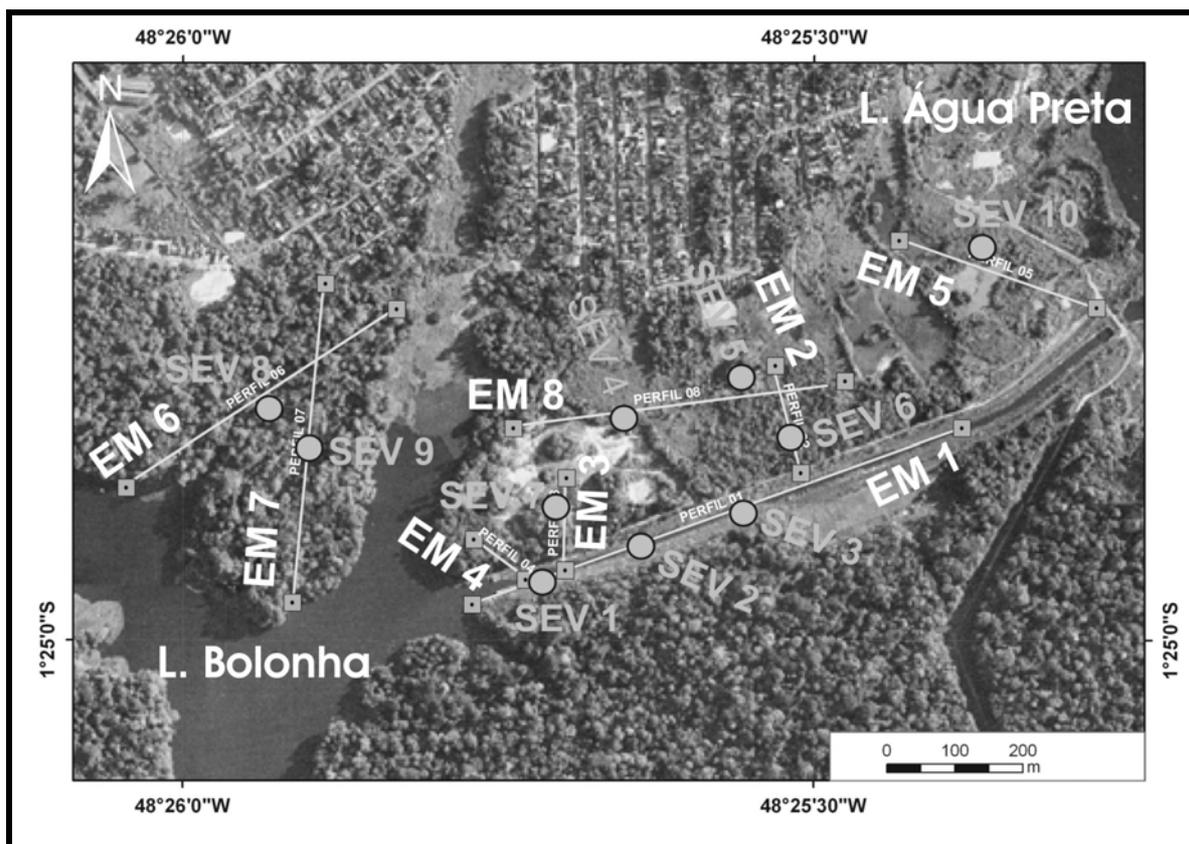


Figura 5 - Localização dos perfis EM e SEV na área de estudo.

5.3 - POÇOS DE MONITORAMENTO

Durante o trabalho foram construídos poços de monitoramento com o objetivo de analisar os dados indiretos obtidos pela metodologia. A determinação dos locais para perfuração dos poços foi baseada nas variações litológicas indicadas pelas medidas geofísicas.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados aqui, a título de exemplo, apenas os resultados obtidos nos perfis EM 1,2,5 e

8 e SEV 1,4, 6 e 10.

6.1 - MEDIDAS ELETROMAGNÉTICAS (EM)

a) Perfil 1

Os valores medidos ao longo deste perfil estão representados na Figura 6 (contorno de isovalores do módulo de campo). A forma de representação mostra a distância percorrida de 725 metros no sentido NE-SW para o perfil, que percorre a linha do canal que interliga os dois mananciais e termina no lago Bolonha.

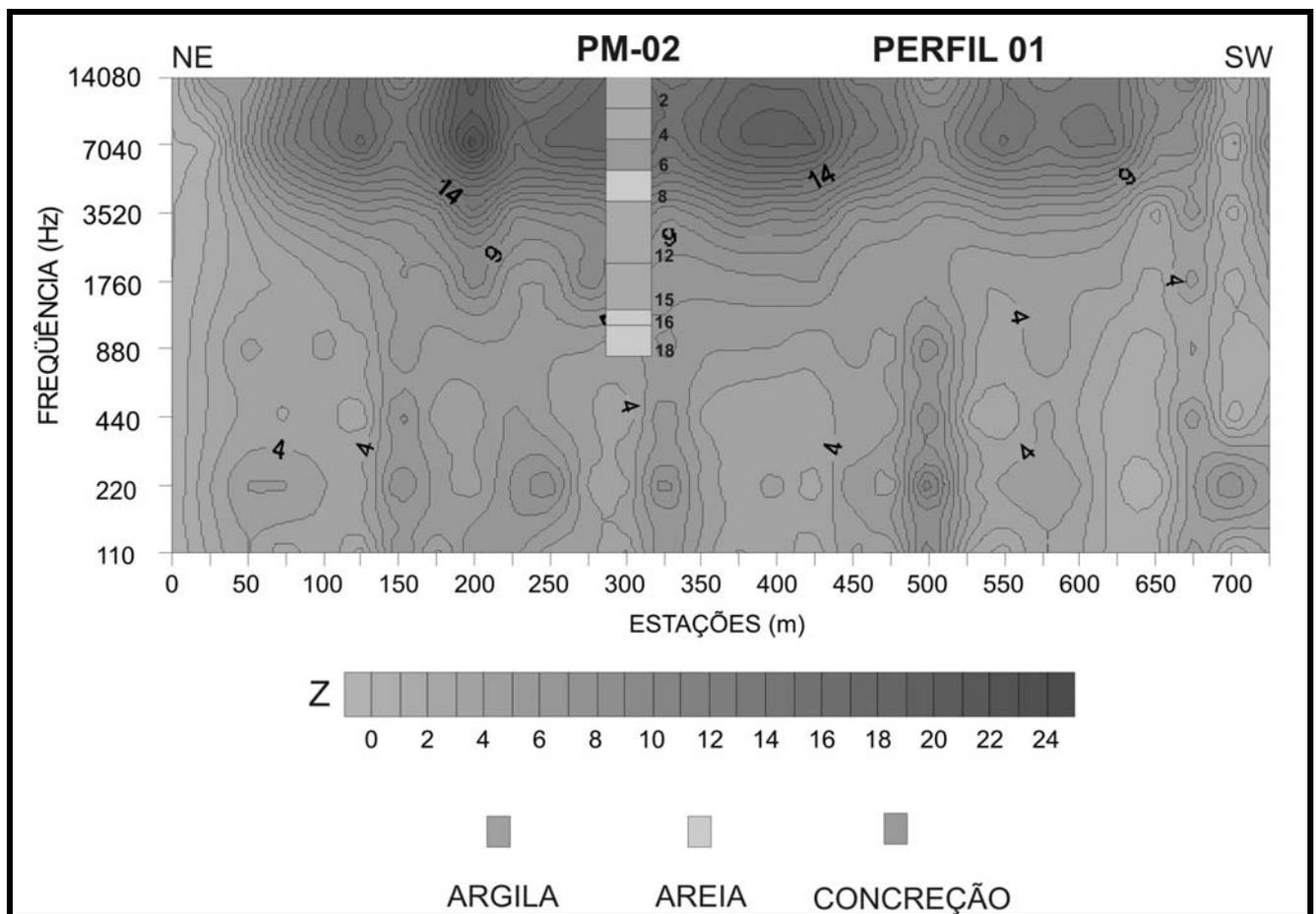


Figura 6 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 1.

O eixo identificado na posição 125m é bem evidenciado na representação, pela zona condutora entre as posições 100m e 150m, 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 (posições 250 e 425m) não parecem estender-se a grandes profundidades. Os condutores a eles associados parecem ser essencialmente superficiais e podem ser devidos a solo mais úmido e/ou argiloso.

É possível que o contorno de isovalor 10 mostrado na figura, possa ser correlacionado ao topo dos sedimentos lateríticos menos condutivos do Grupo Barreiras. Nesse caso, os valores de contorno maiores que 10 estariam associados a sedimentos mais condutivos, provavelmente do Pós-Barreiras.

b) Perfil 2

O perfil 2 foi realizado no sentido SE-NW, cruza o perfil 8 e cobre uma distância de 75m. Este perfil foi interrompido aos 75m devido a presença de uma lagoa formada por água pluvial, 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 úmido no decorrer de todo o seu percurso.

A Figura 7 mostra as respostas obtidas para as componentes do módulo de campo.

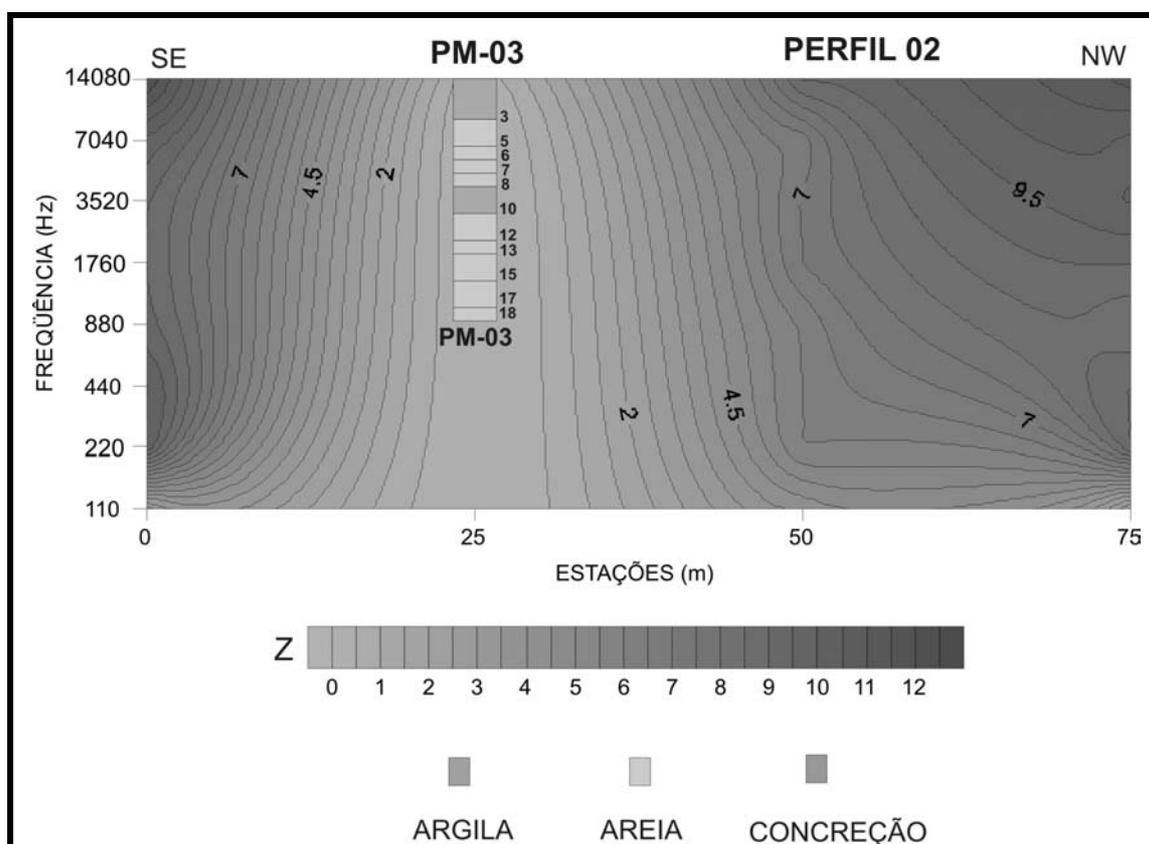


Figura 7 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 2.

Os valores das componentes mostrados permitiram a identificação de 3 eixos condutores. Esses eixos, embora sejam bem evidentes em todas as frequências, as condutividades a eles associada são maiores para as frequências mais altas, conforme indica a representação da Figura 7. É provável que eles ocorram devido a presença de água no solo, que neste perfil estava bem evidenciada superficialmente.

O eixo condutor localizado na posição 25m parece ser o que se estende a maior profundidade, conforme sugere a representação.

Considerando o contorno de isovalor 10 como o limite da zona laterítica do Grupo Barreiras, o perfil pode ser usado como uma imagem aparente da subsuperfície.

c) Perfil 5

Este é o caminhamento localizado mais a leste da área de estudo, mais precisamente na estrada de acesso entre os mananciais e uma zona de ocupação urbana.

Os valores obtidos ao longo deste caminhamento estão representados Figura 8 (módulo do campo).

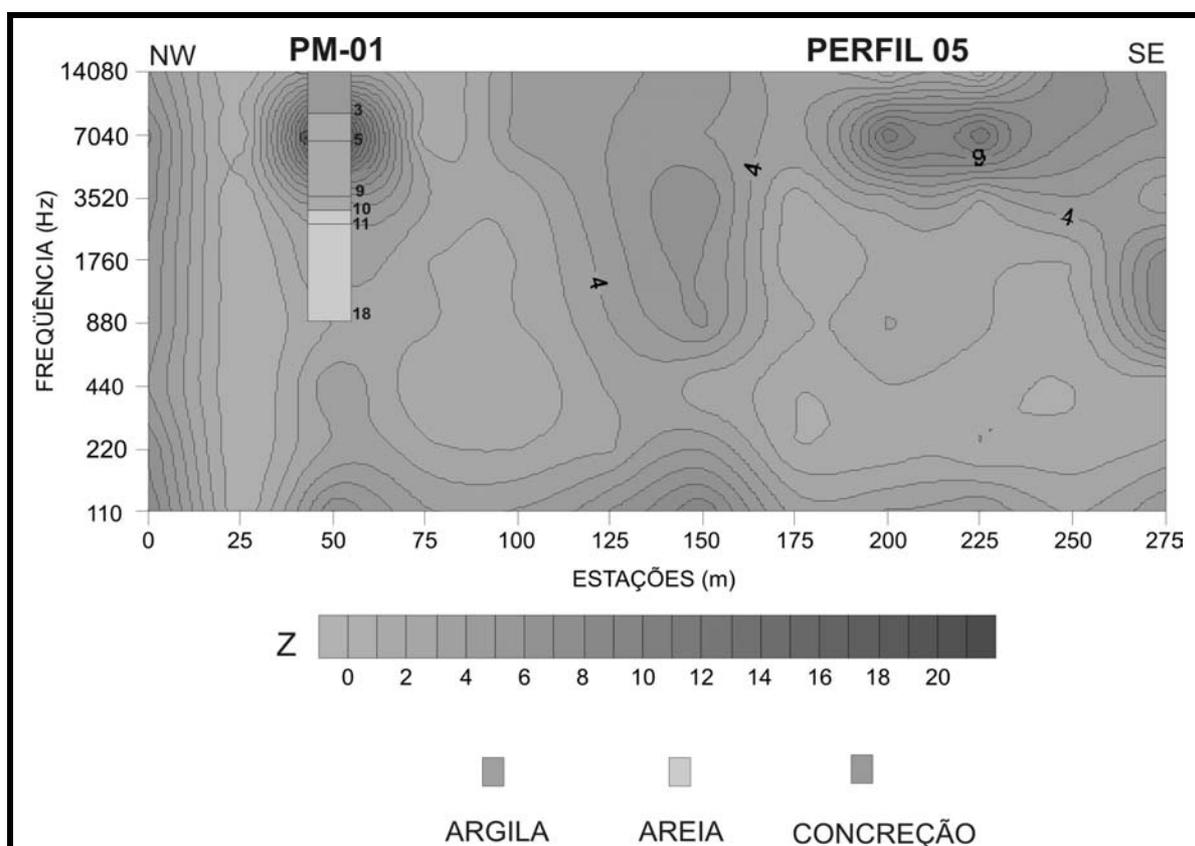


Figura 8 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 5.

As observações feitas ao longo deste perfil permitiram estabelecer dois eixos condutores, na estação 50m e 150m. O eixo localizado na estação 50m é bem evidente em quase todas as frequências e a análise em conjunto com os litotipos e as condições do ambiente, sugere que ele pode estar associado provavelmente à litologia local. Na estação 150m do perfil, as curvas apresentaram um comportamento anômalo caracterizado por diversas oscilações. Isto se deve à presença nesta área de linhas de alta tensão, que ocasionaram interferências.

d) Perfil 8

Este perfil foi realizado no sentido W-E e se inicia às margens do Lago Bolonha, cruzando áreas de cultivo de abacaxi e foi interrompido aos 475m, devido a presença de uma lagoa formada por água pluvial, que influenciou nas medidas coletadas a partir desta posição. Os valores obtidos estão representados na Figura 9 (módulo do campo).

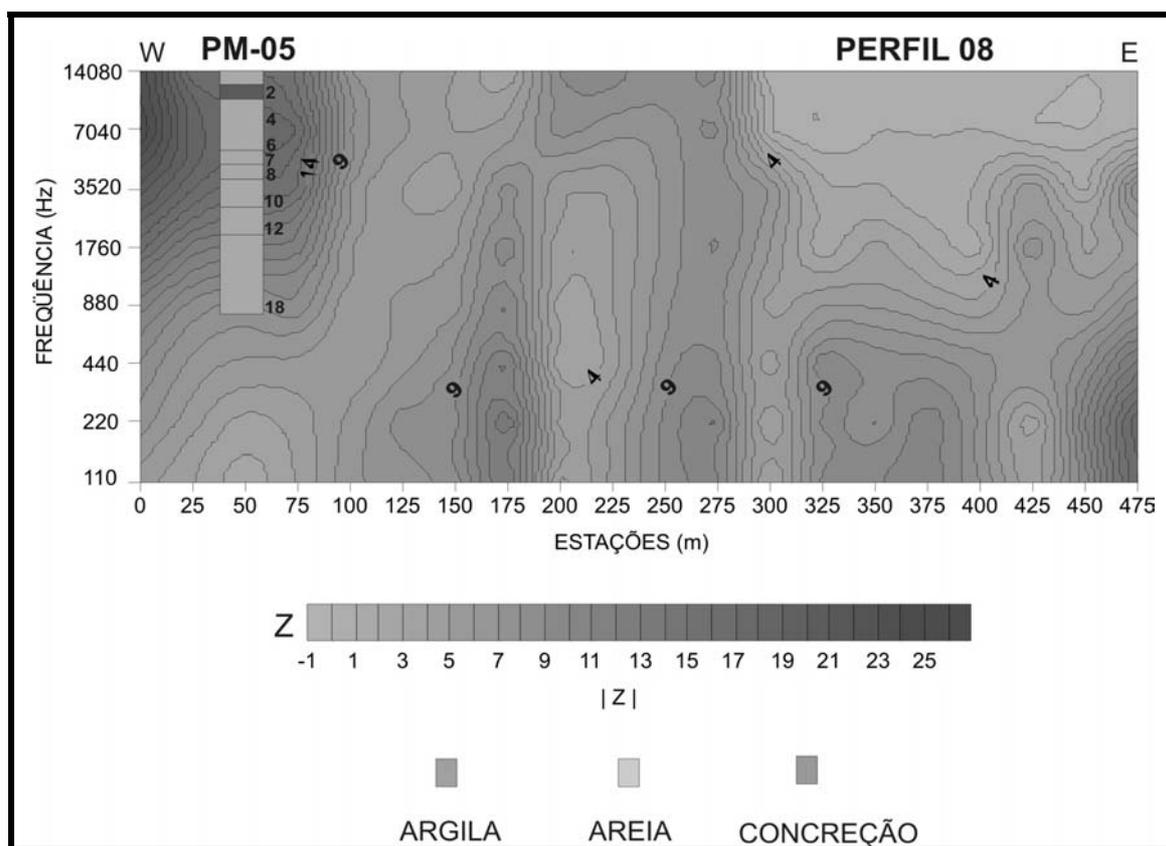


Figura 9 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência para o Perfil 8.

As observações feitas ao longo deste perfil permitiram estabelecer três eixos condutores, na estação 175m, 300m e 425m. O eixo localizado na estação 175m é bem evidente em todas as frequências e é comprovado através da análise em conjunto com os litotipos e as condições do

ambiente, que isso ocorre devido à litologia local. Nas demais estações, as curvas apresentaram um comportamento anômalo, provavelmente em decorrência da presença de água no solo, que estava bem evidenciado superficialmente.

6.2 - Medidas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Para se determinar a variação das propriedades elétricas do terreno da área de estudo, utilizou-se do método geofísico de Eletroresistividade. Os dados obtidos (Tabela 1) foram interpretados de modo a se obter modelos geoeletricos da subsuperfície conforme ilustram as Figuras 10 a 13. Ruídos culturais locais (tubulações de ferros, fiações elétricas, telefônicas, entre outros) foram cuidadosamente registrados com o intuito de avaliar a sua interferência nas informações obtidas.

Tabela 1 - Média dos valores da resistividade aparente em $\Omega.m$.

AB/2	1,0-4,2 (m)	5,5-24 (m)	32-180(m)
SEV-2	1477	1755	562
SEV-4	2180	1715	476
SEV-6	2429	3639	623
SEV-10	318	119	154

Todas as curvas apresentaram características de terreno com cobertura sedimentar e de acordo com as características mostradas pela geologia superficial local e regional e pelos dados de poços, entende-se que as unidades descritas fazem parte dos sedimentos das unidades Barreiras e Pós-Barreiras (Figuras 10 à 13).

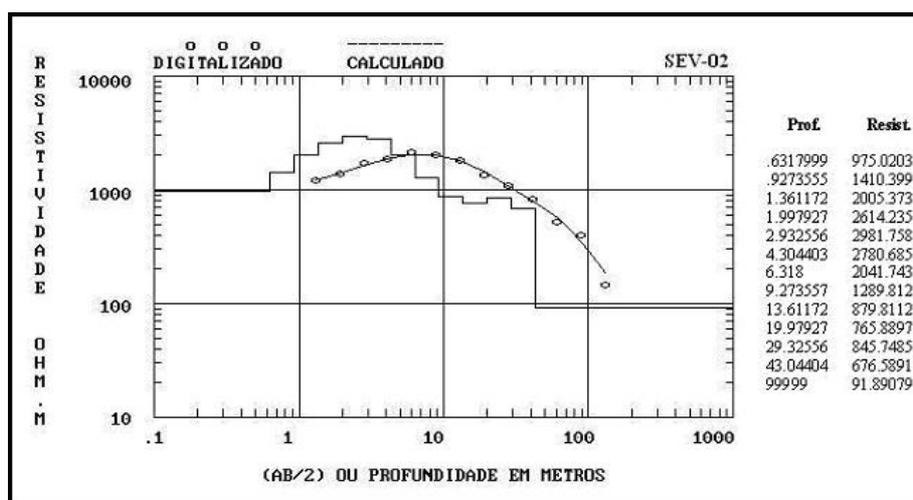


Figura 10 – Modelo interpretativo da SEV 2.

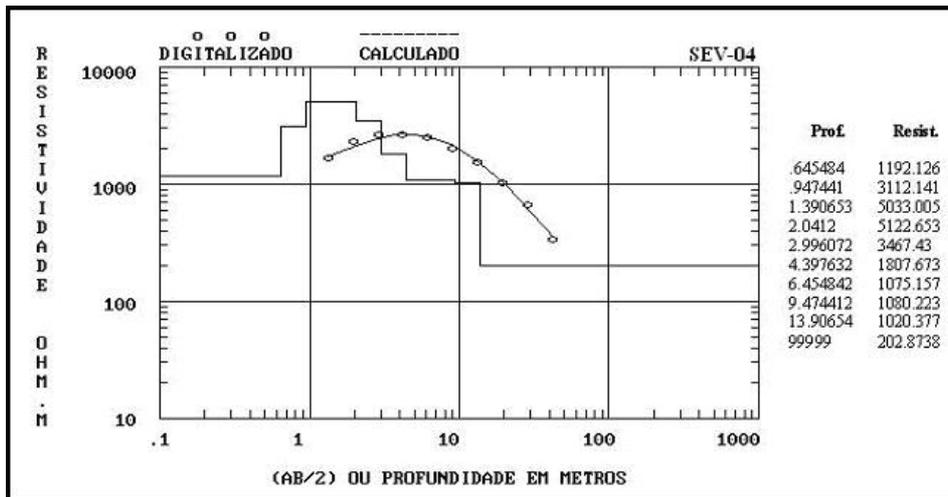


Figura 11 – Modelo interpretativo da SEV 4.

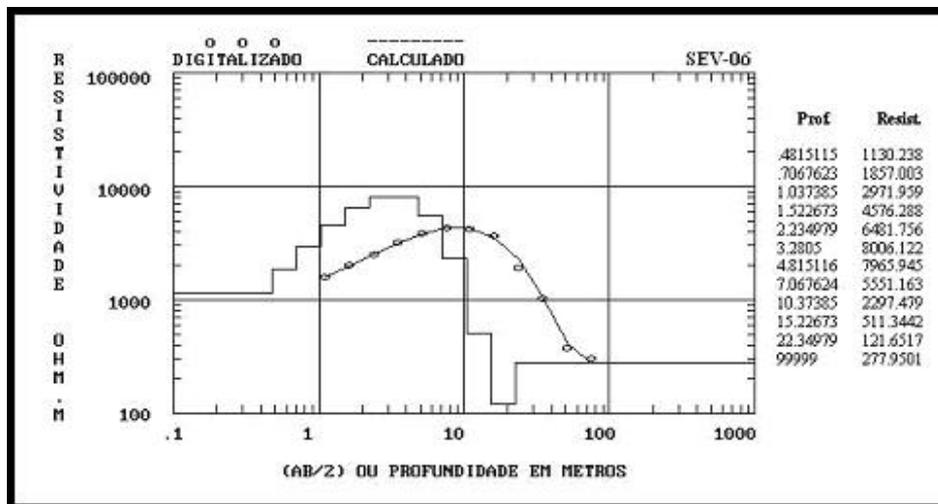


Figura 12 – Modelo interpretativo da SEV 6.

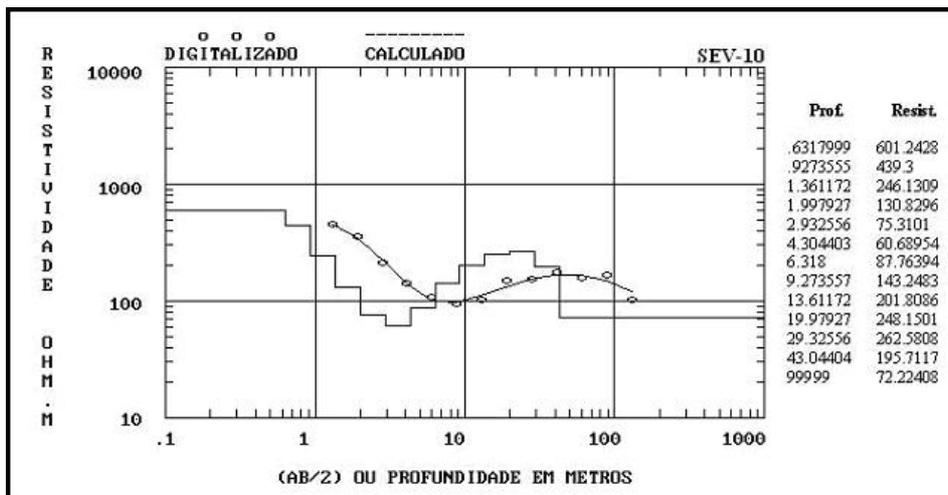


Figura 13 – Modelo interpretativo da SEV 10.

Os modelos interpretativos das SEV foram correlacionados com os perfis litológicos dos poços perfurados às proximidades delas. Após a correlação da litologia com os modelos obtidos das SEV, os perfis litológicos dos poços foram posicionados sobre as pseudo-seções dos dados eletromagnéticos, a fim de que se pudesse obter uma estimativa da relação frequência-profundidade, conforme exemplificado na Figura 14.

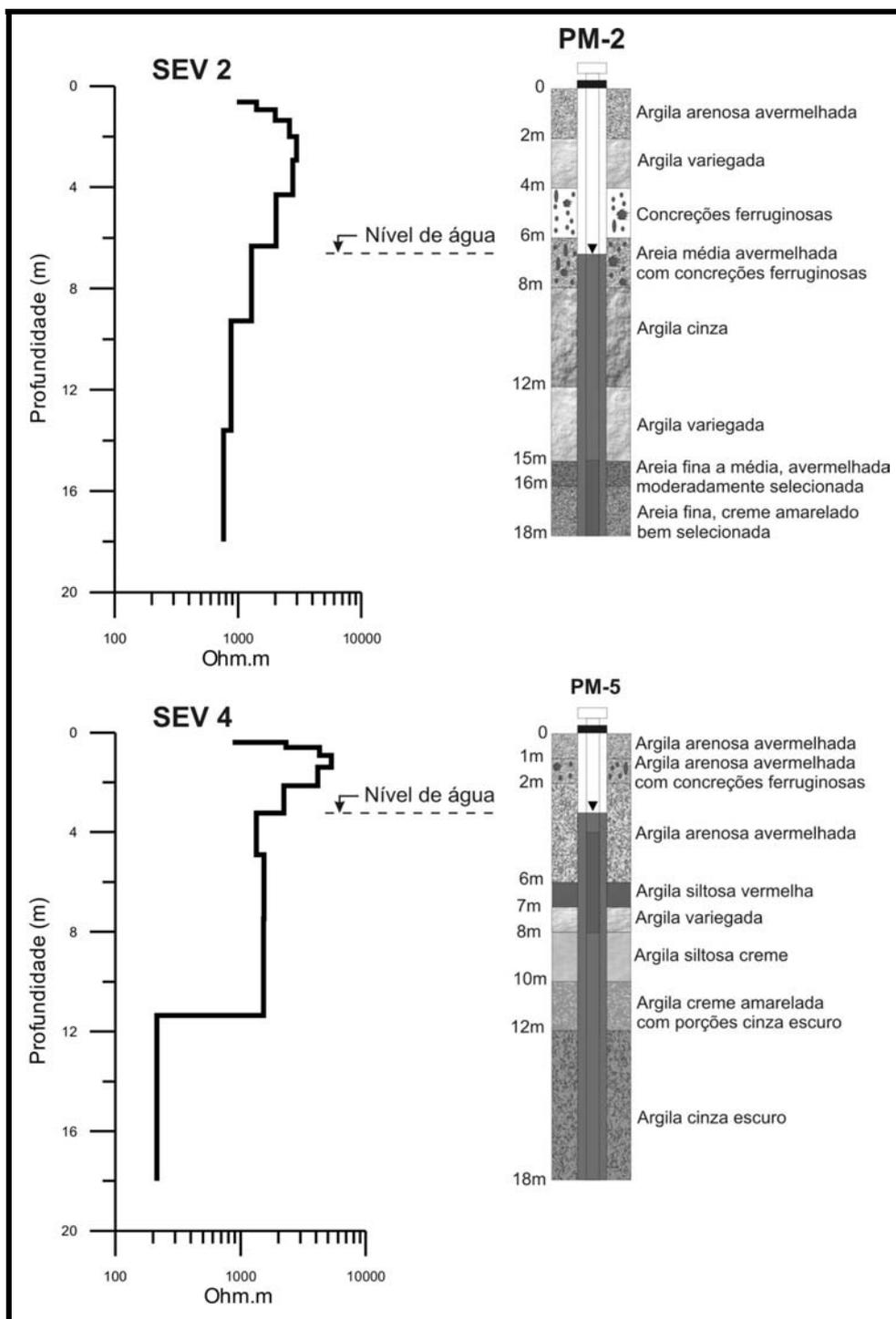


Figura 14 – Correlação entre os modelos interpretativos de SEV e a litologia de poços.

O posicionamento indica uma boa correlação entre os valores elevados de Z com a existência de material argiloso e dos valores baixos de Z com material arenoso, o que confirma o trabalho de Silva (2002). Observa-se também que na área do Parque Ambiental a profundidade de 18 m dos poços pode ser associada com a investigação geofísica obtida entre as frequências de 14.080 e 1.760 Hz, restando ainda a informação das frequências 880 a 110 Hz, que alcançam uma profundidade superior a 18 m.

Por outro lado, correlacionando-se todos os perfis obtidos e aqui apresentados, observa-se que:

- Há predominância de zonas resistivas, (material arenoso) identificada nos perfis 1,2 e 5.
- Há predominância de zonas condutoras (material argiloso) identificada no perfil 8 e essa zona se estende desde as maiores frequências (menores profundidades) até as menores frequências (maiores profundidades).
- No perfil 1 a zona de maior condutividade (material argiloso) concentra-se nas frequências maiores, que correspondem, de acordo com o poço PM-2, à profundidades inferiores a 12 metros.
- O paralelismo entre os perfis 1 e 8, indica que a zona mais condutora (material argiloso) torna-se mais espessa à medida que nos afastamos do canal que liga os Lagos Água Preta e Bolonha ou nos aproximamos da zona residencial adjacente ao Parque Ambiental.
- O perfil 2 indica um aumento da condutividade (aumento da argilosidade) em direção à zona residencial.

7 - CONCLUSÕES

As medidas Eletromagnéticas realizadas na área de trabalho evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes (condutividade) que refletiram a presença de zonas condutoras (material argiloso) e zonas resistivas (material arenoso).

A representação dos valores medidos do módulo de campo versus frequência, permitiu uma melhor visualização da distribuição das zonas condutoras lateralmente e com a profundidade, exibindo uma pseudo-seção da subsuperfície.

A imagem aparente da subsuperfície (pseudo-seção) pode ser correlacionada com a distribuição dos sedimentos amostrados em poços perfurados sobre os perfis de medidas, que evidenciaram argila de coloração avermelhada, variegada e esbranquiçada e uma areia de granulometria que corresponde à fração de areia fina e média, relacionada possivelmente aos sedimentos do Pós-Barreiras.

O resultado da correlação das medidas com a litologia dos poços, indica que as variações de condutividade detectadas pelo método Eletromagnético são melhores correlacionadas às variações litológicas do que à contaminação.

As medidas obtidas através da aplicação do método Eletromagnético mostraram, variações litológicas ao longo dos perfis estudados, indicando nos perfis 1, 2 e 5 a predominância de material arenoso e no perfil 8 predominância de material argiloso.

A comparação entre as pseudo-seções indica um aumento na argilosidade da subsuperfície em direção à zona residencial adjacente ao Parque Ambiental de Belém. Isso sugere que os lagos possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial.

As medidas com o método eletromagnético mostraram-se eficientes na delimitação das zonas arenosas e argilosas da subsuperfície, conforme comprovam a sua correlação com os perfis litológicos dos poços perfurados na área.

A comparação dos modelos interpretativos das SEV com a litologia dos poços indicou que as argilas mais superficiais apresentam elevada resistividade e podem ser confundidas com material arenoso na interpretação geofísica.

8 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa, pelo financiamento do projeto de pesquisa “Caracterização socioeconômica e ambiental integrada do sistema de abastecimento de água potável da cidade de Belém-PA”, através do Processo N^o 505247/2004-6 e “Estudo Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Utinga”, Processo N^o 476413-2004-4.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAHIA, V. E. 2003. *Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 117p.

BORDALO, C. A. L. 2006. *O desafio das águas numa metrópole amazônica: uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da Região Metropolitana de Belém – PA (1984-2004)*. Tese de Doutorado, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, 369p.

- CENSA/COSANPA. 1983. *Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta*. II: Estudo da qualidade de proteção das águas. Belém, Consultoria – Engenharia / Companhia de Saneamento do Pará. 279p.
- COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DO PARÁ. 1997. *Levantamento Aerofotográfico da Região Metropolitana de Belém*. Belém, Consultoria – Engenharia / Companhia de Habitação do Estado do Pará.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2005. Estimativa do universo populacional. *Recenseamento geral do Brasil*. Rio de Janeiro. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 18/07/2005.
- IDESP. 1980. *Projeto reconhecimento dos recursos naturais da Região Metropolitana de Belém. Reconhecimento hidrogeológico*. Anexo I. Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará, 11p.
- FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F.S. do; FERREIRA, M.A.A. 1992. Mapeamento da área Belém-Outeiro. Estágio de campo III. Relatório Final. UFPA. 247p.
- MATTA, M.A. DA S. 2002. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 292p.
- PEREIRA, S.F.; OU Z.Y. & KIMBLE H. J. 1994. *Backaction evading measurement for quantum nondemolition detection and quantum optical tapping*. Phys. Rev. Lett, pp. 72-214 .
- SILVA, R.C.S. 2002. *Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança, nordeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 55p.
- ZOHDY, A.A. & BISDORF, R.J. 1989. *Programs for the Automatic Processing and Interpretation of Schlumberger Sounding curves in Quickbasic 4.0. open – file Report 89 – 137 A & B, U. S. Geological Survey*, 19p.