

INVESTIGAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE CONTAMINAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA EM BELÉM (PA) UTILIZANDO O MÉTODO GEOFÍSICO GEORADAR

INVESTIGATION OF THE POTENTIALITY OF CONTAMINATION IN THE UTINGA STATE PARK IN BELEM (PA) USING THE GPR GEOPHYSICAL METHOD

Vânia Eunice Bahia¹, José Gouvêa Luíz², Luíz Rogério Bastos Leal³, Gundisalvo Piratoba Morales⁴,
Norbert Fenzl Correio⁵

RESUMO Este estudo foi realizado no Parque Estadual do Utinga, localizado na Região Metropolitana de Belém (PA), que contém os reservatórios de águas superficiais, responsáveis pelo abastecimento de sua população. Em seu entorno, verifica-se uma urbanização crescente e desordenada, possibilitando que essa área torne-se uma fonte potencial de contaminação. Diante da possibilidade de que a poluição gerada chegue até os seus mananciais superficiais via subsuperfície rasa, se torna necessário ter um conhecimento das características geológicas da área. Medições geofísicas realizadas no parque com o método Georadar mostraram bons resultados, os quais foram comparados a medidas EM de fase e quadratura com o Sistema Slingram MAX MIN I e informações de piezômetros. Os resultados obtidos com o Georadar permitiram a identificação de blocos lateríticos e tubulações, além da presença de zonas argilosas. As variações de condutividade detectadas através das medidas realizadas na área são associadas mais às variações litológicas do que a contaminação. A comparação entre os perfis indicou a predominância de argiloidade em subsuperfície, o que sugere que os recursos hídricos locais possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial, entretanto a presença de paleocanais arenosos rasos, identificados nos perfis, se constitui em um caminho para a migração de contaminação.

Palavras-Chaves: Georadar; Contaminação; Parque Estadual do Utinga; Região Metropolitana de Belém.

ABSTRACT This study was conducted in Utinga State Park, located in the Metropolitan Region of Belém (PA) where surface water reservoirs are located and supply water for the city population. Surrounding it, there is a growing and disordered urbanization, allowing that area to become a potential source of contamination. Due to the possibility that pollution generated from this urbanization reaches the surface waters via shallow subsurface, it is necessary to have an understanding of the geological area features. Geophysical measurements carried out in the Park with Ground Penetrating Radar method showed good results, which were compared to phase and quadrature EM measurements with the Slingram MAX MIN I System and data from piezometers. The results obtained with the Ground Penetrating Radar allowed the identification of laterite blocks and pipes, and the presence of clay zones. Variations detected by conductivity measurements conducted in the area are more associated to variations than to lithologic contamination. A comparison of the profiles indicated the predominance of clay content in the subsurface, suggesting that local water resources are likely to be protected from the contamination generated in the residential area, however the presence of shallow sandy paleochannels identified in the profiles constitutes a path for contamination migration.

Keywords: Ground Penetration Radar; Contamination; Utinga State Park; Metropolitan Region of Belém.

INTRODUÇÃO

As transformações ocorridas no espaço urbano da Região Metropolitana de Belém (RMB) contribuíram não somente para a sua ocupação, através do entendimento das diferentes formas de apropriação, bem como ocasionou um intenso processo de degradação ambiental. Com isso, há um quadro sócioambiental permissivo e favorecedor de agravos à saúde da população (BAHIA, 2003).

No Parque Estadual do Utinga (PEUt), localizado na RMB, se encontram os principais mananciais de águas superficiais de abastecimento dessa região, os Lagos Bolonha e Água Preta. Em seu entorno, verifica-se uma urbanização

crescente e desordenada que tem levado ao surgimento de bairros, conjuntos residenciais e à multiplicação de favelas desprovidos, em sua maioria, de saneamento básico, possibilitando que essa área torne-se uma fonte potencial de contaminação via subsuperfície rasa aos recursos hídricos localizados em seu interior. Diante dessa possibilidade, se torna necessário ter um conhecimento das características geoambientais da área, a fim de se verificar o grau de proteção desses mananciais ao processo de contaminação.

Atualmente, uma das metodologias mais utilizadas para detectar e monitorar fluxos de contaminantes são os métodos geofísicos, sendo os mais empregados, os

¹ UFBA - Universidade Federal da Bahia, (vbahia@ufpa.br)

² UFPA - Universidade Federal do Pará, (gouvea@ufpa.br)

³ UFBA - Universidade Federal da Bahia, (lrogerio@ufba.br)

⁴ UFPA - Universidade Federal do Pará, (gundy_morales@yahoo.com.br)

⁵ UFPA - Universidade Federal do Pará, (norbert@ufpa.br)

métodos elétricos e eletromagnéticos através das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical, Caminhamento Elétrico, Caminhamento de Potencial Espontâneo, Caminhamento Eletromagnético e Radar (BAHIA et al., 2009).

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente baixo. Além disso, os levantamentos geofísicos propiciam a execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea.

Decidiu-se por realizar esse estudo com o método geofísico de Georadar, devido o mesmo ser o mais indicado em análises de rodovias pavimentadas onde o número de camadas discretas é usualmente bem constituído, sendo paralelas à superfície do terreno, além de poder fornecer informações mais detalhadas tanto sobre a estratigrafia rasa, como sobre a existência de contaminação. Além disso, o referido método se apresenta bem mais eficaz, por ser extremamente rápido e com baixo custo operacional em comparação aos demais métodos, que em alguns casos exigiria a quebra de pavimentação para a introdução de eletrodos.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Criado em outubro de 1993, o PEUT é um dos maiores

parques localizados em regiões metropolitanas do Brasil, com 1.340 hectares. Lugar de grande beleza natural, esse parque ambiental está ligado diretamente à preservação dos lagos Bolonha e Água Preta, responsáveis pelo abastecimento de água potável à população da RMB.

O PEUT está localizado no nordeste do Estado, na RMB, na área conhecida como Utinga (termo indígena que significa “quantidade de água, nascentes e rios”) limita-se ao norte e a leste com o município de Ananindeua, a oeste com a baía de Guajará e ao sul com o rio Guamá. A Figura 1 apresenta geograficamente a RMB com a localização aproximada da área de estudo.

Geologia local e Hidrogeologia

As unidades litoestratigráficas da RMB têm sua geologia representada por rochas formadas no Pré-Cambriano, Paleozóico e Cenozóico. Segundo Sauma Filho (1996), o Pré-Cambriano se caracteriza por um conjunto de rochas agrupadas no Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Formação Tromaí, Formação Gurupi, Formação Igarapé de Areia, Formação Vizeu e Granito Cantão. Enquanto o Paleozóico é representado pelos sedimentos da Formação Piriá. Já no Cenozóico encontramos a Formação Pirabas, a partir de 80 m de profundidade, não aflorando na área da pesquisa. As unidades litológicas do Grupo Barreiras atingem até 100 m de espessura e cobre cerca de 65% da área

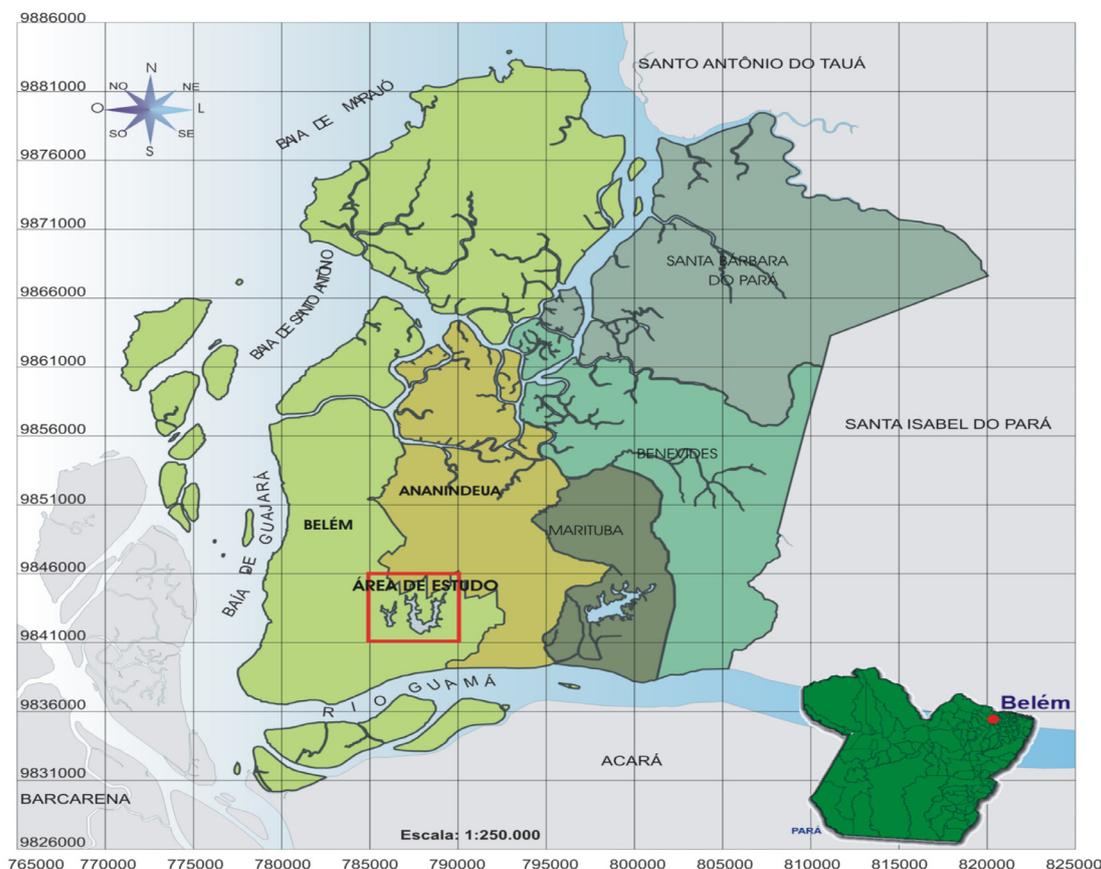


Figura 1. Região Metropolitana de Belém com a localização da área de estudo (modificado de PMB, 1995).

Figure 1. Metropolitan Region of Belém with the localization of the study area (modified from PMB, 1995).

total da RMB e são recobertas pelos sedimentos do Pós-Barreiras (Pleistoceno) e sedimentos recentes (Holoceno), ambos com uma espessura máxima em torno de 30 m.

Segundo Farias, Nascimento e Ferreira (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos de Belém e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras. Na área de estudo, a partir da superfície do terreno e com base nos perfis litoestratigráficos de piezômetros perfurados na área, são reconhecidas unidades litológicas da cobertura sedimentar Cenozóica, representado pela unidade do Pós-Barreiras (Figura 2).

Os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na região de Belém e Ananindeua são formadores de cinco conjuntos aquíferos principais, denominados de Aluviões, Pós-Barreiras (ambos do Quaternário) e Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior do Terciário (MATTA, 2002).

No PEUT, de acordo com as informações obtidas com os perfis litoestratigráficos dos piezômetros perfurados na área de estudo em conjunto com a geologia, foi possível a classificação dos aquíferos como porosos, confinados e protegidos por uma camada de material argiloso. Em termos de litotipos aparecem argilas vermelhas, areias finas a médias e níveis ferruginosos que correspondem a unidade litoestratigráfica do Pós-Barreiras do período Quaternário, o que está de acordo com o estabelecido por Rosseti et al., (1989), Pereira et al., (1994), Sauma Filho (1996), Piratoba Morales (2002), que estabelecem que os aquíferos do Pós-Barreiras do período Quaternário são formados por areias finas a médias, quartzosas, níveis ferruginosos, cuja espessura média de sedimentos é de cerca de 20 m, localizados geralmente na parte superior do terreno e com pequena distribuição espacial.

METODOLOGIA

Apresentam-se a seguir os conceitos básicos e a descrição sobre as técnicas usadas no desenvolvimento do presente estudo.

Método do radar de penetração no solo ou Georadar (Ground Penetrating Radar ou GPR)

O Georadar (*Ground Penetrating Radar* ou GPR) foi utilizado em virtude da presença de trechos cobertos por concreto na área de estudo e, portanto, impossibilitadas de serem analisadas pelo método EM (Sistema Slingram MAX MIN I) utilizado anteriormente nos estudos de Bahia et al., (2009). O emprego do MAX MIN nas vias públicas obrigaria a quebra da pavimentação para a colocação de eletrodos, o que não é recomendado por conta dos transtornos e custos que isso acarretaria. Além disso, o Georadar pode caracterizar as propriedades das rochas e estruturas a pequenas profundidades, com grande resolução, bem como também tem sido bastante utilizado na investigação de áreas sujeitas à contaminação (ALMEIDA, 2007).

Com o Georadar é possível obter imagens de alta resolução da subsuperfície através da transmissão de ondas

eletromagnéticas (EM) de altas frequências, que são radiadas para dentro da terra por uma antena transmissora colocada na superfície do terreno (DAVIS e ANNAN, 1989).

Como em outros métodos geofísicos, o Georadar depende do sinal de retorno que é resultado da interação entre o sinal emitido e as propriedades eletromagnéticas dos materiais em subsuperfície. As ondas que retornam à superfície são detectadas na mesma antena transmissora ou em outra antena colocada próximo. O tempo decorrido entre o início da radiação e a detecção das ondas refletidas é registrado e permite que se estimem as profundidades das interfaces de reflexão, desde que seja conhecida a velocidade de propagação das ondas. As interfaces de reflexão são definidas sempre que há variações nas propriedades eletromagnéticas do meio (resistividade, constante dielétrica e permeabilidade ou susceptibilidade magnética).

O Georadar é atualmente o método geofísico de mais alta resolução, visto que é fundamentado na propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas, mais precisamente ondas de rádio, que operam na faixa de frequências que variam normalmente de 15 a 2500 MHz. Tal como o método sísmico, uma seção de radar com uma separação constante entre as antenas emissora e receptora, conhecida como seção de afastamento comum, apresenta uma imagem da subsuperfície (Figura 3).

Informações detalhadas a respeito da propagação de ondas eletromagnéticas em altas frequências, aquisição, processamento e interpretação de dados GPR podem ser encontradas em literatura apropriada, tais como Ulrikson (1982), Fisher et al., (1992a,b), Neves et al., (1995), Botelho e Pestana (1996), Daniels (1996) e Porsani (1999).

Na aplicação do método para caracterização geológica, a profundidade de penetração pode variar de menos de 1 m, em áreas onde a cobertura geológica é eletricamente muito condutora (rica em argilas), até profundidades superiores a 25 m, em áreas de cobertura pouco condutora (areias sem argila e cascalho) (BERES JR. e HAENI, 1991). Estudos realizados em Belém e em Manaus, por exemplo, mostraram profundidades de penetração variando entre 4 m e 15 m, para a frequência de 100 MHz (SAUCK et al., 1995).

De acordo com Reynolds (1997), a operação de medidas na superfície do terreno com os sistemas de radar pode ser dividida em três modos básicos de aquisição:

- 1) perfis de reflexão com afastamento constante (Figura 4A), quando se utiliza uma antena mono-estática ou um par de antenas biestáticas separadas por uma distância fixa (*offset comum*);
- 2) sondagens de velocidade que incluem a técnica WARR (*wide angle reflection and refraction*) onde uma antena é mantida fixa enquanto a outra é deslocada (Figura 4B);
- 3) a técnica CMP (*Common Mid Point*), onde as duas antenas são deslocadas para ambos os lados de um ponto central (Figura 4C).

Os modos 2 e 3 são normalmente usados para estimar a velocidade de propagação das ondas.

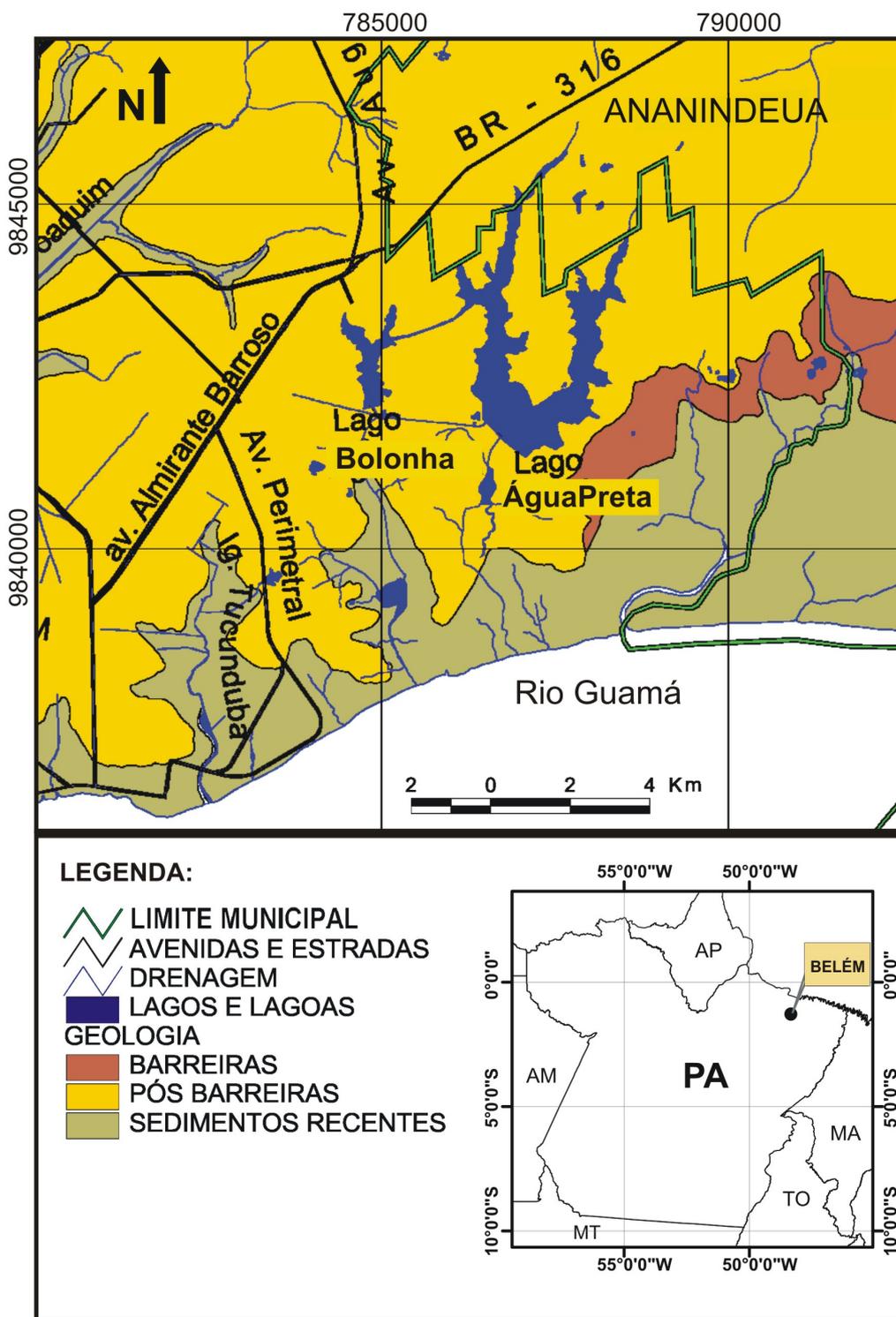


Figura 2. Geologia da área de estudo (modificado de Matta, 2002).
 Figure 2. Geology of the study area (modified from Matta, 2002).

Neste estudo foi utilizada a técnica de reflexão com afastamento constante e a velocidade de propagação das ondas foi estimada durante o processamento dos dados.

Foram realizados dois perfis, tendo em vista a quantidade de vias pavimentadas que se limitavam a esse núme-

ro: o primeiro deles (perfil 1) foi executado no sentido SW-NE, cobrindo uma extensão de 550 m ao longo da Av. João Paulo II, que se encontra fora dos limites do parque (Figura 5). O segundo perfil foi realizado dentro do parque, na via que permite o acesso ao seu interior. Foi executado

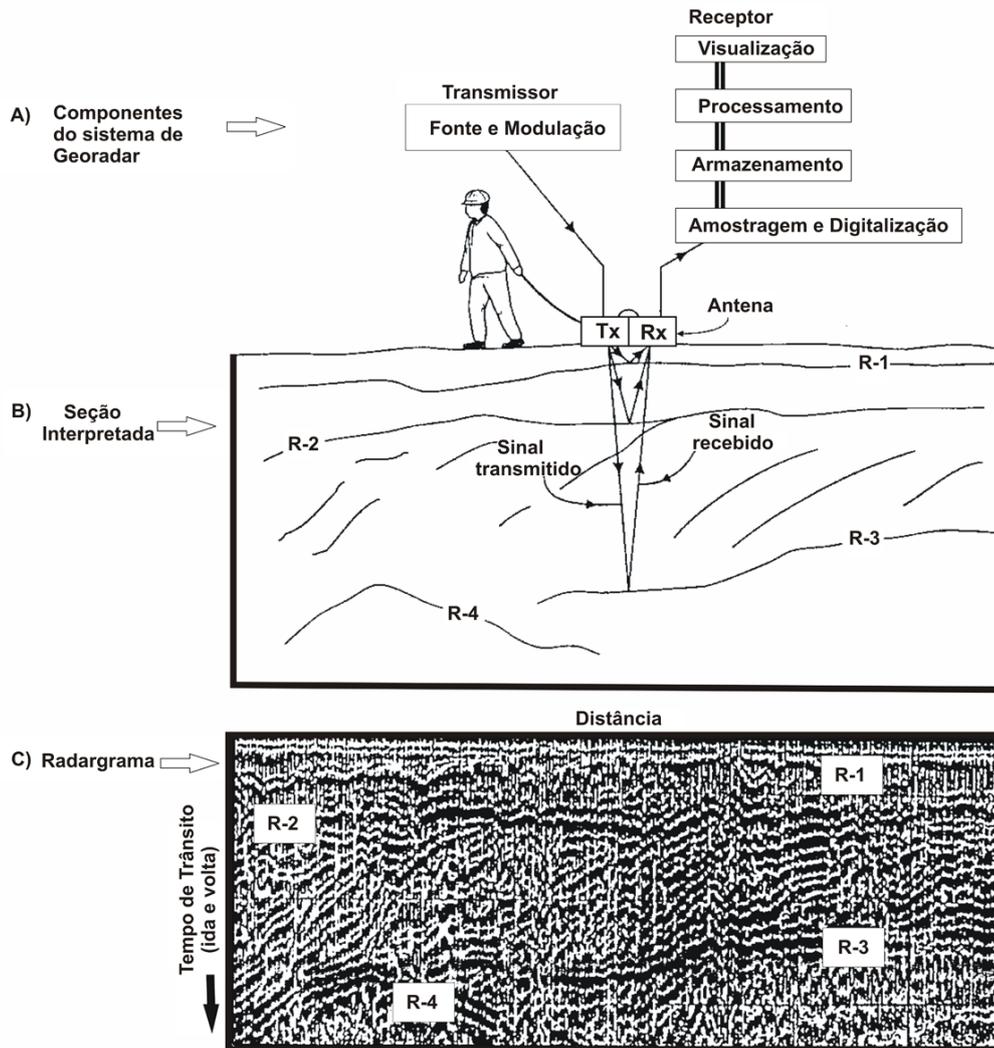


Figura 3. Exemplo de aplicação do método Georadar (modificada de Reynolds, 1997).

Figure 3. Example of application of the Ground Penetrating Radar method (modified from Reynolds 1997).

no sentido SE-NW, com 800 m de extensão (Figura 5).

O equipamento GPR utilizado foi o modelo SIR-3000 da GSSI, com antena blindada de frequência 200 MHz. Houve uma tentativa de levantamento com antenas de 40 MHz por fornecerem maior profundidade de investigação, porém por não serem blindadas, os registros apresentaram muito ruído proveniente da rede elétrica.

O instrumento foi operado no modo tempo, sendo o controle da posição das medidas obtido através de marcas inseridas no registro a intervalos de 50 m. O posicionamento das marcas foi controlado por trena.

As medidas obtidas com o GPR foram processadas com o programa Reflew-Win 4.2 da Sandmeier Software. O processamento envolveu basicamente os seguintes procedimentos: (a) interpolação das marcas de posicionamento horizontal para obtenção de escala horizontal uniforme; (b) estabelecimento do tempo zero de registro; (c) aplicação de filtro passa alta denominado *Subtract-mean (Dewow)*, para

eliminar a saturação do registro devido às grandes amplitudes das ondas aéreas e diretas; (d) frequência de corte de 100 e 400 MHz; (e) aplicação de ganho (AGC); (f) aplicação de filtro de remoção de *background*; (g) aplicação de filtro passa banda (*bandpass butterworth*); (h) estimativa da velocidade de propagação das ondas; (i) conversão de tempo em profundidade. Para a conversão de tempo em profundidade foram usadas as velocidades constantes de 0,1 m/ns (Perfil 1) e 0,12 m/ns (Perfil 2), obtidas através do procedimento de superposição de hipérbolas, durante o processamento dos dados (SANDMEIR, 2006). Não foi feita a correção estática e topográfica devido à área estudada ser totalmente plana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os estudos de Bahia et al., (2009), as medidas eletromagnéticas realizadas no interior do PEUT evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes (condutividade), que refletiram

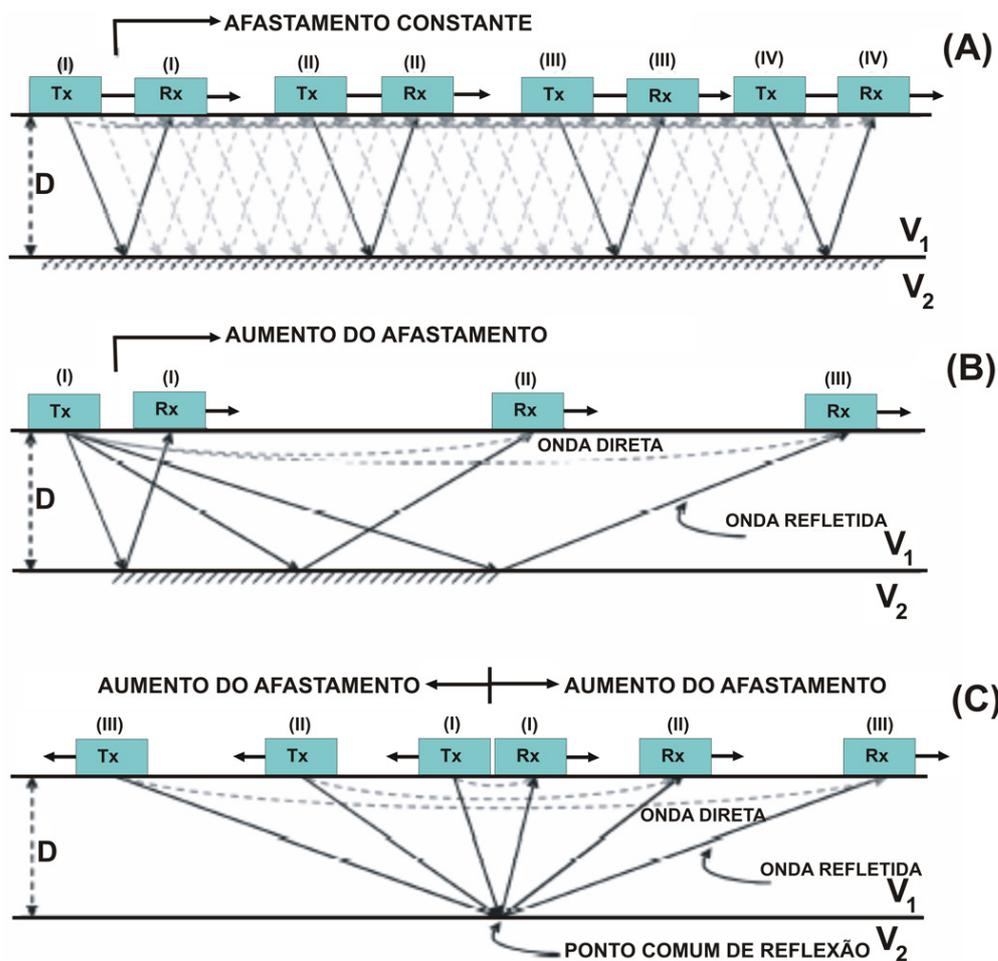


Figura 4. Modos de operação do GPR: (A) afastamento constante, (B) WARR e (C) CMP (modificada de Reynolds, 1997).
 Figure 4. Modes of GPR operation (A) Constant Removal, (B) WARR and (C) CMP (modified from Reynolds, 1997).

a presença de zonas condutoras (material argiloso) e zonas resistivas (material arenoso). A imagem aparente da subsuperfície (pseudo-seção EM) pode ser correlacionada com a distribuição dos sedimentos amostrados em nove piezômetros com profundidades de 18 a 20 m, perfurados sobre os perfis de medidas EM que evidenciaram argila de coloração avermelhada, variegada e esbranquiçada, com concreções lateríticas e uma areia de granulometria que corresponde à fração de areia fina e média, relacionada aos sedimentos do período Pós-Barreiras, além de mostrar em alguns destes piezômetros o nível freático próximo à superfície do terreno.

De posse de dados dos perfis geológicos de piezômetros perfurados na área, foi possível fazer correlações e elaborar um modelo simulando a geometria das camadas aquíferas na área de estudo (Figura 6).

Com esses resultados obtidos nos estudos desenvolvidos por Bahia et al., (2009) no PEUt realizado com o método geofísico EM e instalação de piezômetros em zonas que indicaram alterações em sua condutividade elétrica, foi possível realizar uma análise conjunta com os dados obtidos de Georadar, o que permitiu a caracterização da área dos perfis quanto à profundidade da zona saturada, existência e espessura da

camada litológica e provável contaminação do lençol freático. A localização dos perfis é apresentada na Figura 5, assim como a sua análise e interpretação através das Figuras 7 a 20.

Perfil 1 - Av. João Paulo II

A Avenida João Paulo II é a via urbana de principal acesso ao PEUt. A avenida está localizada fora do parque e serve de limite a ele (Figura 5).

O perfil realizado nesta via tem 550 m de comprimento e foi subdividido em 4 seções de 100 m e uma de 150 m. Para a conversão de tempo em profundidade no perfil foi usada a velocidade de 0,1 m/ns.

O perfil apresentou zonas de reflexão intensa em sua parte superior, que se estenderam por todo o seu comprimento, bem como zonas de baixa reflexão causadas pela atenuação do sinal eletromagnético.

Na primeira parte do perfil, no intervalo de 0 a 100 m, representado na Figura 7, observa-se na sua porção mais superior, entre as profundidades de 1 m e 2 m, um forte refletor que pode ser relacionado ao nível freático, uma vez que este se apresenta próximo à superfície com profundidades de até 2 m (Bahia et al., 2009). Este refletor é quase contínuo ao longo do perfil, sendo interrompido entre as posições 26



Figura 5. Localização dos perfis de Georadar na área de estudo.
Figure 5. Localization of GPR profiles in the study area.

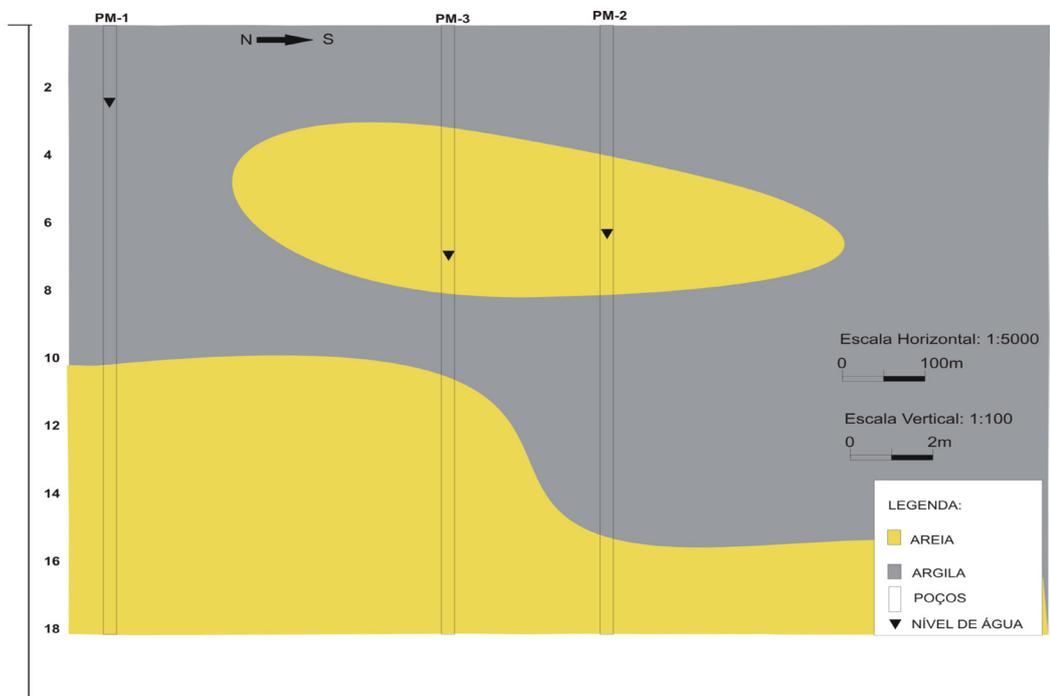


Figura 6. Correlação das camadas aquíferas em piezômetros instalados na área de estudo.
Figure 6. Correlation of aquifers layers in piezometers installed in the study area.

m e 36 m e entre as posições 50 m e 58 m, provavelmente pelo aumento da argilosidade do terreno. Observa-se ainda no perfil, entre as posições 58 m e 100 m, uma feição que pode estar relacionada à presença de um paleocanal arenoso.

Na porção do perfil que vai de 100 m a 200 m (Figura 8), aparece na parte inicial a continuação da feição identificada entre as posições 58 m e 100 m na Figura 7 como possível paleocanal. Entre as posições 154 m e 200 m e profundidades entre 1 m e 2,5 m, é possível observar uma segunda feição que também pode ser associada a um paleocanal.

As reflexões abaixo das feições associadas à paleocanais apresentam-se mais atenuadas, provavelmente devido a existência de material mais argiloso. Observa-se ainda nessa parte do perfil que a partir da posição 150 m e profundidades superiores a 2,5 m as interfaces de reflexão apresentam uma inclinação suave para nordeste.

Na porção do perfil que vai de 200 m a 300 m (Figura 9) é possível observar a continuação do refletor inclinado evidenciado na porção anterior do perfil mostrado na Figura 8. Há ainda a presença de formas hiperbólicas nas posições 212 m, 240 m, 266 m e 298 m, provavelmente relacionadas a tubos de drenagem. Na parte inferior deste perfil, há a ocorrência de uma zona de baixa reflexão que se estende de 266 m a 286 m, causada provavelmente por um aumento de argilosidade.

No percurso de 300 m a 400 m do perfil (Figura 10), as reflexões sugerem a existência de um contato entre duas unidades eletricamente diferentes, com a unidade basal apresentando maior argilosidade. Essa unidade apresenta uma maior proximidade da superfície do terreno no intervalo 340 m - 380 m. Nesse intervalo parece encontrar-se a zona mais arenosa da unidade superior.

Entre 400 m e 550 m (Figuras 11 e 12) destaca-se uma feição que pode ser associada a um paleocanal, que se estende até uma profundidade superior a 4 m.

Perfil 2 - Via de acesso

O Perfil 2 foi realizado na via de que dá acesso ao interior do PEUt e cobriu uma extensão de 800 m de comprimento (Figura 5). O perfil foi subdividido em 8 seções de 100 m cada.

Para a conversão de tempo em profundidade neste perfil foi usada a velocidade de 0,12 m/ns.

Nos primeiros 100 m do perfil (Figura 13) nota-se um forte refletor a cerca de 0,20 m de profundidade que pode ter sido causado pela passagem da pavimentação/aterro para o solo. Logo abaixo desse refletor (entre 1 m e 2 m de profundidade) um segundo refletor pode estar relacionado ao nível freático. Entre as profundidades de 2 m e 4 m é possível visualizar um refletor que pode representar a passagem do solo para uma camada mais compactada, rica em material laterítico. Essa suposição provém da observação de algumas formas

hiperbólicas nos registros, mas precisamente nas posições 22 m, 26 m, 54 m, 66 m e 96 m, que parecem estar associadas às concreções lateríticas, comuns na área de estudo.

Analisando o percurso de 100 m a 200 m desse perfil (Figura 14) se pode notar a presença das hipérbolas que podem estar associadas às concreções lateríticas, assim como aos refletores identificados anteriormente. Neste perfil, ocorre ainda, uma descontinuidade lateral na posição 130 m, que pode ser uma falha causada por processos neotectônicos. Observam-se ainda, no percurso que vai de 200 m a 400 m (Figuras 15 e 16), os refletores antes identificados, que ocorrem na profundidade de 0,20 m e entre as profundidades de 2 m e 4 m. Além disso, há também nesse trecho, a presença de descontinuidades laterais (falhas neotectônicas) nos pontos de 222 m, 270 m, 280 m, 293 m, 302 m, 337 m e 346 m, que deslocam o refletor. Os dois deslocamentos localizados nas posições 337 m e 346 m (Figura 16) formam uma feição similar a um graben ou pode ser apenas o leito soterrado de um paleocanal, visto que essa feição parece limitar um paleocanal.

No perfil que vai de 400 m a 500 m (Figura 17), continuam os dois refletores anteriormente destacados. Pode-se também visualizar nesta seção descontinuidades laterais aos 423 m e 440 m.

No percurso de 500 m a 600 m (Figura 18), a partir dos 520 m aparece uma feição que se assemelha a um paleocanal. A base dessa feição parece coincidir com o refletor antes identificado como o topo de uma camada rica em material laterítico. Observa-se no perfil que a partir da posição 520 m a base do provável paleocanal torna-se difusa devido à atenuação do sinal, desaparecendo no trecho seguinte, mostrado no perfil que vai de 600 m a 700 m (Figura 19).

Essa parte do perfil é caracterizada por elevada atenuação causada pelo aumento de condutividade provavelmente devido a uma maior argilosidade. Aos 620 m, uma forma hiperbólica mostra a presença da tubulação principal de distribuição de água, responsável pela retirada de água da estação de tratamento localizada no interior da área de estudo e de distribuí-la para a população local. Essa tubulação, de constituição metálica, é visível fora da via onde foi realizado o perfil, sendo transversal a ela. A partir da posição 650 m desenvolve-se feição similar a um paleocanal, com topo bem definido e base um pouco difusa por atenuação do sinal relacionado a um aumento de condutividade provocado provavelmente por argilosidade.

Na última seção do perfil, de 700 m a 800 m (Figura 20), observa-se uma feição que parece ser a continuação do provável paleocanal identificado na seção anterior do perfil. Também nesta seção do perfil há predominância de forte atenuação do sinal causado provavelmente por argilosidade.

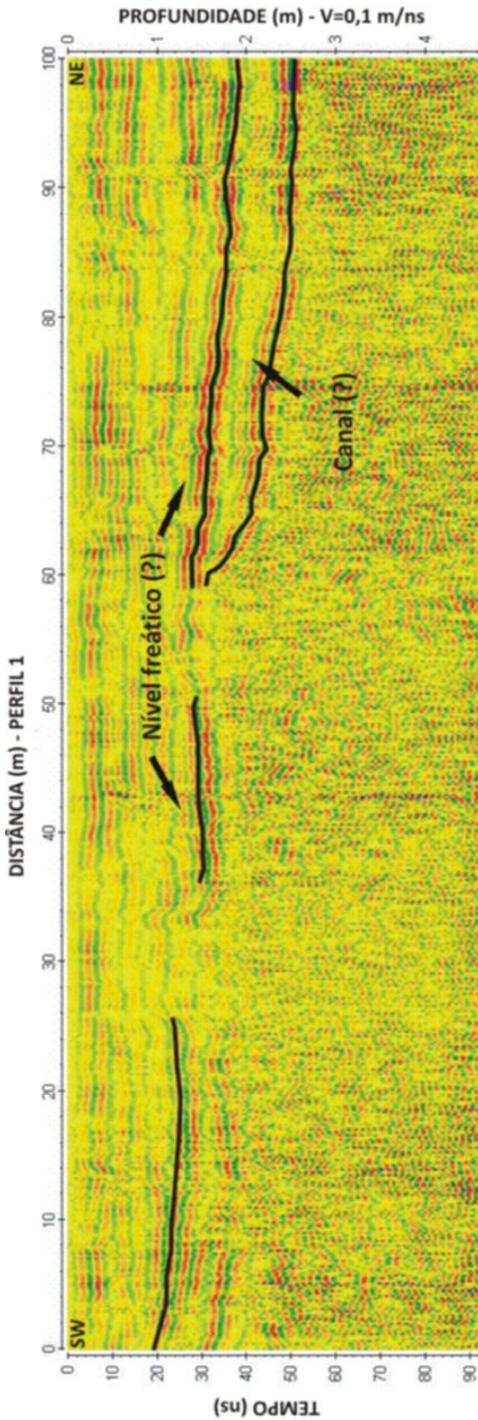


Figura 7. Modelo interpretativo para o intervalo 0 a 100 m do Perfil 1.
Figure 7. Interpretative model for the interval 0 to 100 m of Profile 1.

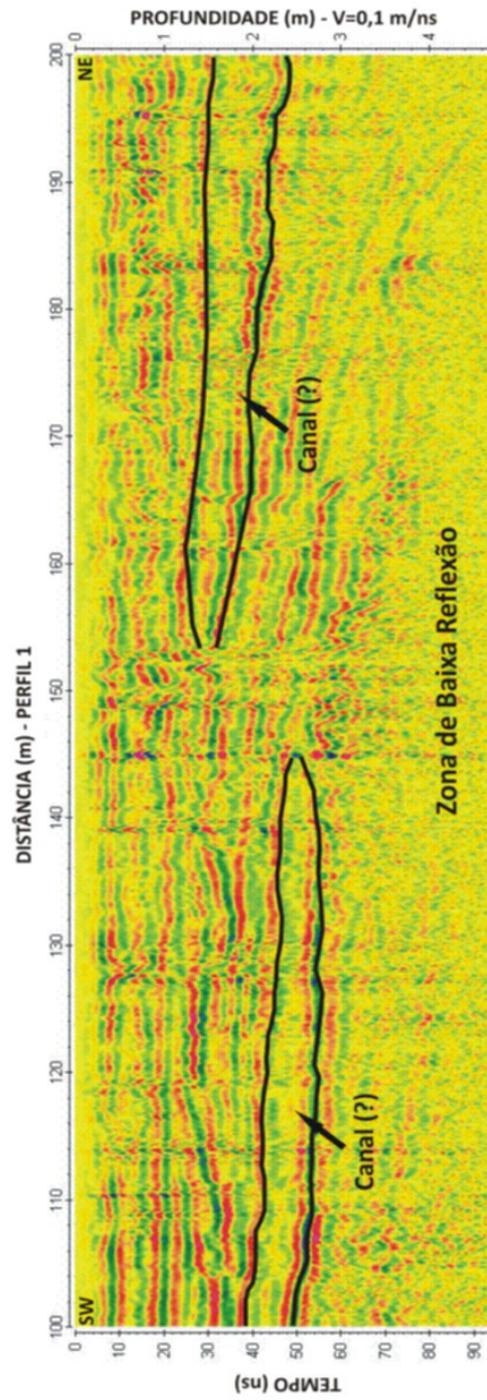


Figura 8. Modelo interpretativo para o intervalo 100 a 200 m do Perfil 1.
Figure 8. Interpretative model for the interval 100 to 200 m of Profile 1.

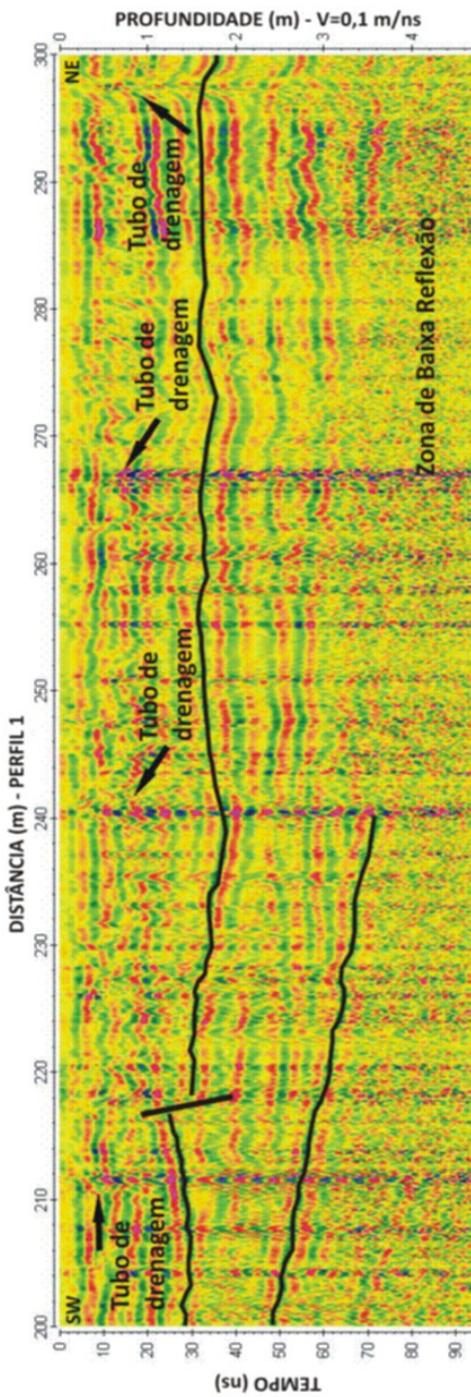


Figura 9. Modelo interpretativo para o intervalo 200 a 300 m do Perfil 1.
Figure 9. Interpretative model for the interval 200 to 300 m of Profile 1.

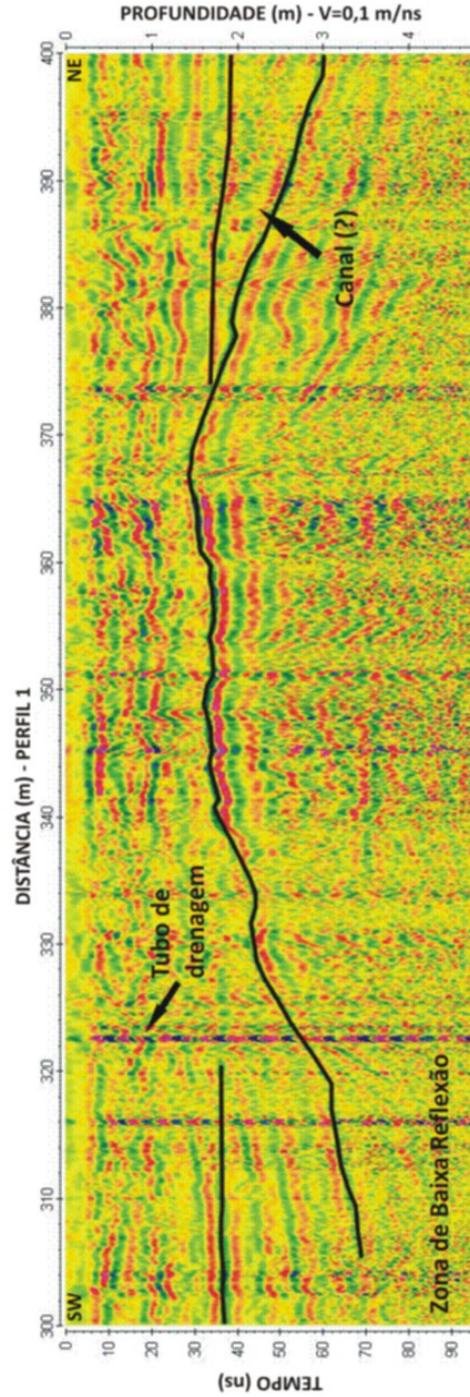


Figura 10. Modelo interpretativo para o intervalo 300 a 400 m do Perfil 1.
Figure 10. Interpretative model for the interval 300 to 400 m of Profile 1.

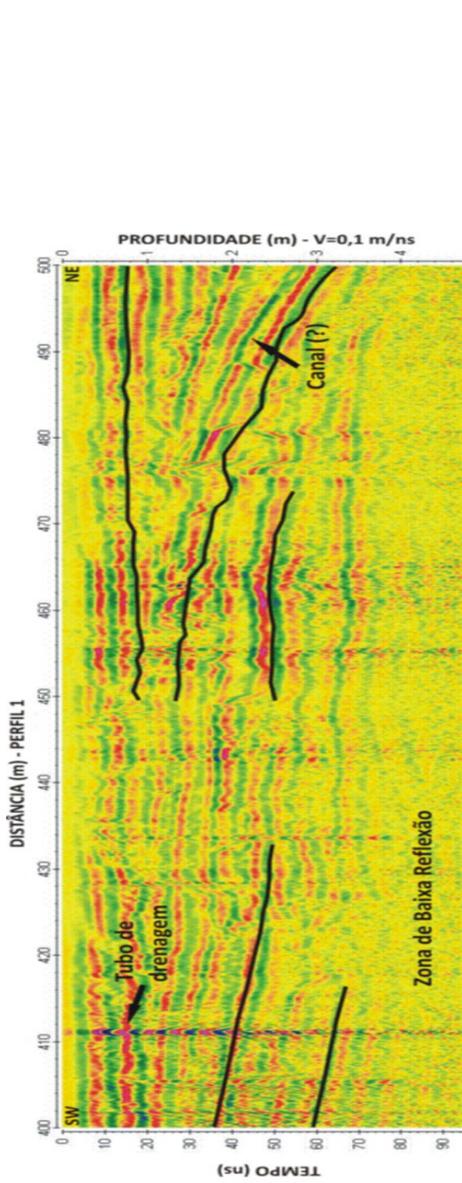


Figura 11. Modelo interpretativo para o intervalo 400 a 500 m do Perfil 1.
Figure 11. Interpretative model for the interval 400 to 500 m of Profile 1.

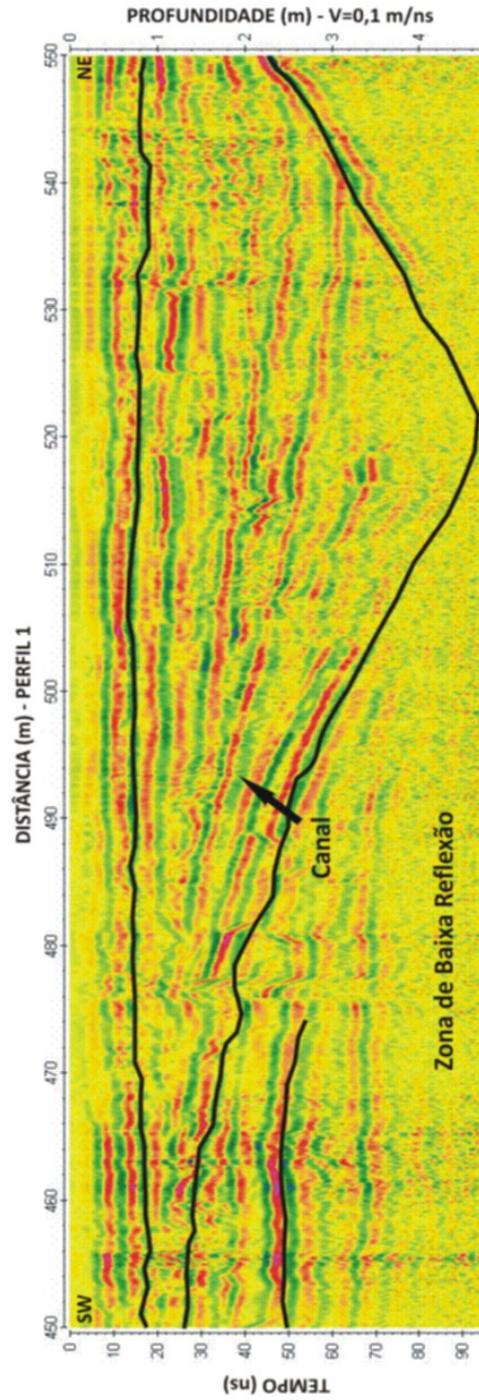


Figura 12. Modelo interpretativo para o intervalo 450 a 550 m do Perfil.
Figure 12. Interpretative model for the interval 450 to 550 m of Profile 1.

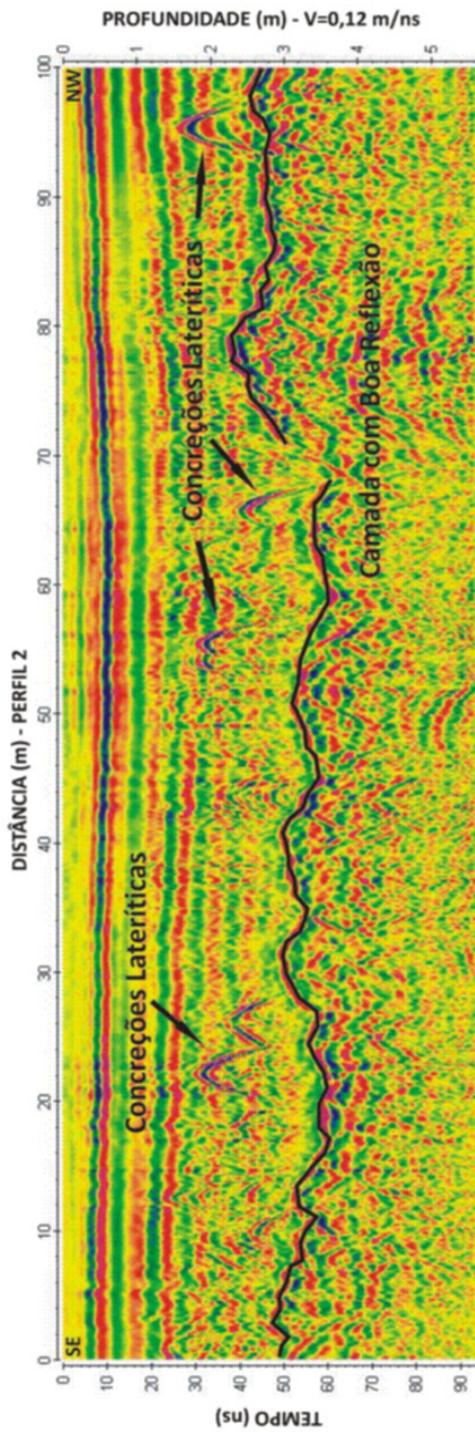


Figura 13. Modelo interpretativo para o intervalo 0 a 100 m do Perfil 2.
Figure 13. Interpretative model for the interval 0 to 100 m of Profile 2.

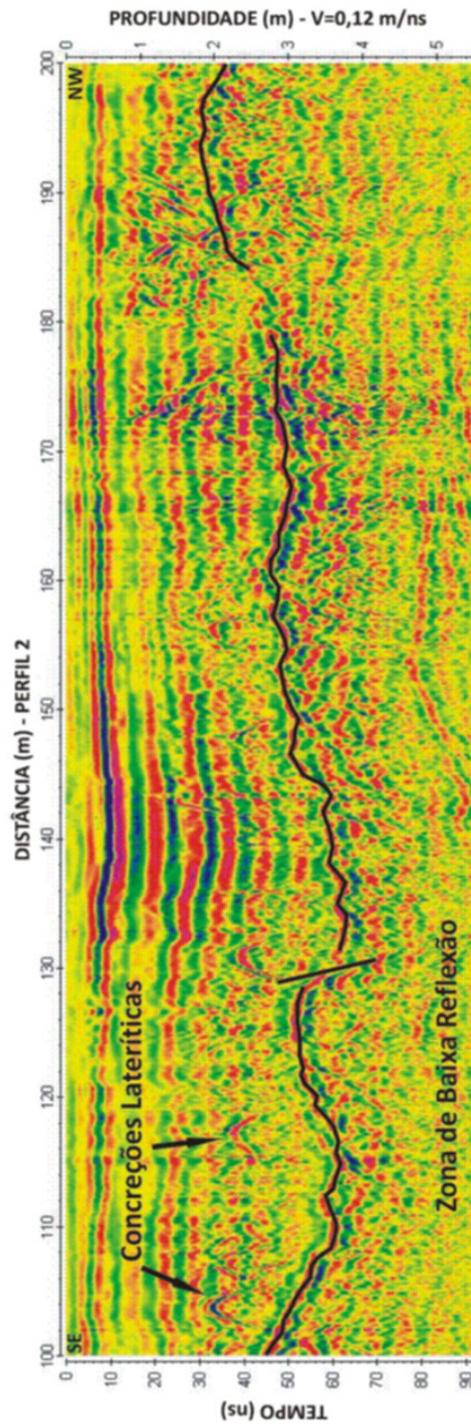


Figura 14. Modelo interpretativo para o intervalo 100 a 200 m do Perfil 2.
Figure 14. Interpretative model for the interval 100 to 200 m of Profile 2.

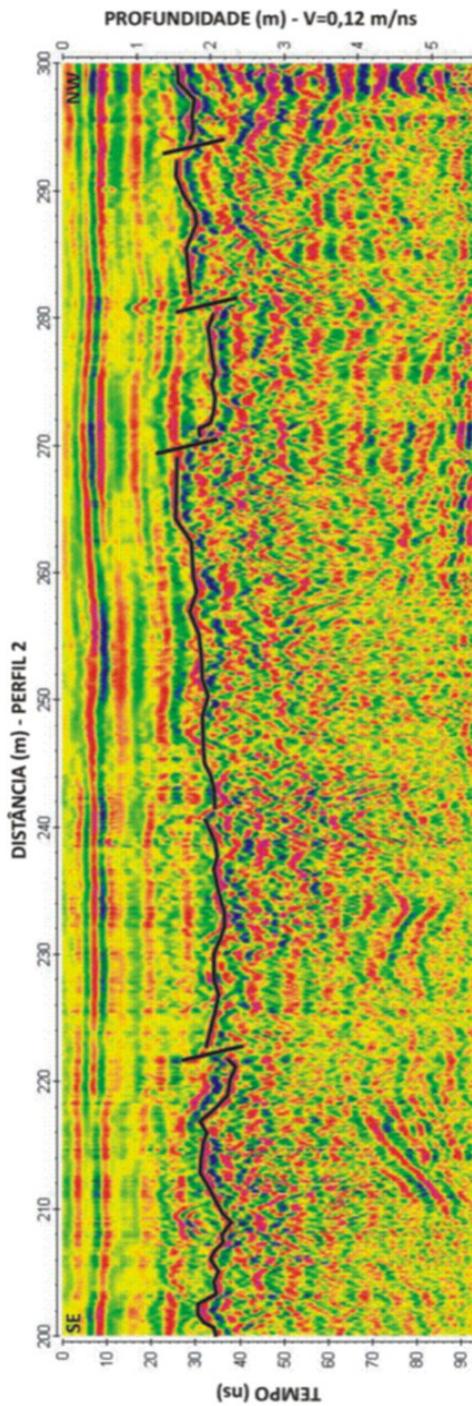


Figura 15. Modelo interpretativo para o intervalo 200 a 300 m do Perfil 2.
Figure 15. Interpretative model for the interval 200 to 300 m of Profile 2.

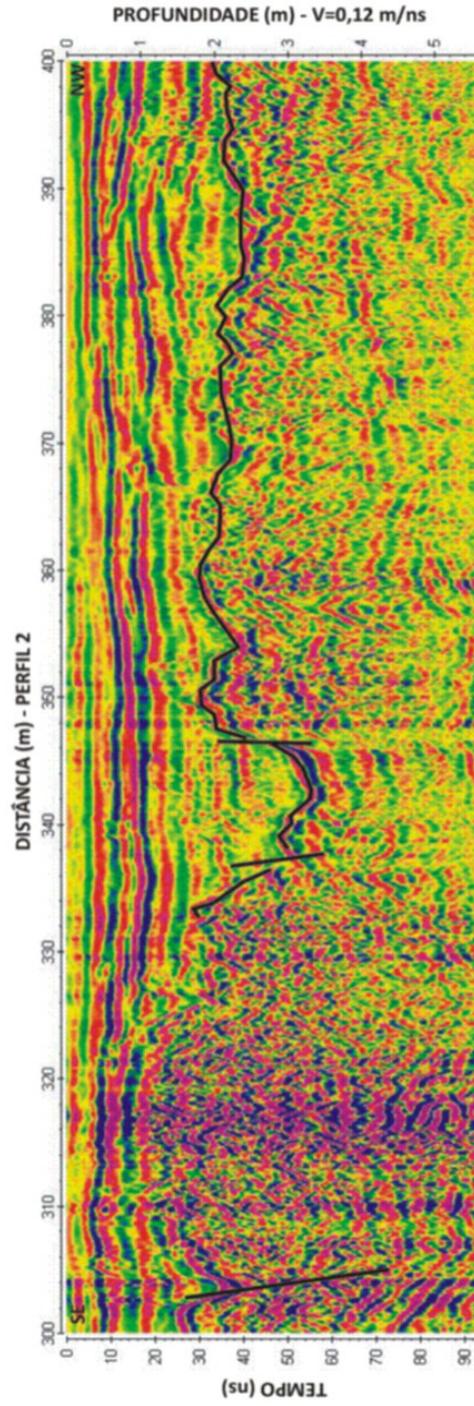


Figura 16. Modelo interpretativo para o intervalo 300 a 400 m do Perfil 2.
Figure 16. Interpretative model for the interval 300 to 400 m of Profile 2.

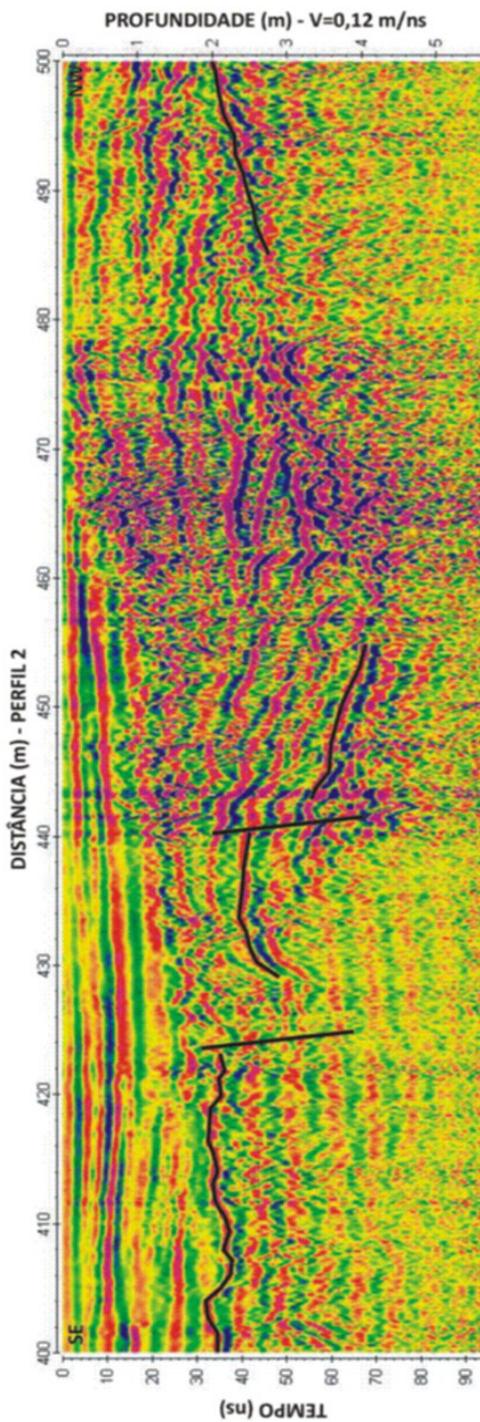


Figura 17. Modelo interpretativo para o intervalo 400 a 500 m do Perfil 2.
Figure 17. Interpretative model for the interval 400 to 500 m of Profile 2.

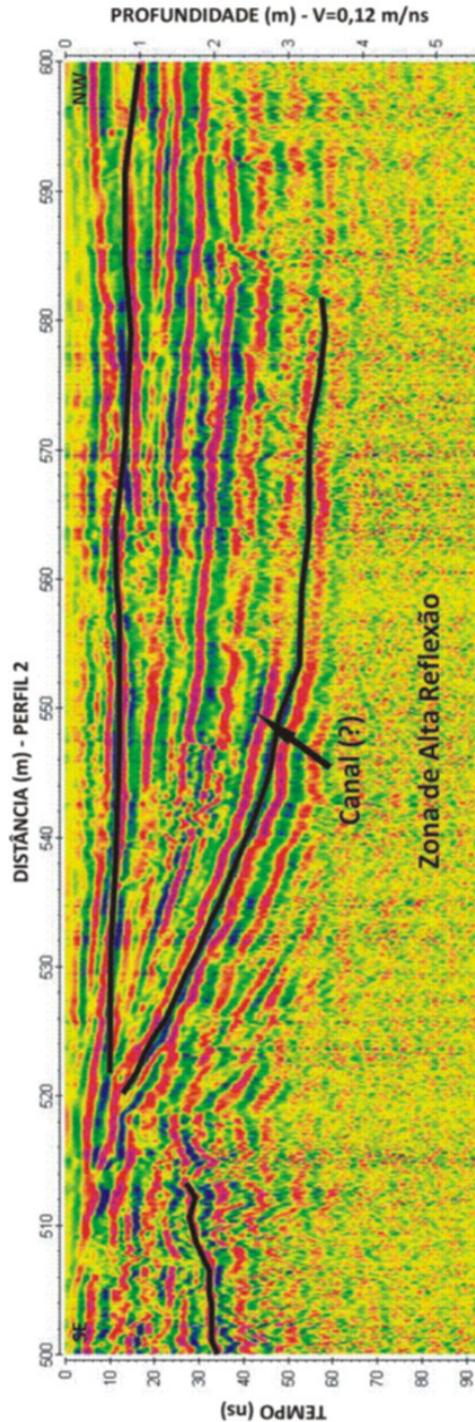


Figura 18. Modelo interpretativo para o intervalo 500 a 600 m do Perfil 2.
Figure 18. Interpretative model for the interval 500 to 600 m of Profile 2.

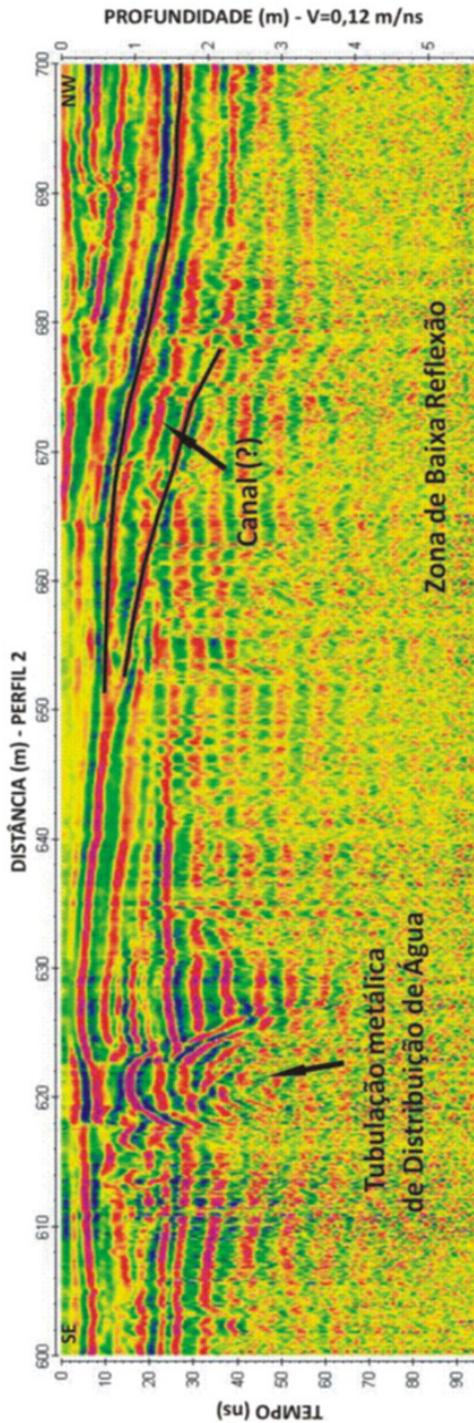


Figura 19 – Modelo interpretativo para o intervalo 600 a 700 m do Perfil 2.
Figure 19 – Interpretative model for the interval 600 to 700 m of Profile 2.

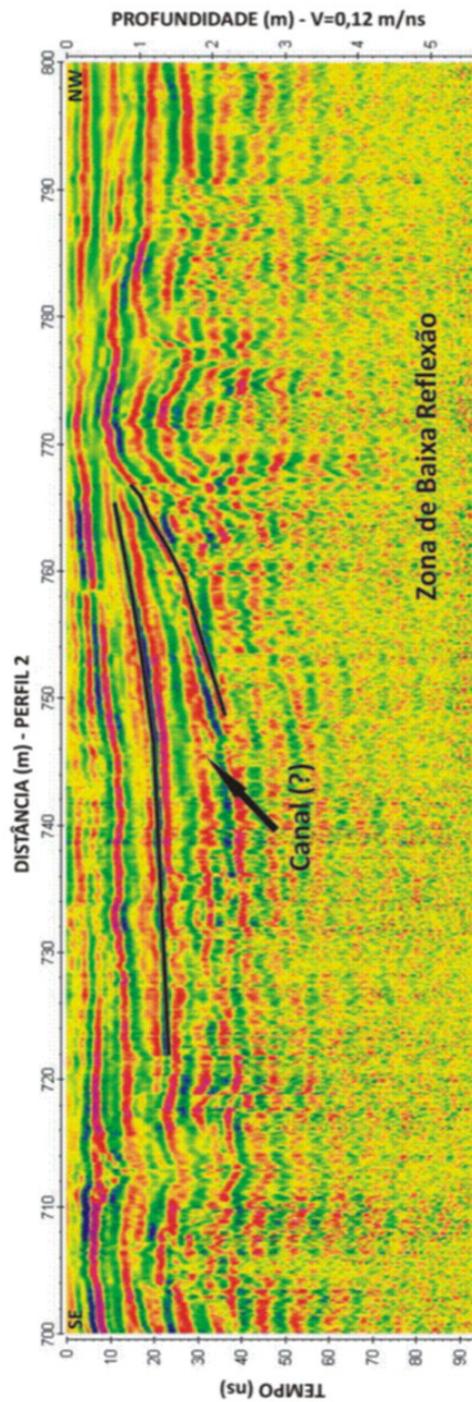


Figura 20 – Modelo interpretativo para o intervalo 700 a 800 m do Perfil 2.
Figure 20 – Interpretative model for the interval 700 to 800 m of Profile 2.

CONCLUSÕES

Nos estudos realizados com a aplicação do método geofísico GPR na área do PEUt, em comparação aos resultados obtidos com o método geofísico EM (Sistema Slingram MAX MIN I) e instalação de piezômetros, provenientes de estudos realizados anteriormente na área de pesquisa, foi possível identificar zonas de baixa reflexão de sinal causadas por argilas, bem como reflexões que foram associadas a blocos lateríticos e tubulações. Alguns padrões de reflexões mostraram feições que podem ser devidos a paleocanais arenosos. O padrão das reflexões pode, portanto, ser relacionado com a distribuição dos sedimentos na área, rep-

resentados por argilas variegadas e areias de granulometria que correspondem à fração de areia fina e média, relacionados aos sedimentos do período Pós-Barreiras. O resultado dessa correlação indica que as variações de condutividade detectadas através das medidas realizadas na área, são associadas mais às variações litológicas do que a contaminação.

A comparação entre os perfis indicou a predominância de argilidade em subsuperfície, o que sugere que os recursos hídricos locais possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial. A presença de canais arenosos rasos, identificados nos perfis, entretanto, se constitui em um caminho para a migração de contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.M. de. **Estudo da contaminação por hidrocarbonetos em postos de serviços do município de Abaetetuba-Pa utilizando georadar**. 2007. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém.
- BAHIA, V. E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta**. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- BAHIA, V.E.; LUIZ, J. G.; FENZL, N.; SOUZA, D.M.; PIRATOBIA MORALES, G. A subsuperfície rasa na área do Parque Ambiental de Belém: Estudo a partir de dados geofísicos e de poços. In: Gilmar José Rizzotto; Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros; Marcelo Lacerda Vasquez. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. 6. ed. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte, 2009. cap. 12, p. 183-192.
- BERES JR., M.; HAENI, F.P. Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeologic Studies. **Ground Water**, Malden, v. 29, n. 3, p. 375-386, may. 1991.
- BOTELHO, M.A.B.; PESTANA, R. Migração de radar (GPR) com correção topográfica simultânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39.; 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. p. 394-397.
- DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, Malden, v. 37, n.5, p. 531-551, jul. 1989.
- DANIELS J.J. **Surface Penetrating Radar**. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- FARIAS, E. DOS S.; NASCIMENTO, F.S DO; FERREIRA, M.A.A. **Mapeamento da área Belém-Outeiro**. 1992. 247 f. Estágio de campo III (Relatório Final) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- FISHER, E.; MCMECHAN, G.A.; ANNAN, A.P. Acquisition and processing of wide-aperture ground-penetrating radar data. **Geophysics**, Tulsa, v. 57, n.3, p. 495-504, jun. 1992a.
- FISHER, E.; MCMECHAN, G.A.; ANNAN, A.P.; CO-
- SWAY, S.W. Examples of reverse-time migration of single-channel, ground-penetrating radar profiles. **Geophysics**, Tulsa, v. 57, n. 4, p. 577-586, jun. 1992b.
- MATTA, M.A. da S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292 p. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- NEVES, F.A.; ROULSTON, M.S.; MILLER, J.A. Source signature deconvolution of ground penetrating radar data. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 143-153, jul. 1995.
- PEREIRA, S.F.; OU Z.Y.; KIMBLE, H.J. Backaction evading measurement for quantum nondemolition detection and quantum optical tapping. **Phys. Rev. Lett.**, Califórnia, v. 72, n. 2, p. 214-217, jan. 1994.
- PIRATOBIA MORALES, G. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá**. 2002. 220 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- PORSANI J.L. **Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado - SP**. 1999. 145 p. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM (Belém, PA). **Região Metropolitana de Belém**. Belém, 1995. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. Escala 1:250.000.
- REYNOLDS, J.M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Wiley & Sons Ltda, 1997.
- ROSSETI, D. de F.; TRUCKENBRODT, W.; GOÉS, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra**, Belém, v. 1, n. 4, p. 25-74, nov. 1989.
- SANDMEIER, K.J. Reflexw, version 4.2 Windows 9X/NT/2000/XP: program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refrac-

- tion an transmission data. 2006. Handbook. 408 p.
- SAUCK, W.A.; OLIVEIRA, J.A.D.; CARVALHO, J.S. GPR in the middle amazon basin, Amazonas state, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOPHYSICAL BRAZILIAN SOCIETY, 1995, Belém. **Resumos...**Belém: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1995. p. 972-973.
- SAUMA FILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacentes: Influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade.** 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- ULRIKSEN, C.P.F. **Application of impulse radar to civil engineering.** 1982. 175 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Department of Engineering Geology, University of Technology, Lund.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto de pesquisa “Avaliação hidrogeoquímica do sistema hídrico na área de abrangência do Parque Ambiental de Belém-PA”, financiado com recursos do CNPq, através do Processo Nº 471041/2006-8.

