

## CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA DE ÁREA DE CURTUME LOCALIZADA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE ICOARACI, BELÉM-PARÁ

Lana Patrícia Martins Nunes<sup>1</sup> e José Gouvêa Luiz<sup>2</sup>

Recebido em 3 abril, 2006 / Aceito em 22 novembro, 2006  
Received on April 3, 2006 / Accepted on November 22, 2006

**ABSTRACT.** A study covering the shallow subsurface was performed in order to investigate the possibility of underground contamination by liquids used in the industrial processing of dead animal skin to produce tanned hide. The study was carried out inside the area of the Couro do Norte industry, located in the Icoaraci Industrial District (Belém-PA). The used geophysical methodology was: resistivity (imaging and vertical electric soundings), spontaneous potential, electromagnetic (slingram) and ground penetrating radar (GPR). The integrated geophysical interpretation of data indicated the underground flow direction and a shallow plume of contamination, caused probably by the disposal of effluents by the Couro do Norte industry.

**Keywords:** Contamination plume, tanned hide, Icoaraci, shallow geophysics, GPR.

**RESUMO.** Foi desenvolvido um estudo da subsuperfície rasa para investigar a possibilidade de contaminação do subsolo por líquidos usados no tratamento de couros. O estudo foi realizado na área da indústria Couro do Norte, Bairro de Maracacuera, no Distrito Industrial de Icoaraci em Belém-PA. As metodologias geofísicas utilizadas foram: eletrorresistividade (na forma de imageamento e através de sondagens verticais), potencial espontâneo, eletromagnético (slingram) e radar de penetração no solo (GPR). A interpretação conjunta dos dados geofísicos indicou a direção do fluxo subterrâneo e uma pluma de contaminação rasa na área do estudo causada provavelmente pelo despejo dos efluentes do curtume Couro do Norte.

**Palavras-chave:** Pluma de contaminação, curtume, Icoaraci, geofísica rasa, GPR.

---

<sup>1</sup>Curso de Pós-Graduação em Geofísica – UFPA, Caixa Postal 8608, 66075-110 Belém, PA, Brasil. Tel.: (91) 3201-7692; Fax: (91) 3201-7693 – E-mail: lanapnunes@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Curso de Pós-Graduação em Geofísica / Departamento de Geofísica – UFPA, Caixa Postal 8608, 66075-110 Belém, PA, Brasil. Tel.: (91) 3201-7671; Fax: (91) 3201-7609 – E-mail: gouvea@ufpa.br

## INTRODUÇÃO

Os curtumes são indústrias que processam peles de animais com o objetivo da sua conservação e acabamento. Nos curtumes a pele recém tirada do animal passa por diversas operações mecânicas e processos químicos. Os produtos geralmente adicionados são: sulfato de cromo, álcalis à base de mercúrio, sulfeto de sódio, cloreto de sódio, fungicida e óleo catiônico. As várias substâncias usadas durante o processamento das peles são tóxicas ou potencialmente tóxicas e geram resíduos que podem contaminar a água subterrânea. Por outro lado, a presença de ácidos e sais nos efluentes lançados pelos curtumes eleva consideravelmente a quantidade de sólidos totais no solo e na água subterrânea, tornando-os eletricamente mais condutivos; por esse motivo, medidas elétricas podem indicar a presença de contaminação.

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo da subsuperfície rasa na área do Curtume Couro do Norte, localizada no Distrito Industrial de Icoaraci, em Belém-PA. Durante o estudo foi aplicada metodologia geofísica visando a determinação do fluxo de água do primeiro aquífero e a detecção de possível contaminação do subsolo por poluentes liberados pelo curtume. Esses poluentes que antes eram drenados por uma vala até um igarapé (córrego) localizado nos fundos do curtume, posteriormente passaram a ser drenados por tubulações subterrâneas.

A metodologia geofísica aplicada consistiu de medidas da resistividade elétrica do subsolo (imageamento elétrico e sondagem elétrica vertical), medidas de potencial elétrico espontâneo e medidas eletromagnéticas (slingram e GPR).

## FISIOGRAFIA E CONTEXTO GEOLÓGICO

O estudo foi desenvolvido dentro dos limites do curtume Couro do Norte, localizado no Distrito Industrial de Icoaraci (Figura 1). Geograficamente, a área situa-se nos arredores das coordenadas 1°17,3' de latitude sul e 48°27,8' de longitude oeste (UTM, sistema WGS-84: 9857 400 northing, 782 350 easting), distando aproximadamente 25 km ao norte de Belém.

Icoaraci é um distrito pertencente ao município de Belém que conta com uma população de aproximadamente 100.000 habitantes, distribuídos numa área de 204,11 ha. Caracteriza-se por apresentar um clima quente e úmido e pluviosidade elevada com precipitação média anual de 2500 a 3000 mm. Geomorfologicamente, a área apresenta um relevo plano, relativamente uniforme, com pouquíssimas oscilações altimétricas, sendo que sua cota média gira em torno de 16 metros.

Geologicamente, a subsuperfície rasa da área caracteriza-se por apresentar unidades representadas pelos períodos Terciário e Quaternário. Fazem parte deste contexto sedimentos terciários da

Formação Barreiras, sedimentos quaternários do Pós-Barreiras e sedimentos holocênicos (Rosseti et al., 1989).

A Formação Barreiras é constituída por sedimentos continentais argilosos (argilitos), arenosos (arenitos) e conglomeráticos (conglomerados) com níveis ferruginosos, pouco consolidados de arenito.

O Pós-Barreiras é representado por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, facilmente desagregáveis, coloração variando de creme-amarelado a totalmente branco, de granulometria fina a média e sem estruturação sedimentar aparente.

Os sedimentos holocênicos são constituídos por areias finas a médias, de coloração marrom, com silte e argilas distribuídas na orla litorânea, leito de rios, igarapés e baixadas inundáveis.

Na área de estudo podem ser observados em superfície os sedimentos Pós-Barreiras e holocênicos.

## METODOLOGIA

Os métodos geofísicos tradicionais, utilizados na prospecção mineral, podem também ser utilizados para solucionar questões relativas à detecção e monitoramento de fluxos de contaminantes uma vez que eles quase sempre apresentam teores elevados de ácidos e sais dissolvidos, que elevam consideravelmente a condutividade da água subterrânea.

Neste trabalho, os seguintes métodos foram utilizados na investigação geofísica realizada: potencial espontâneo, eletrorresistividade e os métodos eletromagnéticos slingram e radar de penetração no solo.

### Método Eletromagnético Slingram

Para as medidas com o método eletromagnético slingram foi empregado o sistema coplanar horizontal como configuração geométrica das bobinas transmissora e receptora. As medidas foram realizadas ao longo de 5 linhas orientadas segundo a direção N345° (Figura 2) com o equipamento Max Min I, que permite amostragem das componentes em fase e em quadratura do campo secundário nas frequências 110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz.

No levantamento realizado, as leituras das componentes em fase e em quadratura foram tomadas para as oito frequências disponíveis no equipamento. A separação entre as bobinas transmissora e receptora foi igual a 25 metros e as leituras foram realizadas a intervalos de 10 metros ao longo de todas as linhas.

### Potencial Espontâneo

As medidas de potencial espontâneo foram realizadas nas mesmas 5 linhas do levantamento com o método slingram, cuja

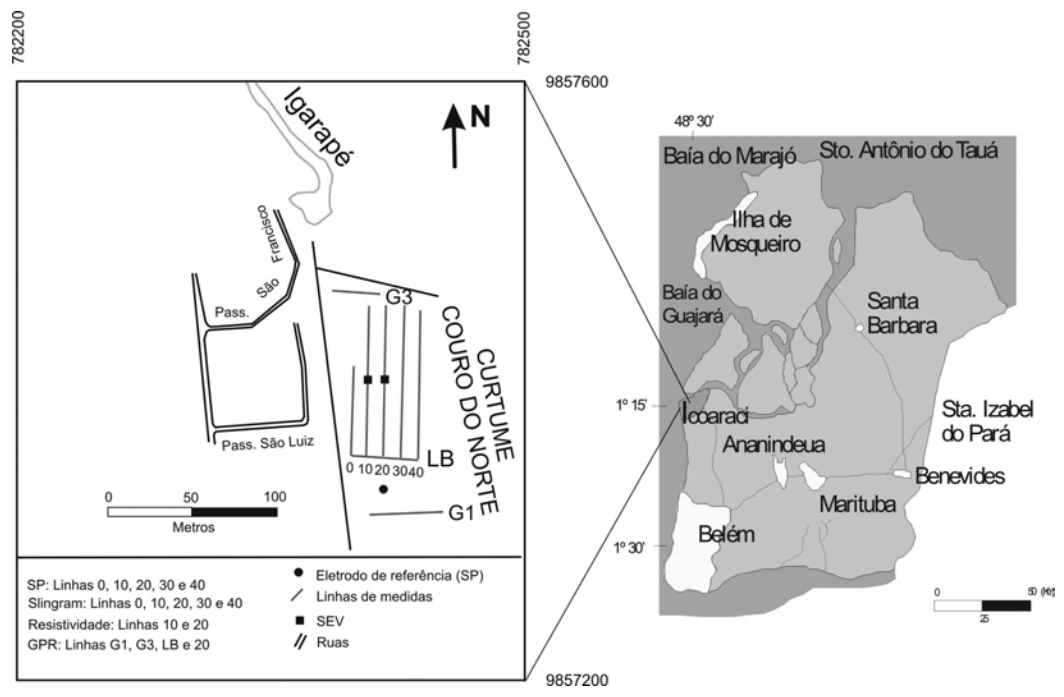


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

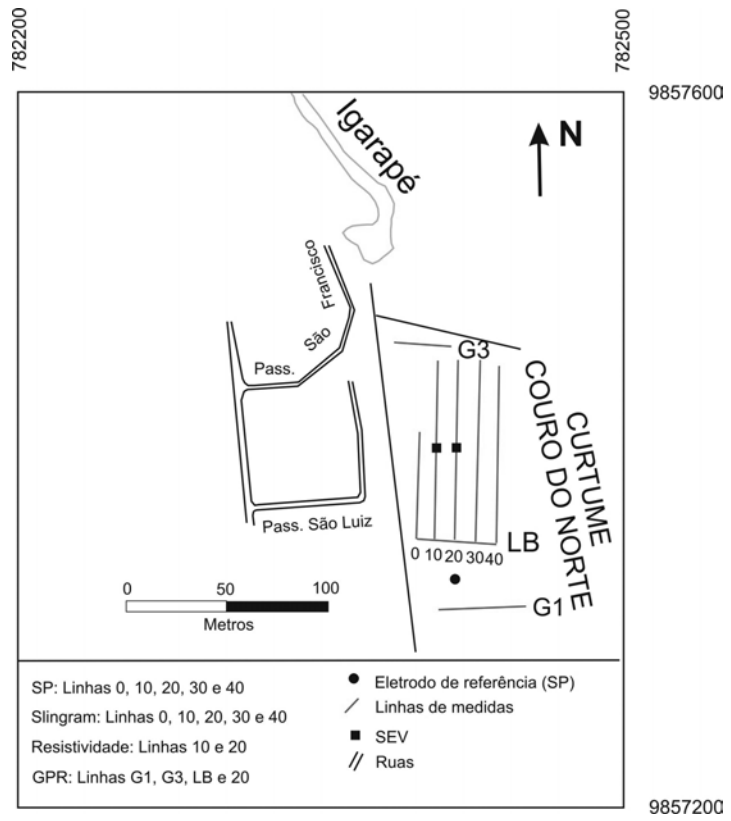


Figura 2 – Mapa de localização do levantamento geofísico.

localização é mostrada na Figura 2. Para as medidas utilizou-se equipamento construído no Departamento de Geofísica da UFPA. Os eletrodos usados durante as medidas foram do tipo não polarizável, com haste de cobre mergulhada em solução de sulfato de cobre colocada em um recipiente com fundo poroso e permeável. Antes das medidas, os eletrodos foram deixados conectados e imersos em uma solução de sulfato de cobre por mais de 12 horas, com o objetivo de equilibrarem o seu potencial.

A configuração para medir os valores da diferença de potencial foi o de base fixa (método do potencial), que consiste em manter um eletrodo fixo (eletrodo de referência) enquanto o outro é deslocado nas linhas. O eletrodo de referência foi colocado 22 m a sul da linha 20, como mostra a Figura 2, enquanto o eletrodo móvel foi deslocado a intervalos de 5 metros ao longo das linhas. Durante as medidas, o eletrodo fixo foi conectado ao pólo negativo do instrumento.

### Eletrorresistividade

As medidas de eletrorresistividade foram realizadas nas linhas 10 e 20 (Figura 2). Duas metodologias de coleta de dados foram empregadas: caminhamentos elétricos e sondagens elétricas verticais (SEVs).

Foram realizadas 2 SEVs: uma delas com centro na posição mediana da linha 10 (SEV Couro 1) e a outra com centro na posição mediana da linha 20 (SEV Couro 2). Ambas as SEVs foram realizadas com o arranjo Schlumberger e separação máxima de 110 m entre os eletrodos de corrente.

Os valores de resistividade aparente medidos nas SEVs foram interpretados através da técnica de inversão a fim de se obterem modelos geoelétricos da subsuperfície. Esse procedimento foi realizado com o programa desenvolvido por Zohdy & Bisdorf (1989).

Os caminhamentos elétricos também foram realizados ao longo das linhas 10 e 20 (Figura 2) com o arranjo dipolo-dipolo, com 5 m de separação entre os dipolos e 5 níveis de investigação. Este procedimento permitiu a obtenção de uma imagem da subsuperfície ao longo dos perfis, que mostra a distribuição da resistividade nas direções horizontal e vertical.

O equipamento utilizado para a coleta dos dados nas SEVs e nos caminhamentos foi o resistímetro marca GEOTEST, pertencente ao Departamento de Geofísica da UFPA, que permite a obtenção de medidas individuais dos valores de  $V$  (diferença de potencial) e  $I$  (corrente). O cálculo da resistividade aparente é obtido através da multiplicação do fator geométrico do arranjo pela razão  $V/I$ .

### Radar de Penetração no Solo (GPR)

As medidas com o GPR foram realizadas nas linhas G1, 20, LB, e G3 (Figura 2), utilizando-se o equipamento GSSI SIR-3000, com antena de 200 MHz. Os dados foram coletados no modo tempo com a antena sendo deslocada continuamente sobre a superfície do terreno. O posicionamento da antena foi estabelecido com a inserção de marcas no registro a intervalos constantes. Esse intervalo foi de 5m nas linhas G1, LB e G3 e 10m na linha 20.

Os registros obtidos foram processados com o programa computacional GRADIX (1997). O processamento consistiu de seguintes procedimentos: a) redistribuição espacial da amostragem para a obtenção do espaçamento uniforme entre as marcas de controle do posicionamento; b) aplicação do filtro passa alta ("dewow"); c) estabelecimento do tempo zero de registro para a obtenção do nível zero de profundidade; d) determinação da velocidade de propagação da onda usando método da superposição de hipérboles; e) conversão da escala vertical de tempo em profundidade; f) remoção de atenuação.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Levantamento Slingram

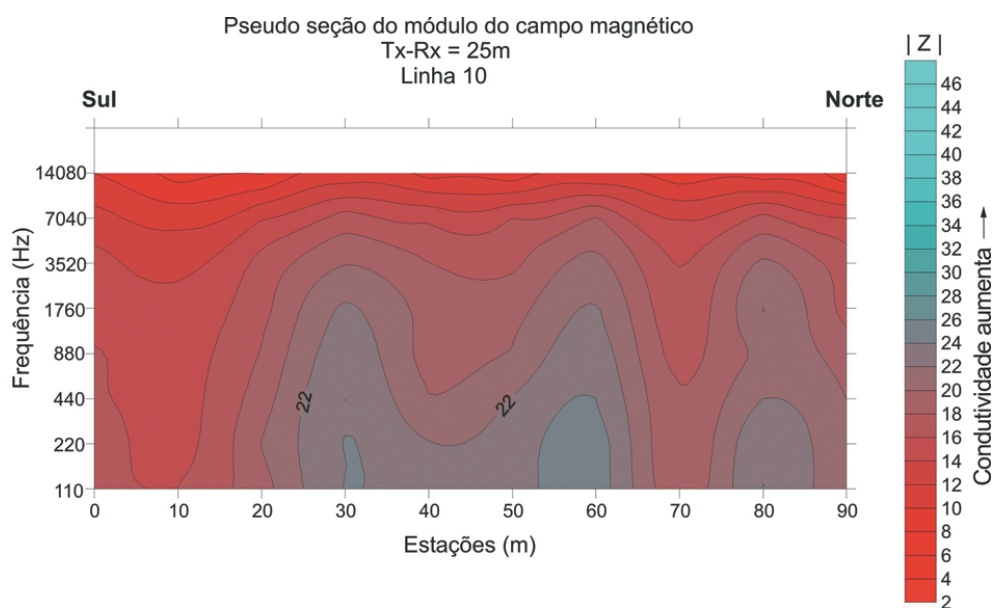
As componentes em fase e em quadratura do campo magnético secundário relativo ao campo primário foram combinadas, para cada frequência de amostragem, através da expressão:

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

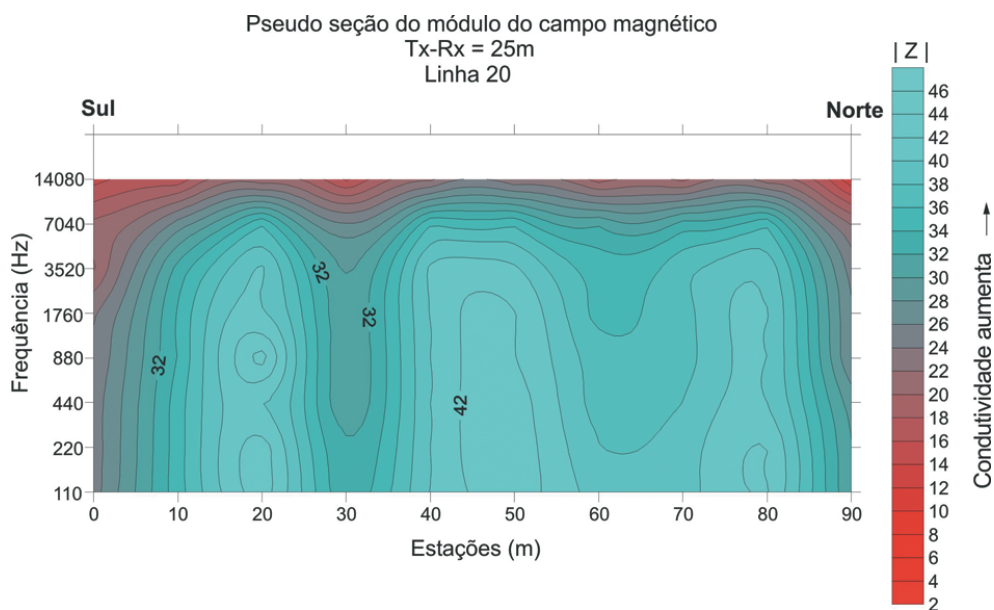
em que  $F$  e  $Q$  são respectivamente os valores das componentes em fase e em quadratura do campo secundário relativos ao campo primário, e  $Z$  representa o módulo do campo secundário relativo ao campo primário, que, de acordo com Silva (2002), fornece uma indicação da condutividade elétrica relativa dos materiais da subsuperfície.

Como a profundidade de investigação aumenta com a diminuição da frequência de oscilação da onda eletromagnética, a representação de  $Z$  contra frequência constitui uma pseudo-seção da distribuição da condutividade relativa da subsuperfície. Do mesmo modo, os mapas de isovalores de  $Z$  construídos para cada frequência mostram a distribuição da condutividade relativa em diversos níveis de profundidade.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram as pseudo-seções obtidas respectivamente nas linhas adjacentes 10, 20 e 30. Em todas as pseudo-seções a parte mais rasa (maior frequência) apresenta os menores valores de  $Z$ , sugerindo aí, de acordo com Silva (2002), um meio mais resistivo, provavelmente associado ao material laterítico bastante endurecido que se observou na superfície do terreno durante a tomada de medidas.



**Figura 3** – Pseudo-seção do módulo relativo do campo magnético secundário para a Linha 10.



**Figura 4** – Pseudo-seção do módulo relativo do campo magnético secundário para a Linha 20.

A pseudo-seção da linha 20 (Figura 4) apresenta características diferentes das pseudo-seções das outras linhas. Nela se observa uma zona condutora mais abrangente, que pode ter sido causada por contaminação. Também nessa linha, a camada superficial de maior resistividade parece ser menos espessa. A comparação dessa pseudo-seção com aquelas das duas linhas adjacentes mostradas nas Figuras 3 e 5 sugere duas possibi-

lidades para o comportamento espacial da zona condutora: a) a zona condutora é decorrente de contaminação que foi gerada adjacente à linha 20 e migrou para ela; b) a zona condutora é devida à contaminação que foi gerada às proximidades da linha 20 e está se espalhando lateralmente a partir dela.

As Figuras 6, 7 e 8 mostram mapas de contornos de isovalores de  $Z$  respectivamente para as frequências 14.080 Hz,

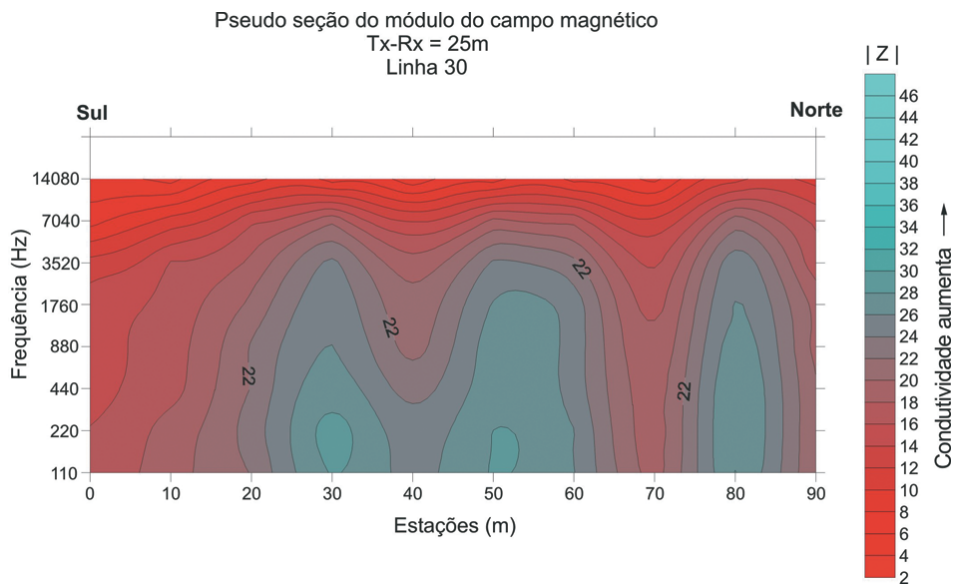


Figura 5 – Pseudo-seção do módulo relativo do campo magnético secundário para a Linha 30.

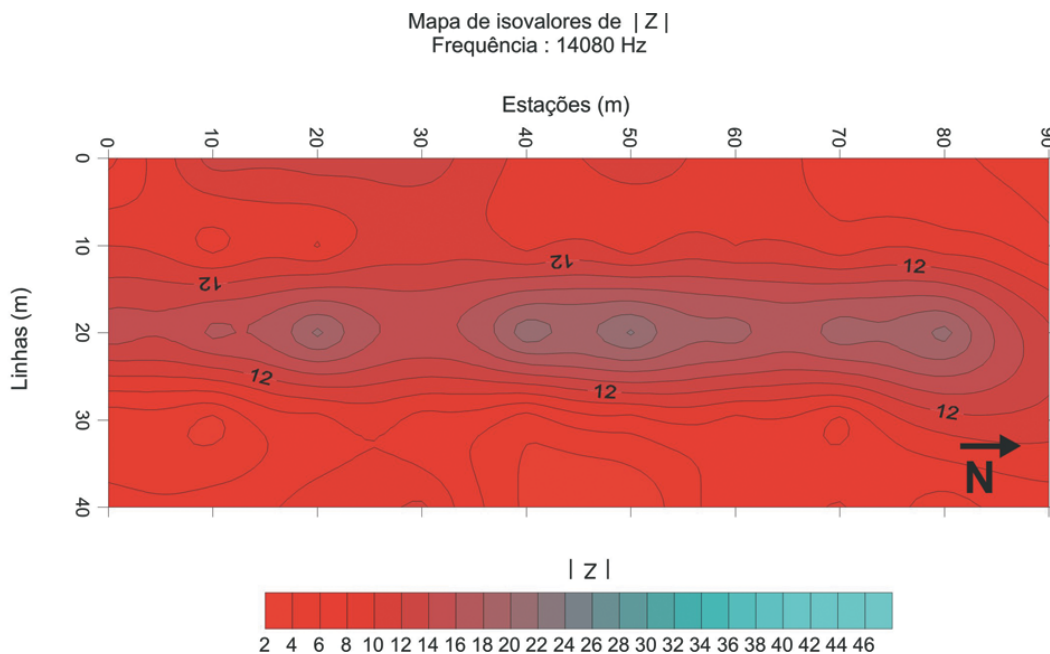


Figura 6 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 14080 Hz.

7.040 Hz e 440 Hz. Na Figura 6, onde estão representados os valores obtidos para a frequência 14080 Hz, pode-se notar um predomínio dos menores valores de  $Z$  em toda a extensão da área pesquisada, sugerindo que próximo à superfície do terreno há predominância de material mais resistivo. Observa-se também, nessa figura, que na posição da linha 20 ocorrem os maiores valores de  $Z$  e maior condutividade.

Comparando os mapas das Figuras 6 a 8 verifica-se que a zona mais condutora tem sua largura aumentada e se torna mais significativa à medida que a profundidade de investigação vai aumentando, ou seja, a frequência vai decrescendo. A comparação dos mapas ratifica as possibilidades descritas na análise das pseudo-seções: a) a zona condutora é decorrente de contaminação que migrou das laterais e se concentrou na li-

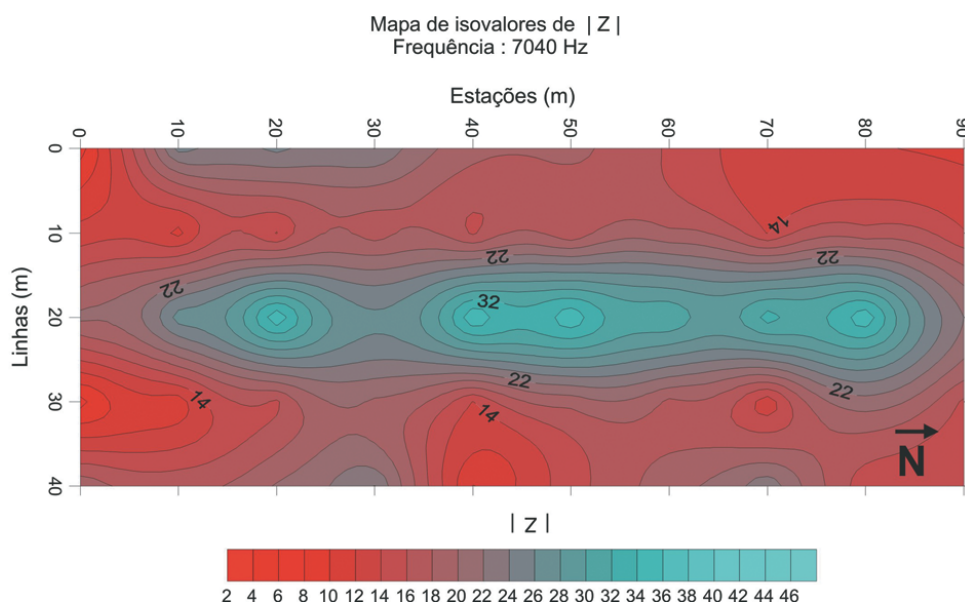


Figura 7 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 7040 Hz.

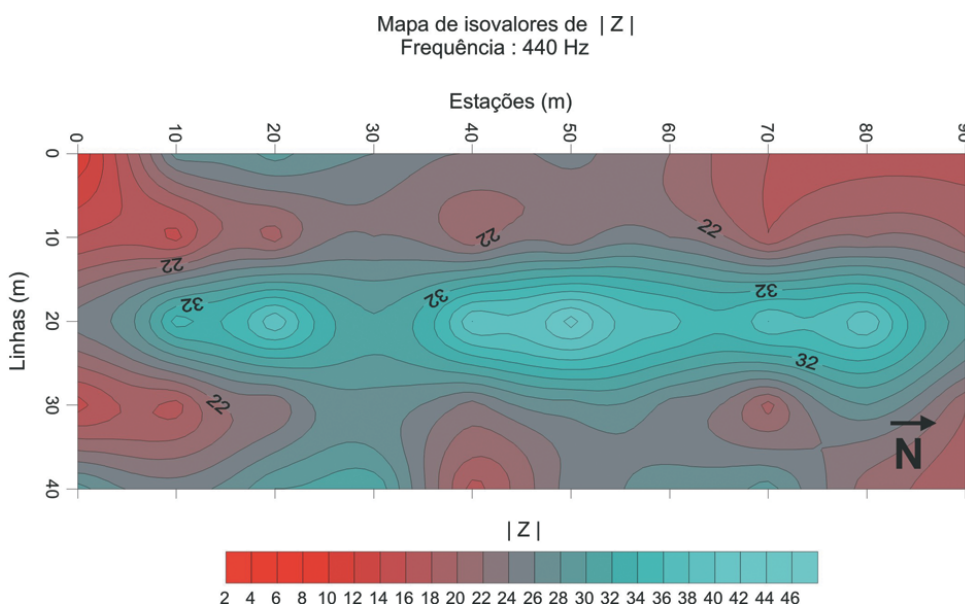


Figura 8 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 440Hz.

nha 20; b) a zona condutora é resultado de contaminação que está sendo gerada nas proximidades da linha 20 e está se espalhando lateralmente.

### Levantamento de Potencial Espontâneo

As medidas obtidas com o método do potencial espontâneo são apresentadas na forma de contornos de isovalores do potencial natural na Figura 9. Observa-se na figura que os valores mais

elevados concentram-se em direção ao centro da área, indicando, conforme Schiavone & Quarto (1984), que o sentido do fluxo é em direção a esses valores. Os potenciais medidos sugerem, portanto, o sentido do fluxo subterrâneo indicado pelas setas na Figura 9. Devido à pequena profundidade de investigação inerente ao método, o fluxo indicado refere-se ao do aquífero freático e o seu sentido indica, portanto, que se houver contaminação ela deve se concentrar na parte central da área.

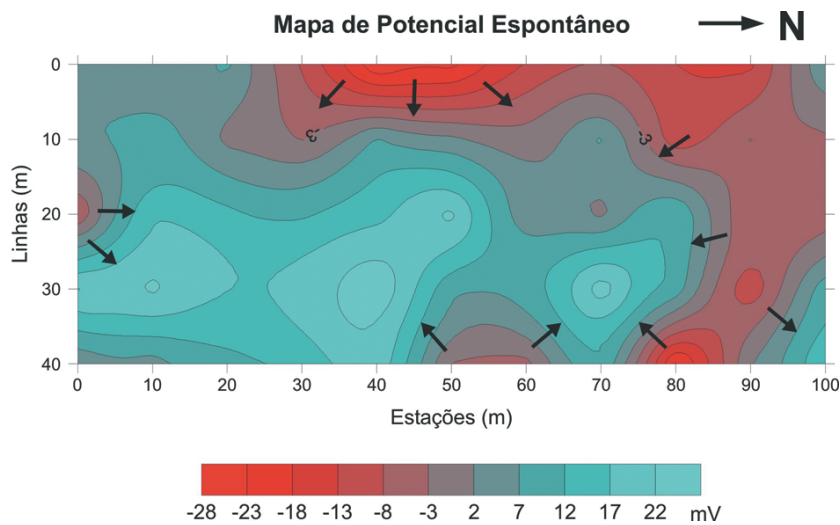


Figura 9 – Mapa de Potencial Espontâneo.

### Caminhamentos Elétricos

Os 2 perfis de resistividade obtidos com o arranjo dipolo-dipolo nas linhas 10 (Perfil 10) e 20 (Perfil 20) estão representados nas Figuras 10 e 11.

O Perfil 10 foi realizado ao longo da linha 10 do levantamento EM, iniciando na linha base e estendendo-se em direção ao igarapé, nos fundos do curtume. Os valores de resistividade variam de um pouco menos que 50 Ohm.m a valores maiores que 1848 Ohm.m, conforme mostra o modelo da Figura 10. Observa-se no perfil que os valores mais baixos (menores que 200 Ohm.m) ocorrem entre as posições 5 m e 25 m e profundidades entre 0,9 m e 2,6 m; e entre as posições 62 m e 67 m, nas profundidades entre 0,9 m e 4,4 m. Esses valores estão, em geral, na faixa de 50 Ohm.m a 200 Ohm.m, não atingindo valores tão baixos quanto os observados no Perfil 20.

A maioria dos valores de resistividade mostrados no modelo da Figura 10 são superiores a 500 Ohm.m e estão provavelmente relacionados ao material laterítico seco, que se observa na superfície do terreno. Os baixos valores de resistividade apresentados no modelo entre as posições 30 e 52 m e profundidade de 8,5 m podem estar relacionados ao topo do lençol freático, que na área externa, a oeste do curtume varia de 3 m a 4,5 m de profundidade (Nunes, 2002). Os outros baixos valores, que ocorrem em profundidade bem menor, podem ser devidos a algum tipo de contaminação, não necessariamente proveniente dos efluentes do curtume, já que o perfil está muito próximo do muro oeste que separa o curtume das casas dos moradores vizinhos.

O Perfil 20 foi realizado ao longo da linha 20 do levanta-

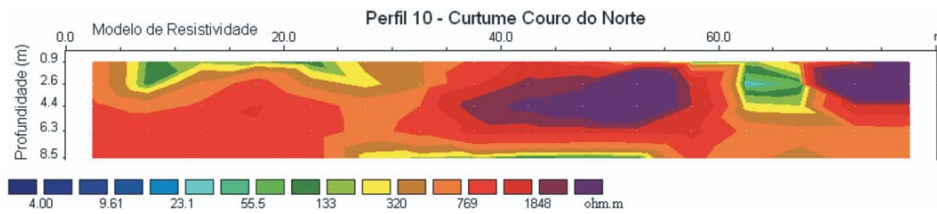
mento EM. O perfil inicia na linha base e estende-se no sentido norte, terminando próximo ao muro que limita o curtume do igarapé. Os valores de resistividade variam de um pouco menos que 4 Ohm.m a um pouco mais do que 1848 Ohm.m, conforme mostra o modelo da Figura 11. Nota-se neste perfil, que os valores mais altos (superiores a 500 Ohm.m) ocorrem entre as posições 10 e 20 m, entre as profundidades de 0,9 e 7,5 m; entre as posições 37 e 50 m e profundidades de 2,6 e 8,5 m; e entre as posições 50 m e o final do perfil, entre as profundidades 0,9 m e 2,6 m.

Verificam-se também, no perfil da Figura 11, duas zonas principais com baixos valores de resistividade (valores inferiores a 200 Ohm.m). Elas estão distribuídas entre as posições 22 a 37 m e profundidades variando entre 2,6 m e 8,5 m e no intervalo entre as posições 60 m e o final do perfil, a partir da profundidade de 4,4 m. Dessas duas zonas de baixa resistividade, aquela que ocorre no final do perfil é particularmente anômala, apresentando valores inferiores a 10 Ohm.m. Esses valores e a sua posição no perfil sugerem a influência de água do igarapé localizado próximo ao final do perfil, contaminada por efluentes do curtume jogados no seu curso. Observam-se ainda, no perfil, valores baixos de resistividade à profundidade próxima de 8,5 m entre as posições 3 m e 7 m e entre as posições 47 m e 55 m. Esses valores podem ser devidos ao topo do lençol freático.

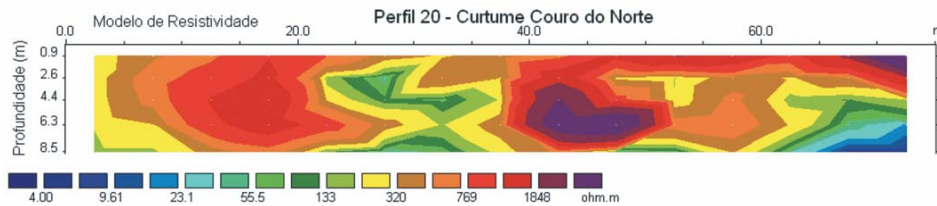
### Sondagens Elétricas Verticais

Os modelos de distribuição de resistividade, interpretados para as duas SEVs, estão representados na Figura 12. Nessas figuras, são também mostrados os dados de campo (representados





**Figura 10** – Imagem de resistividade obtida com o arranjo dipolo-dipolo na Linha 10. Espaçamento dos dipolos igual a 5 metros.



**Figura 11** – Imagem de resistividade obtida com o arranjo dipolo-dipolo na Linha 20. Espaçamento dos dipolos igual a 5 metros.

por círculos pequenos) e as curvas calculadas para os modelos geoeletricos (em linha cheia).

A SEV Couro 1, realizada na linha 10, mostra um aumento da resistividade entre a superfície e a profundidade de 2,6 m com variação de 254 Ohm.m a 436 Ohm.m. A partir dessa profundidade até a profundidade de 18,2 m a resistividade decresce gradativamente até 31,1 Ohm.m. A distribuição de resistividade mostrada no modelo desta SEV está perfeitamente compatível com a distribuição mostrada na imagem de resistividade, apresentada na Figura 10, às proximidades da posição 55 m, local da realização da mesma.

A SEV Couro 2, realizada na linha 20, mostra um aumento da resistividade entre a superfície e a profundidade de 1,82 m com variação de 370 Ohm.m a 801 Ohm.m. A partir dessa profundidade até a profundidade de 8,45 m a resistividade decresce gradativamente até 210 Ohm.m. Posteriormente, a resistividade sofre um aumento com variação de 356 a 373 Ohm.m até a profundidade de 18,2 m e depois diminui. A distribuição de resistividade mostrada no modelo da SEV Couro 2 mostra-se correlacionável com a distribuição exibida na imagem de resistividade apresentada na Figura 11, às proximidades da posição 55 m, local da sua realização; sendo que a correlação é mais forte entre as profundidades 1,82 e 8,45 m.

### Levantamento com GPR

Os radargramas obtidos no levantamento com GPR, após o processamento dos dados coletados, estão ilustrados nas Figuras 13 a 16. Nessas figuras, a interpretação foi baseada na forma gráfica das feições encontradas tendo como base a continuidade e

aspectos da reflexão do sinal.

O Perfil G1 foi realizado ao longo da linha G1, no sentido leste-oeste (Figura 2), próximo a dois tanques utilizados para despejo de produtos químicos, e tem 45m de extensão.

Nota-se no radargrama do perfil (Figura 13) a presença de hipérbolas rasas localizadas nas posições 11,5 m, entre 15,5 e 16,0 m e entre 17,5 e 18 m do início do perfil. Essas feições devem ser devidas a tubos metálicos que partem dos tanques e são usados para despejo de efluentes químicos no igarapé localizado nos fundos do curtume. Observa-se, ainda, que grande parte do registro encontra-se atenuado e constitui-se em zona de sombra (sem reflexão). Isto pode ser observado entre as posições zero e 17,5 m e entre 23,5 m e 33,5 m. A causa das zonas de sombra é provavelmente contaminação pelo líquido muito condutivo (rico em sais), que escapa dos tanques. Além disso, apenas nas posições localizadas entre 17,5 m e 23,5 m e entre 33,5 m e 45 m se podem observar reflexões nítidas.

Verifica-se também no perfil que a profundidade máxima em que se podem observar reflexões nítidas é inferior a 1,5 m. Isso se deve provavelmente à contaminação, porém pode ser ocasionado pela presença de argila. Por fim, as formas hiperbólicas que ocorrem nas zonas de reflexões nítidas podem ser devidas a concreções lateríticas, muito comuns na área.

O perfil LB foi realizado na linha base que define o início de cada uma das linhas dos outros levantamentos realizados na área (Figura 2). O sentido do perfil é leste-oeste, cobrindo uma extensão de 40 m. O radargrama obtido neste perfil encontra-se representado na Figura 14.

No perfil LB é nítida a intercalação de 2 zonas bem distintas.

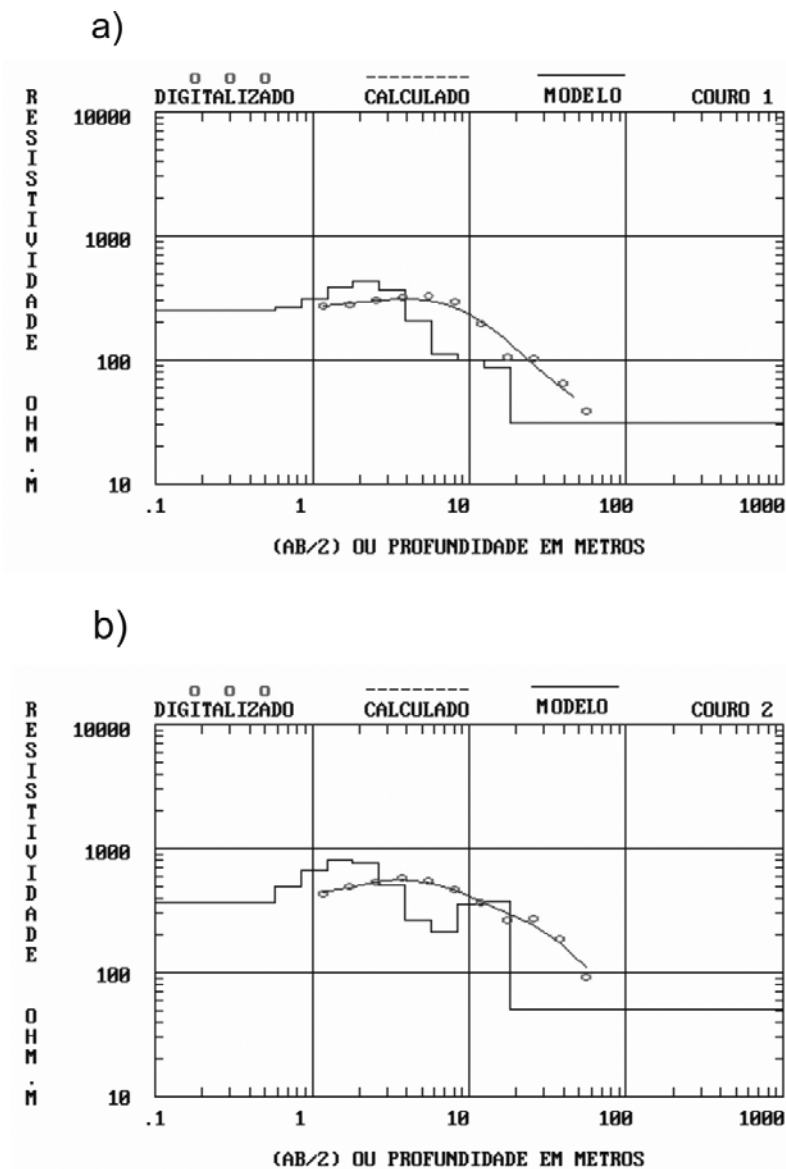
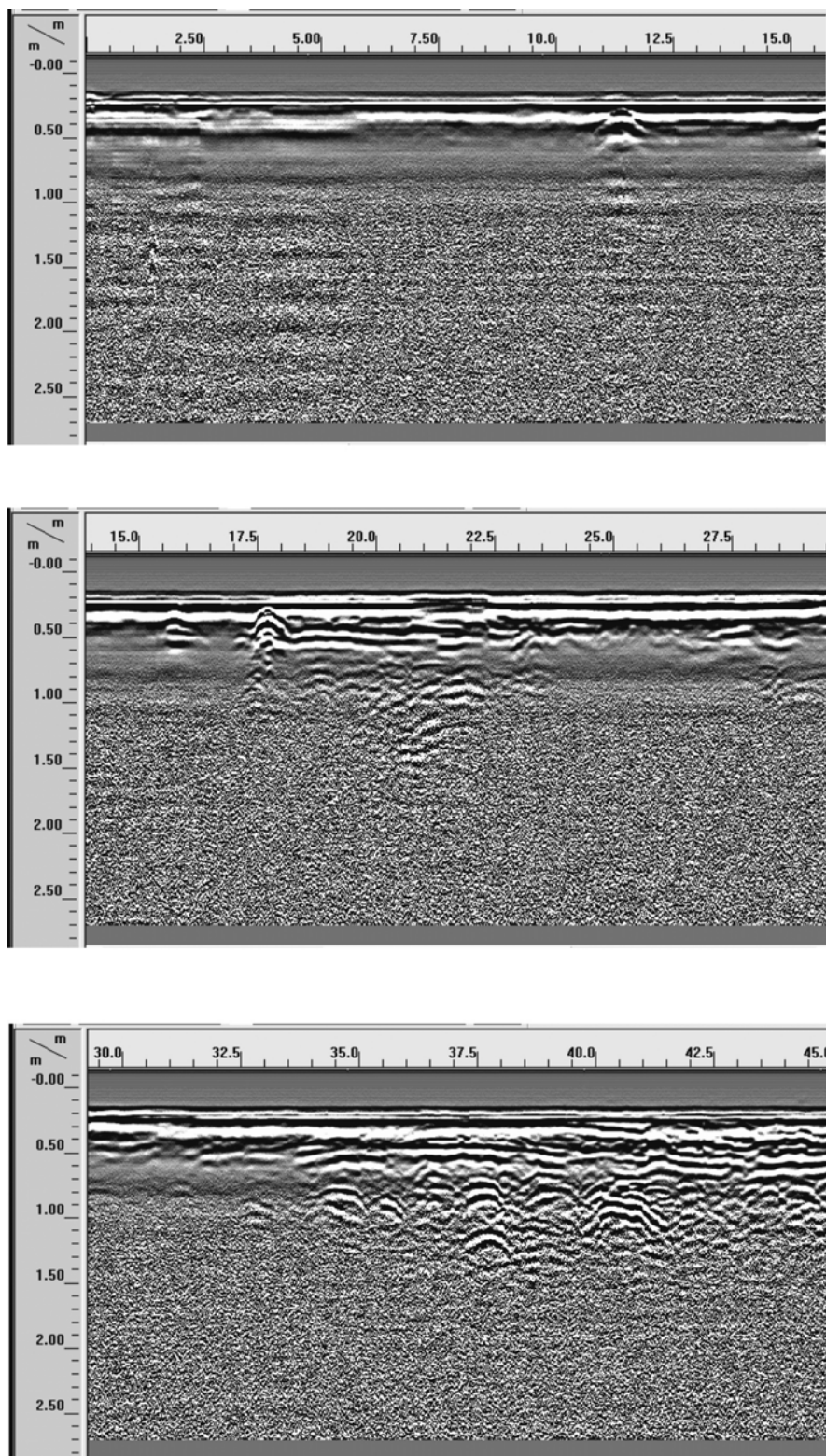


Figura 12 – Sondagem Elétrica Vertical: a) realizada sobre a Linha 10; b) realizada sobre a Linha 20.

A primeira zona, que ocorre entre as posições de 3 m a 14 m e entre 34 m a 40 m, caracteriza-se pela ausência de refletores (zona de sombra) provavelmente relacionada a vazamento de efluentes químicos das tubulações. A segunda zona caracteriza-se pela presença de refletores. Estes estão distribuídos entre as posições zero e 3 m e 14 a 34 m do início do perfil e profundidade variando entre 0,2 e 1,5 m. Essas feições não podem ser observadas a profundidades maiores provavelmente devido à contaminação por líquidos condutivos ou pela presença de material muito argiloso. As formas hiperbólicas observadas na imagem são provavelmente causadas por material concrecionário.

O Perfil 20 foi realizado ao longo da linha 20 do levantamento EM. O perfil inicia na linha base e estende-se no sentido norte em direção ao igarapé nos fundos do curtume. O perfil cobriu uma extensão de 90 m. Verificam-se no radargrama (Figura 15) eventos na forma de hipérbole que ocorrem em quase toda a sua extensão. A presença destas hipérbolas, entre as profundidades de 0,5 m a 1,5 m, sugere a existência de blocos lateríticos. Além disto, próximo à superfície do terreno observa-se forte atenuação nas reflexões em várias posições, como por exemplo, nas posições 22 m e 87 m, possivelmente por onde ocorre a disseminação da contaminação. A partir de 1,5 m de profundi-



**Figura 13** – Radargrama do perfil de GPR realizado ao longo da linha G1.

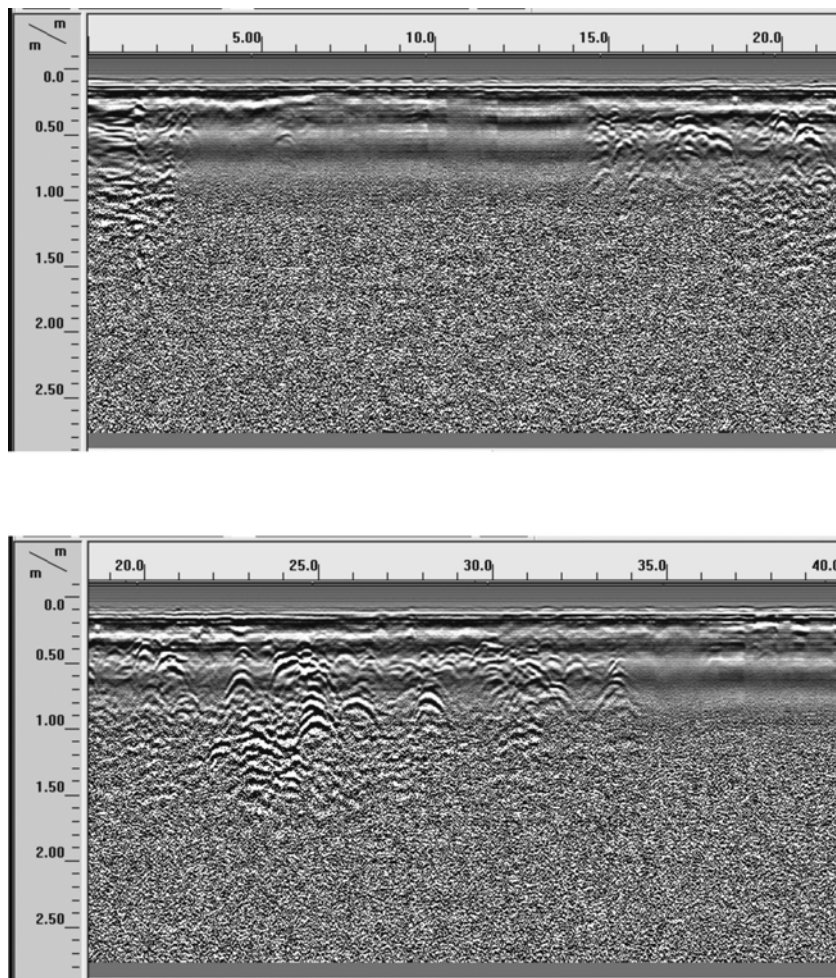


Figura 14 – Radargrama do perfil de GPR realizado ao longo da linha LB.

dade não se observa nenhum refletor. Este fato é atribuído à elevada condutividade do material em subsuperfície, provavelmente contaminação, que absorve e/ou atenua a propagação da onda eletromagnética do GPR.

As medidas sobre a linha G3 (Perfil G3) nos fundos do curtume, próximo ao igarapé, foram tomadas no sentido oeste-leste, transversal às linhas dos outros levantamentos, cobrindo uma extensão de 30 metros. O radargrama obtido encontra-se representado na Figura 16. As observações feitas ao longo deste perfil permitiram visualizar vários refletores localizados bem próximos à superfície. As hipérbolas identificadas no trecho 18 a 28 m não se estendem a grandes profundidades e são bem evidenciadas conforme a representação mostrada na Figura 16. Estas feições foram correlacionadas à presença de concreções lateríticas muito comuns na geologia da área. Verificam-se também nos trechos de 14 a 15 m e 26 a 27,5 m uma zona com ausência de refletores

(zona de sombra). Esta zona pode estar relacionada aos efluentes lançados pelo curtume. Assim como nos outros perfis, a partir de aproximadamente 1,5 m de profundidade não há registro de refletores.

## CONCLUSÃO

O objetivo principal do presente trabalho foi avaliar o atual estágio de contaminação da subsuperfície rasa na área do Curtume Couro do Norte, localizado no bairro de Maracacuera, no Distrito Industrial de Icoaraci.

A distribuição dos potenciais medidos com o método do potencial espontâneo sugere um fluxo de água do aquífero freático em direção ao centro da área investigada, o que deve concentrar a contaminação na parte central da área. Esse fato é comprovado pelos resultados do levantamento slingram, que apontam como uma das possibilidades a geração da contaminação adjacente à

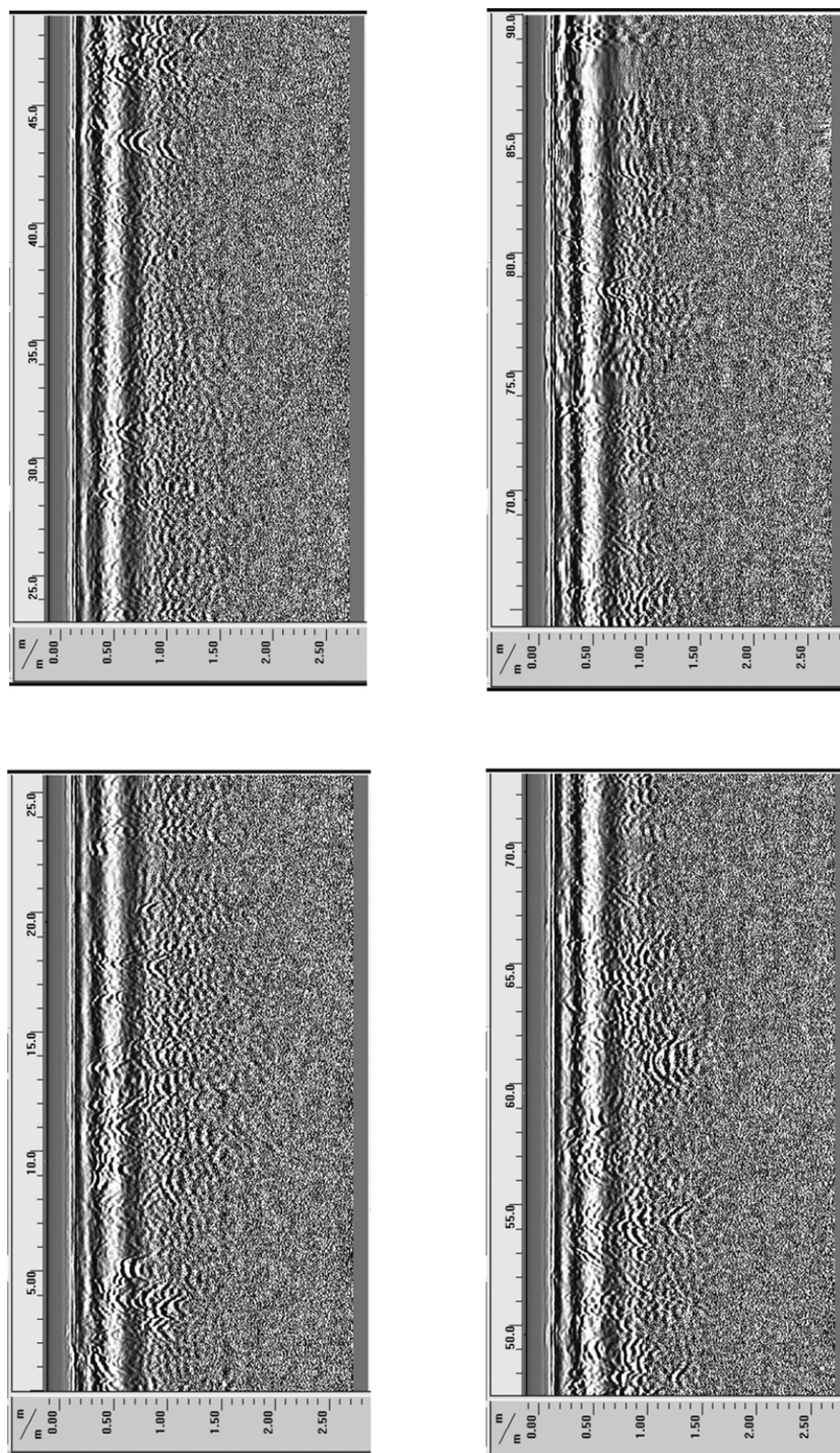


Figura 15 – Radargrama do perfil de GPR realizado ao longo da Linha 20.

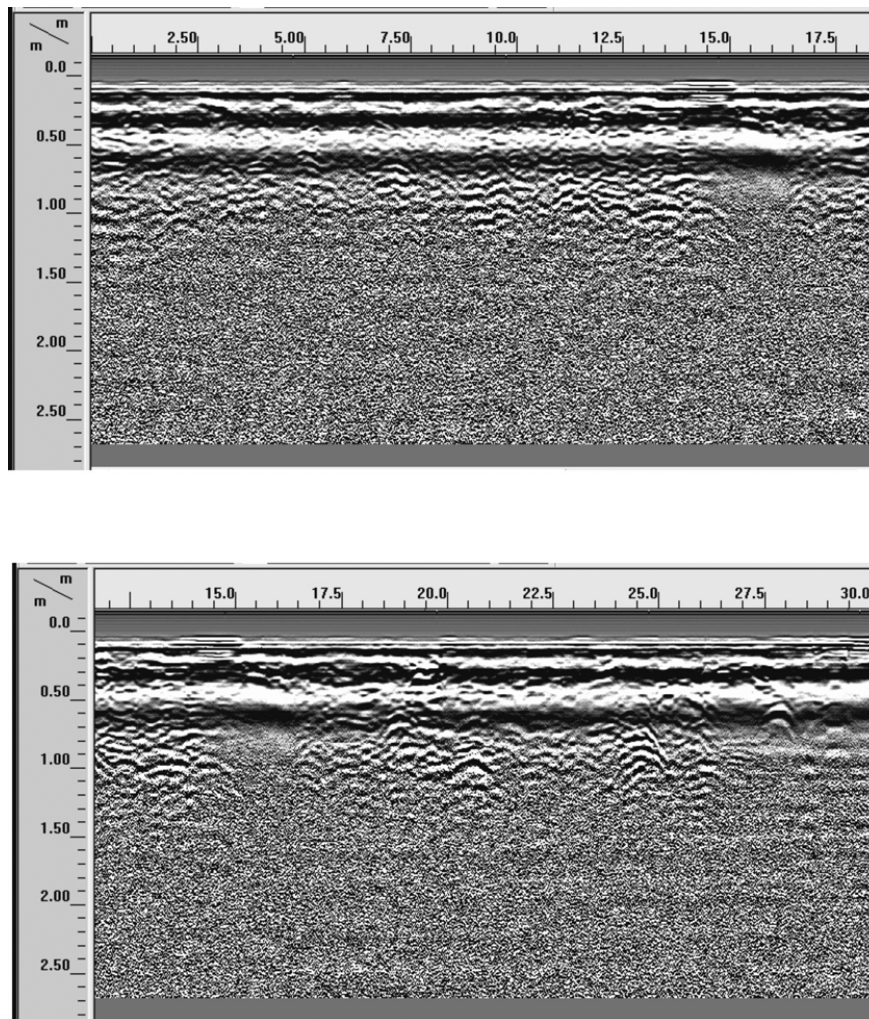


Figura 16 – Radargrama do perfil de GPR realizado ao longo da linha G3.

linha 20 e migração em direção a ela.

A representação dos dados eletromagnéticos na forma de mapas de contorno da intensidade do campo magnético secundário permitiu identificar a presença de zonas resistivas, próximas à superfície do terreno, correlacionadas a material arenoso e zonas mais condutivas sugerindo a existência de contaminação. Essas zonas são bem caracterizadas com a representação dos dados eletromagnéticos na forma de pseudo-seções do módulo do campo magnético.

Os modelos interpretativos obtidos das SEVs apresentaram uma correlação aproximada com os modelos interpretativos obtidos no imageamento elétrico. A análise quantitativa dos dados das SEVs permitiu caracterizar a distribuição da resistividade dos materiais da subsuperfície com o aumento da profundidade. Os dados do imageamento elétrico mostraram tanto zonas de ele-

vada resistividade, que podem ser associadas a material laterítico, como zonas de baixa resistividade associadas à presença de argila e/ou contaminação.

Nos radargramas foi possível a identificação de blocos lateríticos, tubulações de metal e zonas com elevada atenuação (zona de sombra) que indicam a presença de contaminação.

A pequena profundidade de investigação (inferior a 1,5 m) observada nos radargramas sugere elevada condutividade em profundidade que pode ser causada por contaminação ou elevado conteúdo de argilas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Capes, pela concessão de bolsa de estudo, nível mestrado, ao primeiro autor, e à direção do Curtume Couro do

Norte por permitir a execução das medidas geofísicas na área do estudo. Agradecemos, também, a dois revisores anônimos, que contribuíram para o melhoramento do artigo. Este trabalho recebeu apoio financeiro do Projeto "Métodos Eletromagnéticos Aplicados à Região Amazônica: Consolidação do Programa de Pós-Graduação em Geofísica da UFPA", processo 620240/2004-0, financiado pelo PADCT/CT-INFRA/CNPq.

## REFERÊNCIAS

- GRADIX. 1997. Ground Penetrating Radar Processing and Interpretation. Software User's Manual. Golden: Interpex Limited: 224 p.
- NUNES LPM. 2002. Avaliação da Contaminação do Aquífero Livre em área do Distrito Industrial de Icoaraci, usando Métodos Geofísicos Elétricos. Belém, UFPA. Centro de Geociências, TCC. 28 p.
- ROSSETTI DF, TRUCKENBRODT W & GÓES AM. 1989. Estudo Paleambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 1: 25–74.
- SCHIAVONE D & QUARTO R. 1984. Self-Potential Prospecting in the Study of Water Movements. *Geoexploration*, 22: 47–58.
- SILVA RCS. 2002. Aplicação dos Métodos Geofísicos Elétrico e Eletromagnético na Determinação de Unidades Sedimentares Costeiras Tropicais em Bragança, Nordeste do Pará. Belém, UFPA. 56 p. (Dissertação de mestrado).
- ZOHDY AA & BISDORF RJ. 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, 19 p.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Lana Patrícia Martins Nunes** é graduada em Geologia e mestre em Geofísica pela Universidade Federal do Pará. Seu interesse está voltado para a aplicação dos métodos geofísicos elétricos no estudo da subsuperfície rasa (contaminação e água subterrânea).

**José Gouvêa Luiz** é geólogo formado pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mestre em Geofísica pela Universidade Federal da Bahia e doutor em Geofísica pela UFPA. É Professor Associado do Departamento de Geofísica da UFPA, onde desenvolve atividades de ensino e pesquisa. Chefia o Laboratório de Prospecção Geofísica do Departamento de Geofísica da UFPA. Seu interesse é a Geofísica Aplicada para estudos de prospecção mineral, prospecção de água subterrânea, contaminação do meio ambiente e Arqueologia. É membro da SBGf e da SBG.