



Análise temporal de pluma de contaminação por meio de GPR

César Augusto Moreira*, João Carlos Dourado UNESP / Brasil

*Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, September 14 –18, 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represents any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The use of geophysical methods in environmental studies increased thoroughly in the last years, as tool of aid in the detection phase and limitation of contaminant in underground. The methods more used they are the Ground-penetration Radar (GPR), Electromagnetic (EM) and Vertical Electrical Sounding (VES). The technique of GPR presents advantages in this study type, due to the easiness of acquisition of data, possibility of execution of profiles, versatility of the equipment in field, among others. However, the penetration depth is limited in the presence of layers high conductivity. The present work proposes a comparative analysis of data obtained through GPR in a five year-old interval, with the purpose of determining the current position of a contaminant plume. Starting from the obtained results, it will be possible to evaluate the potential of this technique in the stage of monitoring of contaminated areas.

Introdução

A dependência do uso de petróleo e seus derivados por parte da sociedade tem se mostrado cada vez maior. A lista de produtos e processos que necessitam destas substâncias aumenta ano após ano, a medida que surgem novas tecnologias. Uma das conseqüências do uso e manipulação destas substâncias é a geração de resíduos e efluentes.

A destinação destes produtos é um dos principais problemas ambientais da atualidade, pois muitas vezes não existem opções de reutilização e o transporte e disposição em locais adequados demanda elevados investimentos. Este fato tem resultado em ações nocivas como o descarte indevido direto no solo, com graves conseqüências tanto ao solo atingido quanto aos recursos hídricos subjacentes.

Desta maneira, são necessárias técnicas de investigação com o intuito de avaliar a extensão e os impactos causados, bem como o comportamento da contaminação ao longo do tempo.

A aplicação do GPR em estudos ambientais reside na possibilidade de execução de perfis contínuos e com alta resolução, facilidade de aquisição de dados, realização de leituras em diversas profundidades e versatilidade do

equipamento em campo. A variedade de antenas disponíveis é uma vantagem desta técnica, quando comparada a outros métodos geofísicos, possibilitando sua aplicação inclusive em áreas urbanas. As vantagens deste método são traduzidas em rapidez e baixo custo.

A execução de leituras em locais fixos em função do tempo, possibilita monitorar o comportamento de plumas de contaminação em sub-superfície por um período de vários anos (GREENHOUSE & SLAINE, 1986).

Contudo, a detecção de anomalias depende muito da espessura do contaminante, visto que o método apresenta baixa eficiência na detecção de contaminantes com espessura inferior a 0,3 a 0,4 metros (REDMAN et al, 1994). Outro fator limitante é a eventual presença de camadas superficiais de alta condutividade, que impedem a penetração dos sinais, cujo resultado é a limitação da profundidade de penetração e da resolução do sinal recebido (ELLERT et al, 1988).

Objetivos

Análise do comportamento de pluma de contaminação em subsolo por meio de um estudo comparativo entre seções de GPR obtidos na área de estudos nos anos de 1998 e 2003. Desta forma, avaliar o potencial do GPR como ferramenta de monitoramento ambiental.

Método

Foi utilizado o equipamento de GPR fabricado pela RAMAC/MÁLA Geoscience, para a aquisição dos dados de ambas as seções. A frequência da antena utilizada é de 100 MHz. O espaçamento entre antenas foi de 60 cm e o espaçamento entre pontos foi de 1m.

Os dados foram processados por meio do programa Gradix, versão 1.08, fabricado pela Interprex limitada.

Os dados obtidos no ano de 1998 fazem parte da dissertação de mestrado de AQUINO (2000). Desta forma, os levantamentos de campo e de processamento dos dados obtidos no ano de 2003 seguem os procedimentos propostos nesta dissertação. Os levantamentos de campo foram realizados durante o mês de março dos respectivos anos. No presente trabalho, são analisadas as seções L1e L5 apresentadas em AQUINO (2000).

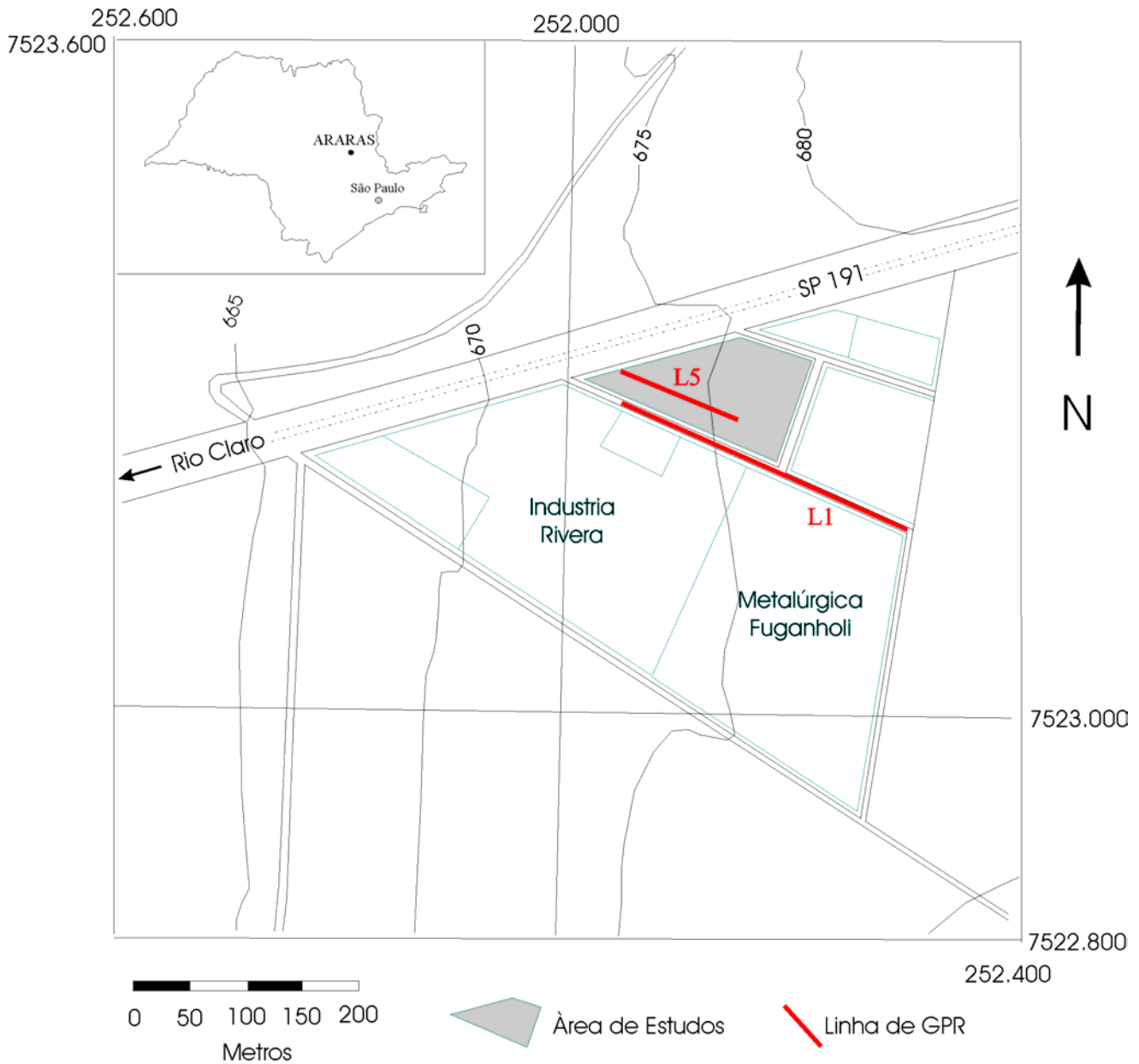


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudos

A rotina de processamento dos dados foi a de correção do tempo zero, conversão tempo-profundidade, filtragem DC e filtragem passa-banda. A conversão tempo-profundidade foi realizada por meio da velocidade de propagação da onda eletromagnética obtida em ensaio CMP, proposta por AQUINO (2000), que foi de 0,093 m/ns

A seção L1 teve início no ponto de latitude 252.302 e longitude 7523.170, com caminhamento sentido N335 até o ponto final, com latitude N 252.119 e longitude E 7523.246. A seção L5 teve início no ponto de latitude 252.256 e longitude 7523.305, também com caminhamento sentido N335 até o ponto final, com latitude N 252.215 e longitude E 7523.202

Localização e Histórico da Área

A área de estudos está localizada no município de Araras, estado de São Paulo, precisamente no Km 51,2 da rodovia SP 191, que liga as cidades de Araras e Rio Claro (Figura 1). O acesso a partir da rodovia SP 330 é feito no cruzamento com a rodovia SP 191, a partir do qual o local de estudos está distante cerca de 1400m sentido Rio Claro.

O local foi ocupado pela Redistil Indústria Química Ltda e pela Indústria Química Sulfabrás S/A, entre os anos de 1981 e 1992. Dentre os produtos fabricados estão o dieloxalato, acetato de etila, 4-amino-N-2-tiozolibenzeno-sulfonamida, acetopiruvato de metila, 5-metil-3-carboxiamidoxazol (carboxiamido), e dentre os solventes

utilizados durante o processo eram estão o 1,2 dicloroetano e o tolueno (CETESB, 1997)

Os solventes utilizados por ambas as indústrias eram reutilizados após passarem por colunas de destilação. As águas residuais deste processo passavam por um tacho de evaporação com objetivo de concentrar os efluentes. Em seguida, os efluentes gerados eram infiltrados em dois poços presentes no local. Este processo foi executado entre os anos de 1981 e 1988 (CETESB, 1997).

Em novembro de 1985 foram detectados odores em poços de abastecimento nos arredores da área de infiltração. Análises químicas realizadas em amostras coletadas em poços próximos a indústria indicaram contaminação da água subterrânea. Posteriormente foram efetuadas análises químicas nos resíduos infiltrados com vistas à caracterização de sua composição química, cujo resultado permitiu correlação com as substâncias contaminantes presentes nas águas subterrâneas (CETESB, 1997).

Fisiografia

A área está localizada na porção nordeste da bacia sedimentar do Paraná, composta por rochas Paleozóicas (Grupo Itararé, Formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóicas (Formações Pirambóia) e Cenozóicas (Formação Rio Claro e depósitos atuais) constituídas por sedimentos, derrames e intrusões básicas (CPRM, 1986). As litofácies presentes no local são siltitos argilosos pertencentes à formação Tatuí, representados por Latossolo vermelho escuro álico, com horizonte A moderado de textura argilosa e horizonte B com textura média argilosa a muito argilosa (OLIVEIRA et. al., 1981).

O aquífero regional é representado pelo Sistema Tubarão, descontínuo em escala regional devido à presença de intrusões de diabásio. A circulação e o armazenamento de água ocorrem nos interstícios de arenitos, conglomerados e diamectitos. Nas proximidades da área de estudos, apresenta espessura superior à 400m (TONETTO, 2001). O lençol freático raso está situado em profundidades entre de 10,7 a 14,1 metros, com variações entre máximas entre 7,9 a 14,9 metros. O fluxo da água subterrânea nas proximidades dos pontos de infiltração de resíduos é para sudoeste. Dados de condutividade hidráulica proveniente de ensaios de infiltração em poços nas proximidades da área variam de $4,4 \times 10^{-7}$ a $7,0 \times 10^{-7}$ (CETESB, 1997). Abaixo, são apresentados intervalos de condutividade hidráulica comumente encontrados na natureza (Tabela 1).

Tabela 1 – Intervalos médios de porosidade e condutividade hidráulica de algumas rochas sedimentares (modificado de DELLEUR, 1998)

Rocha	Porosidade (%)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Paraconglomerado	25-40	10^{-2} - 10^2
Arenito	25-50	10^{-4} - 1
Siltito	35-50	10^{-7} - 10^{-3}
Argilito	40-70	10^{-10} - 10^{-7}
Tilito	10-20	10^{-10} - 10^{-4}

Resultados

Tanto nas seções obtidas em 1998 quanto nas seções obtidas em 2003, foi possível delimitar a pluma de contaminação devido a forte atenuação das ondas no solo contaminado.

O nível situado a uma profundidade de 4 metros foi adotado como base de comparação do limite da pluma de contaminação entre os perfis.

Na seção L1 de março de 1998 (Figura 2), o contato entre o solo não contaminado e a pluma de contaminação estava a 100 metros do ponto inicial da linha. Um segundo contato, entre a pluma de contaminação e o solo contaminado estava a 173 metros do ponto inicial da linha.

Enquanto na seção L1 de março de 2003 (Figura 3), o contato entre o solo não contaminado e a pluma de contaminação estava a 85 metros a partir do mesmo ponto inicial. O segundo contato, entre a pluma de contaminação e o solo não contaminado estava 185 metros do ponto inicial.

Na seção L5 obtida em março de 1998 (Figura 4), é possível identificar somente um contato entre a pluma de contaminante e o solo não contaminado, que na época estava situado a 125 metros do início da linha.

A seção L5 obtida em março de 2003 (Figura 5) também apresenta somente um contato entre a pluma de contaminação e o solo contaminado, contudo, este contato estava situado a 135 metros do mesmo ponto de partida.

As parábolas presentes na seção L1 de 2003, entre 85 e 100 metros do ponto de partida, são interferências resultantes de uma nova linha de transmissão de energia instalada no local. O deslocamento das camadas da seção a 180 metros do início do perfil é fruto de interferências de devido à presença de caçambas metálicas nas proximidades do final desta linha.

A linha L5 de 2003 apresenta dois intervalos com ruídos. O primeiro intervalo, entre 5 e 20 metros do ponto inicial, ocorreu devido a presença de blocos de concreto com armação metálica situados próximo a linha. O segundo intervalo, distante 47 metros do início da linha, é resultado da interferência uma cerca metálica que foi cruzada durante a execução da linha.

As interferências responsáveis pelos ruídos nas linhas executadas no ano de 2003 não estavam presentes durante a execução das linhas no ano de 1998.

Conclusões

Com base na determinação espacial dos contatos entre a pluma de contaminante e o solo não contaminado, é possível afirmar que a contaminação migrou nos sentidos N335 (linhas L1 e L5) e N155 (linha L1).

O contaminante migrou cerca de 12 metros segundo a linha L1 e cerca de 10 metros segundo a linha L5, sentido N335. No sentido N155, o contaminante migrou cerca de 15 metros.

No intervalo de tempo entre a execução dos perfis, a razão média de migração da pluma de contaminação é de $7,82 \times 10^{-6}$ cm/s.

A razão média de migração da pluma de contaminação está muito próxima dos valores de condutividade hidráulica obtido em ensaios de infiltração. Esta razão quando comparada aos dados de literatura, indica um solo silto-argiloso, condizente com a descrição dos solos presentes na área.

Estes resultados permitem concluir que o GPR é uma ferramenta adequada ao monitoramento de contaminantes em subsolo, por meio de medidas multitemporais, conforme proposto por GREENHOUSE & SLAINE (1986).

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da Agência Nacional do Petróleo – ANP e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, por meio do Programa de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás - PRH-05-ANP/MCT.

Os autores agradecem ao técnico Francisco Manuel Garcia Barrera, do Departamento de Geologia Aplicada, UNESP – Rio Claro, pelo auxílio na execução dos trabalhos de campo.

Agradecemos também à gentileza do geofísico Wagner França Aquino por ter cedido os dados de GPR referentes ao ano de 1998 e por todo apoio dado à execução deste trabalho.

Referências Bibliográficas

AQUINO, W. F. **Métodos Geofísicos Eletromagnéticos aplicados ao diagnóstico da contaminação de Solo e das Águas Subterrâneas em área de Infiltração de Resíduos Industriais**. 2000, 121 f. (Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório do levantamento geofísico para diagnóstico da contaminação da indústria Sulfabrás**, São Paulo: CETESB, 1997, 91p.

CPRM. **Mapa Geológico do Município de Araras, escala 1.100.000**. In: Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica. Relatório Final, volume II, anexos, 1986.

DELLEUR, J. **The handbook of groundwater engineering**, CRC Press, West Lafayette, Indiana, 1999

ELLERT, N.; GREENHOUSE, J.; WILLIAMS, M. M. **A geofísica no estudo da poluição da água subterrânea**. Revista Ambiente, nº 2, vol. 2, 1988

GREENHOUSE, J. & SLAINE, D. D. **Geophysical modelling and mapping of contaminated groundwater around three waste disposal sites in southern Ontario**, *Journal of Canadian Geotechnical*, nº23, p. 372-384, 1986.

OLIVEIRA, J.B., BARBIERI, J.L., ROTTA, C.L., TREMOICOLDI, W. A. **Levantamento Pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula Araras**. Campinas: Convênio EMBRAPA/CPA/IA. 1981. escala 1:100.000.

REDMAN, J.D.; D'RYCK, S.M.; ANNAN, A.P. **Detection of LNAPL pools with GPR: Theoretical modeling and surveys of a controlled spill**. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Ground Ground Penetration Radar*. Ontario, Canada, vol. 3, 1994.

TONETTO, E. M. **Hidroquímica em aquíferos de Rio Claro (SP) e adjacências**. 2001. 108 p. Tese (Doutorado) Pós-Graduação em Geociências Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

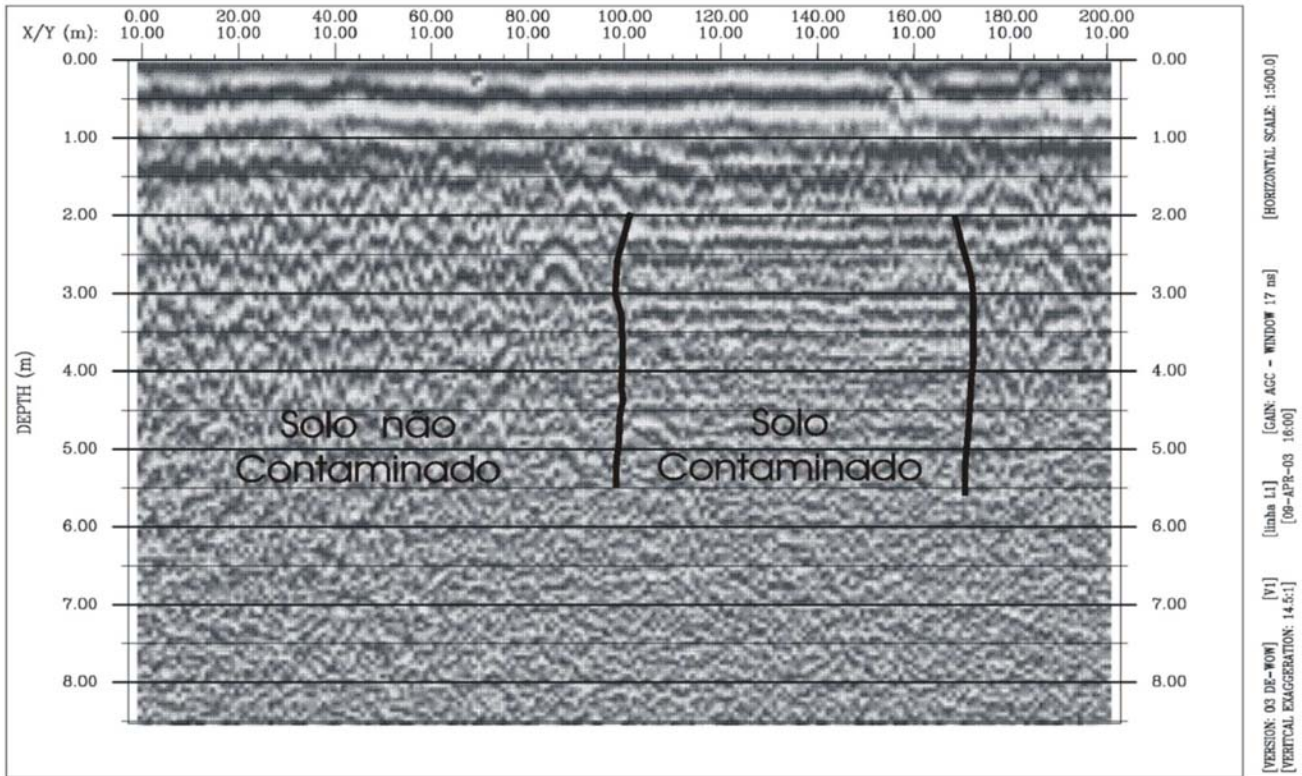


Figura 2 – Linha L1 de março de 1998. As linhas verticais marcam os contatos entre a pluma de contaminação e o solo não contaminado

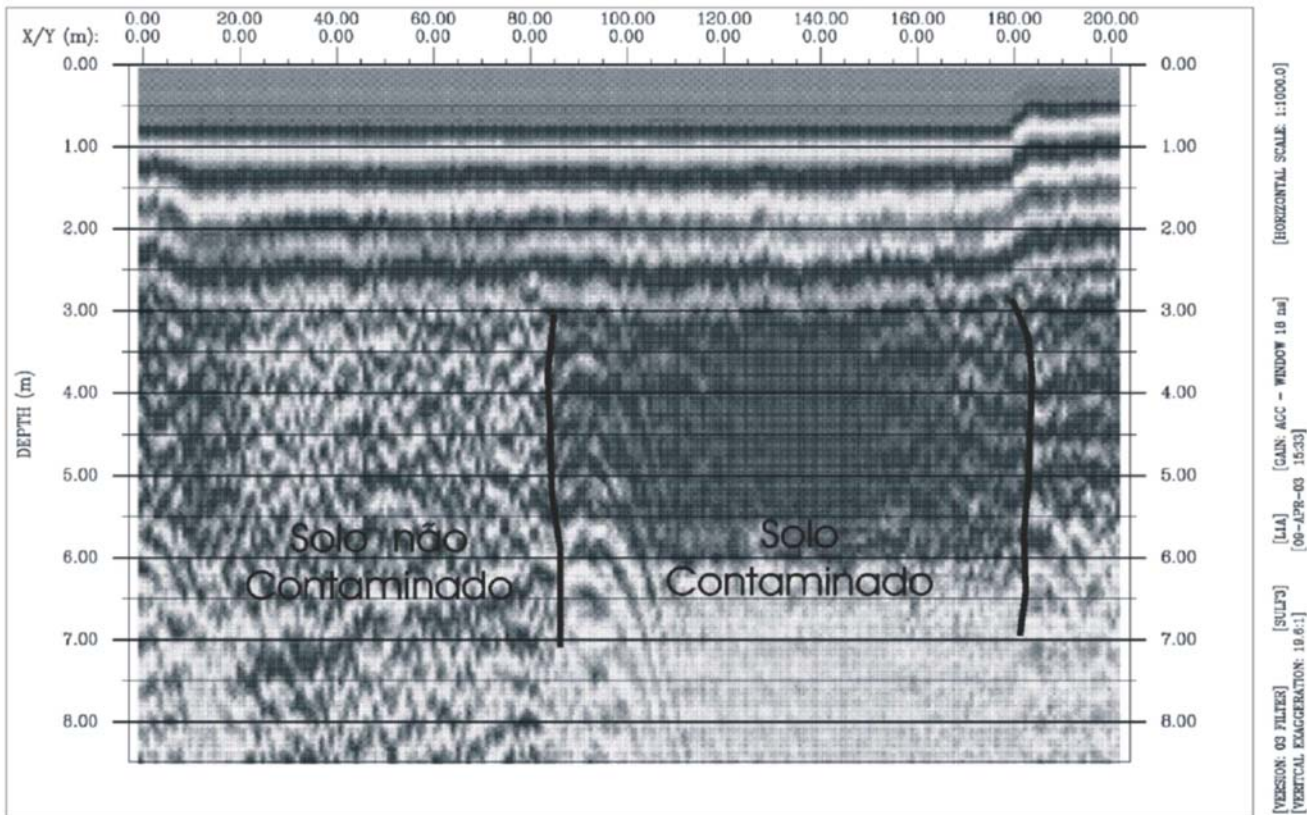


Figura 3 – Linha L1 de março de 2003. As linhas verticais marcam os contatos entre a pluma de contaminação e o solo não contaminado

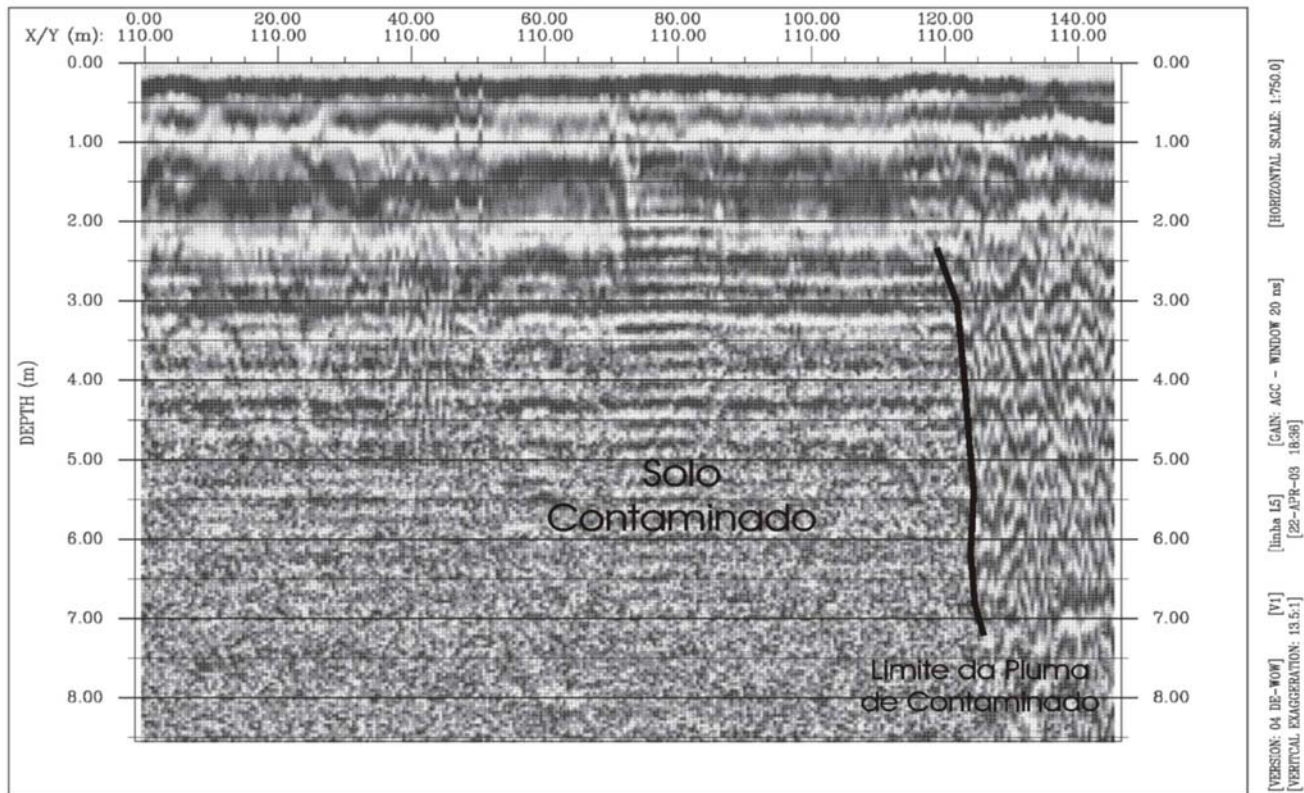


Figura 4 – Linha L5 de março de 1998. A linha vertical marca o contato entre a pluma de contaminação e o solo não contaminado

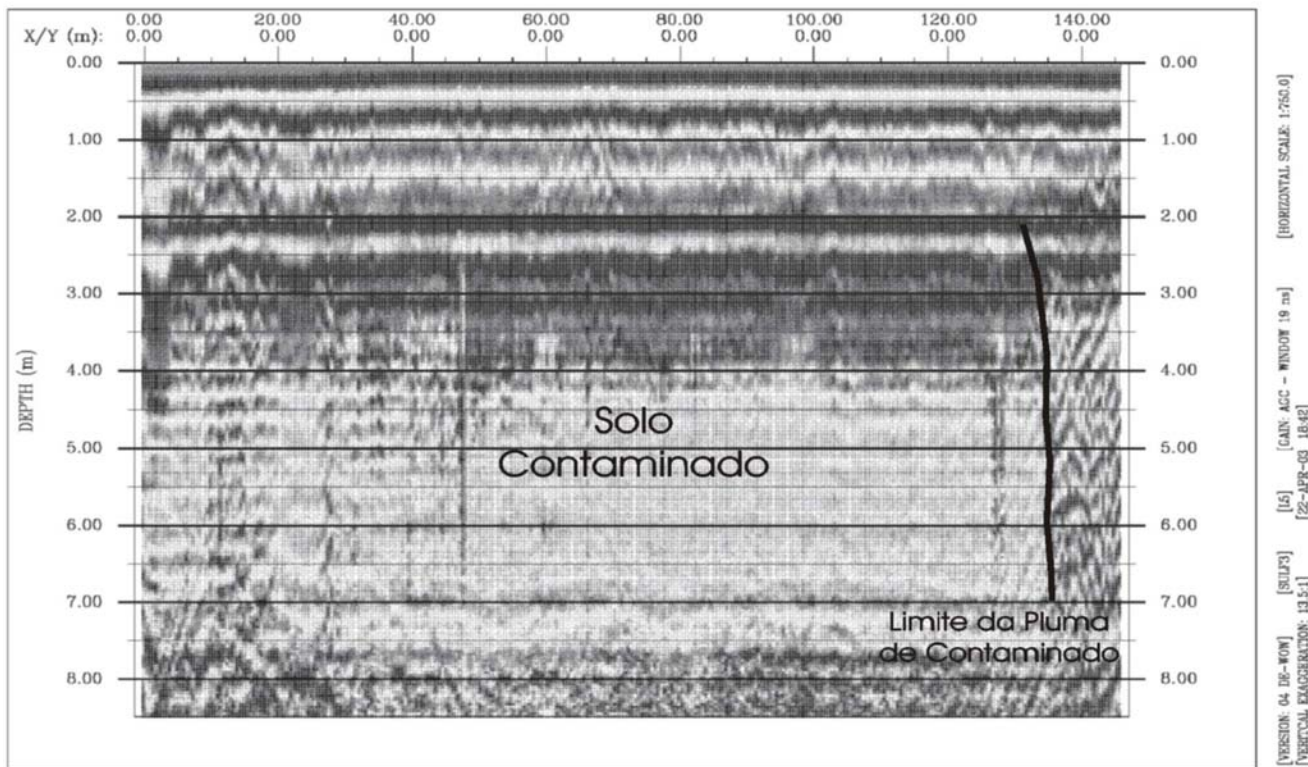


Figura 5 – Linha L5 de março de 2003. A linha vertical marca o contato entre a pluma de contaminação e o solo não contaminado