

ANÁLISE GEOFÍSICA, POR MEIO DE GPR, DO ESPALHAMENTO DE EFLUENTE DE FOSSA SÉPTICA NO SUBSOLO

Carlos Tadeu C. do Nascimento¹, Sérgio Koide¹ e
Augusto Cesar B. Pires²

Resumo - O GPR (*ground penetrating radar*) é um método geofísico que emprega ondas de rádio entre 1 e 1000MHz para adquirir informações relacionadas à subsuperfície. Quanto maior a frequência, menor a profundidade atingida. A propagação dos sinais eletromagnéticos no subsolo é controlada por diversos fatores, entre eles a condutividade elétrica. Alta condutividade causa uma forte atenuação dos sinais eletromagnéticos. O GPR encontra larga aplicação em estudos hidrogeológicos, principalmente na localização da superfície freática, e na delimitação de plumas de contaminantes. A área de estudo situa-se no *campus* da Universidade de Brasília, no local de disposição dos efluentes gerados no alojamento estudantil. O sistema para tratamento e disposição dos efluentes compreende uma fossa séptica e um conjunto de valas de infiltração. Os trabalhos realizados compreenderam a execução de perfis de reflexão e o equipamento utilizado foi o Pulse-Ekko IV. Os resultados obtidos permitiram identificar porções do subsolo com elevada condutividade elétrica, relacionadas possivelmente com a percolação do efluente de fossa séptica. Essas porções se conectam ao aquífero freático que existe sob as valas, e este fato é indicativo de risco de contaminação do aquífero pelo efluente.

Palavras-chave - Subsolo, contaminação, GPR.

GROUND PENETRATING RADAR - GPR

¹ Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Campus Universitário - Asa Norte, CEP 70910-900, DF, tel. (061) 348-2304, fax (061) 347-4743, e-mail skoide@guarany.unb.br

² Universidade de Brasília, Instituto de Geociências

O GPR (*ground penetrating radar*) é um método geofísico que emprega ondas de rádio entre 1 e 1000MHz para adquirir informações relacionadas à subsuperfície. Todos os equipamentos de GPR possuem um par de antenas, um gerador de sinais eletromagnéticos e um sistema para registro destes sinais. Uma das antenas é usada para transmitir um sinal eletromagnético através da subsuperfície, ao passo que a outra capta estes sinais após a sua reflexão por diferentes alvos no subsolo.

A diferença que existe entre o sinal emitido e o sinal captado é conseqüência da variação nas propriedades do subsolo. O registro dos sinais captados pode ser apresentado como um perfil, ou corte vertical do subsolo. A interpretação deste perfil de GPR, chamado as vezes de radargrama, permite identificar feições naturais da subsuperfície, como camadas rochosas de diferentes litologias, e também objetos enterrados pelo homem.

A maneira mais comum de se trabalhar com o GPR consiste em executar perfis de reflexão. Para executar estes perfis, o que se faz é percorrer uma linha demarcada sobre o terreno, deslocando as duas antenas do GPR ao longo desta linha, e executando leituras em pontos equidistantes. O equipamento pode ser montado dentro de um automóvel, e as antenas seguem rebocadas, arrastadas sobre o terreno. Quando é necessária uma maior resolução, as antenas podem ser deslocadas manualmente.

O GPR é um mecanismo para adquirir informações relacionadas à subsuperfície. Deste modo, o principal aspecto que determina a utilização, ou não, do GPR é a profundidade que se quer ou que se pode atingir em um determinado local. No entanto, não basta que o critério profundidade seja atendido. Também é necessário que a qualidade destas informações seja suficientemente boa para permitir a interpretação do radargrama, e conseqüentemente a identificação das diferentes feições do subsolo.

Quanto maior a freqüência das ondas eletromagnéticas, maior a resolução dos sinais captados e menor a profundidade atingida. Antenas de freqüência entre 500 e 900MHz proporcionam resolução de poucos centímetros, mas são incapazes de penetrar muito fundo, devido à atenuação do sinal. Antenas com freqüência entre 80 e 125MHz são capazes de trabalhar a maiores profundidades, mas a resolução diminui e torna-se difícil identificar alvos menores que 1 metro (Benson *et al.* 1982). A profundidade de trabalho varia de 1cm até 100m, mas habitualmente utiliza-se o GPR em profundidades de até 10m.

O GPR não permite medir diretamente a profundidade de um alvo. Ele permite medir o tempo que um sinal eletromagnético gasta para ir da antena transmissora até

uma superfície refletora e voltar até a antena receptora. O que se faz é calibrar o GPR no local de trabalho, determinando o tempo que um sinal gasta para ir até um alvo de profundidade conhecida e retornar. Uma hipérbole no radargrama quase sempre corresponde a um alvo isolado. Quanto maior o alvo, mais ampla é esta hipérbole.

A propagação dos sinais eletromagnéticos no subsolo é controlada por diversos fatores. Entre eles destacam-se a condutividade elétrica (σ) e a constante dielétrica (ϵ). Um aumento na condutividade resulta em um aumento na atenuação dos sinais eletromagnéticos. Alta condutividade devido a sais dissolvidos na água subsuperficial causa uma forte atenuação no sinal emitido pelo equipamento de GPR.

A constante dielétrica é uma medida da capacidade de um material armazenar carga elétrica quando submetido a um campo elétrico. A água tem uma constante dielétrica muito alta em relação à constante dos solos e rochas. Quanto maior a umidade, menor a velocidade dos sinais eletromagnéticos e mais difícil a sua captação. De maneira geral, as ondas eletromagnéticas penetram mais facilmente em rochas arenosas e secas, e mais dificilmente em solos argilosos e úmidos (Benson *et al.* 1982).

O GPR é uma ferramenta bastante útil em estudos hidrogeológicos. Os dois aspectos mais explorados neste campo de aplicação correspondem à localização da superfície freática, e à delimitação de plumas de contaminantes. Além destes aspectos, verifica-se que o GPR pode ser largamente empregado para localizar fontes pontuais de contaminação da subsuperfície, como reservatórios e tubulações enterrados (Benson, 1995; Daniels *et al.* 1995).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no *campus* da Universidade de Brasília, em Brasília, Distrito Federal. Os trabalhos foram realizados próximo ao alojamento estudantil, no local de disposição dos efluentes gerados nos blocos residenciais. Existem dois blocos, A e B, e cada um deles comporta 180 habitantes.

O sistema de tratamento e disposição dos esgotos domésticos compreende uma fossa séptica para cada bloco, e um conjunto de valas de infiltração, construído em 1995, que atende somente ao bloco B. Os trabalhos foram executados exclusivamente no local das valas de infiltração, distante 120 metros do bloco B e dentro do Centro Olímpico da Universidade.

O sistema de valas construído na Universidade de Brasília consiste de três estruturas quase paralelas, cada uma com 60 metros de comprimento e espaçadas cerca

de 10 metros. Entre a fossa séptica e o conjunto de valas existe um gradeamento. O início, o ponto intermediário e o final de cada vala são identificados por poços de visita. Nos poços iniciais existem dispositivos que possibilitam ou impedem a passagem de efluente. Com esses mecanismos pode-se trabalhar com uma única vala de cada vez.

Durante o período de operação, cada vala recebe uma vazão média de 0,25 litros por segundo. Esse período habitualmente tem sido de duas semanas. Cada vala possui uma tubulação perfurada, de cerâmica, com 15 centímetros de diâmetro, envolvida por um leito de pedra britada. A profundidade das tubulações é variável, com aproximadamente 1 metro.

Segundo levantamentos pedológicos realizados no Distrito Federal, o solo da área de estudo seria classificado como um latossolo (CODEPLAN, 1984; Haridasan, 1993). O latossolo do Distrito Federal caracteriza-se por uma cor vermelho-escuro ou vermelho-amarelado, uma textura predominantemente argilosa, e uma forte estrutura granular. A forte estruturação altera o comportamento que seria esperado para um solo argiloso. Deste modo, os latossolos do Distrito Federal costumam apresentar uma elevada capacidade de infiltração e uma pequena capacidade de adsorção.

Monteiro (1997) realizou estudos de caracterização dos solos da área de estudo. Segundo este autor, o solo onde foram construídas as valas de infiltração apresenta uma granulometria predominantemente argilosa (88%). A fração areia corresponderia a 9,5% e a fração silte corresponderia a 2,5%. A porosidade deste solo seria de 60%. A condutividade hidráulica, determinada com um permeâmetro do tipo guelph seria de $4 \cdot 10^{-4}$ cm/s. O coeficiente de infiltração, determinado segundo a norma nº 7229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, seria de $8 \cdot 10^{-5}$ cm/s.

A altitude da área de estudo, medida em relação ao nível máximo do lago Paranoá, situa-se entre 15m e 12m. Os poços de monitoramento construídos na área mostram que a profundidade média do nível freático, em junho de 1997, era de 8m abaixo da superfície do terreno. Essa profundidade apresenta uma variação ao longo do ano. Durante o período monitorado, janeiro até dezembro de 1997, a profundidade da superfície freática variou cerca de 1 metro.

METODOLOGIA

O equipamento de GPR utilizado durante o reconhecimento geofísico da área de estudo foi o Pulse-Ekko IV, fabricado por Sensors e Software Inc., Mississauga, Canadá. Este equipamento consiste basicamente de 6 itens; 2 antenas, 1 unidade transmissora, 1

unidade receptora, 1 unidade de controle e 1 microcomputador portátil. A frequência de operação é selecionada conectando as antenas apropriadas ao resto do equipamento. Todos os outros parâmetros de operação necessários são ajustados através do microcomputador mediante um *software* específico para o Pulse-Ekko IV.

O trabalho de campo correspondeu à execução de 4 perfis de 50 metros utilizando o Pulse-Ekko IV. Essas perfilagens foram executadas no dia 26/06/1997. Utilizaram-se antenas de 100MHz, espaçadas de 1 metro. A distância entre cada ponto de leitura ao longo dos perfis foi de 0,25 metros. A localização destes perfis corresponde às linhas B4-A4, A6-B6, B7-A7 e A9-B9, demarcadas no terreno (Fig. 2).

Em um registro de GPR (Fig. 3 e Fig. 4), provavelmente o elemento que mais chama a atenção é o traço contínuo, na profundidade de 0m. Este traço representa o registro daquele pulso de energia que se propaga pela atmosfera. Logo abaixo observa-se um segundo traço, por vezes interrompido, mas também contínuo em quase toda a sua extensão. Trata-se do pulso de energia que se propaga na superfície do terreno. A partir deste 2º traço, os pulsos de energia deixam de formar linhas contínuas no radargrama e começam a formar padrões que se relacionam à natureza das estruturas subsuperficiais.

A interpretação das seções de GPR é essencialmente qualitativa. Sabe-se que alvos isolados aparecem como hipérboles, e que regiões mais condutivas eletricamente causam uma atenuação dos sinais eletromagnéticos. A utilização do GPR na área de estudo possibilitou a obtenção de 4 seções do subsolo (Fig. 3 e Fig. 4).

Nestas seções, observam-se regiões de formato triangular, encimadas por hipérboles de pequena amplitude. Considerando que a posição dessas hipérboles coincide com a localização das valas ao longo dos perfis, acredita-se que os alvos, neste caso, correspondam às próprias valas. As regiões de formato triangular, sob as hipérboles são caracterizadas pela atenuação dos sinais eletromagnéticos. Muito provavelmente, tratam-se de porções do subsolo com elevada condutividade elétrica. A elevação da condutividade, neste caso, estaria vinculada à percolação do efluente.

No dia em que foi utilizado o GPR, 26/06/1997, a vala em operação era a nº 2. Esta vala já estava funcionando desde o dia 12/06/1997, no entanto, este fato parece não ter influenciado o registro obtido, posto que o aspecto das regiões de atenuação sob as três valas apresenta-se bastante semelhante. Conseqüentemente, é possível que as zonas de alta condutividade não correspondam necessariamente, àquelas regiões por onde o efluente está percolando em um dado momento. Talvez essas zonas correspondam às

porções do subsolo permanentemente afetadas pela passagem do efluente, ao longo do período de existência das valas.

A partir de 6,5 metros de profundidade, praticamente não ocorre mais a reflexão dos sinais eletromagnéticos. Atribui-se este fato à elevação do teor de umidade, devido à proximidade com a superfície freática. O GPR foi utilizado durante o mês de junho, quando a profundidade do nível freático, na área de estudo, era de 8 metros, aproximadamente. Deste modo, supõem-se que exista a formação de uma zona mais úmida com cerca de 1,5 metros de espessura, acima da zona saturada.

Verifica-se que as zonas de alta condutividade vão se alargando com o aumento da profundidade, e que chegam a interceptar essa zona úmida. A conexão entre essas porções da subsuperfície favorece a possibilidade de contaminação do aquífero freático sob as valas pelo efluente de fossa séptica.

CONCLUSÕES

A utilização do GPR na área de estudo permitiu identificar porções do subsolo com elevada condutividade elétrica. O posicionamento destas zonas sugere sua origem na percolação do efluente liberado pelas valas de infiltração. Estas zonas se conectam ao aquífero freático que existe sob as valas, e deste modo acredita-se que exista um risco de contaminação do aquífero pelo efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (1993). NBR 7229 - *Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BENSON, A. K. (1995). Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: examples of groundwater contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics*. 33, 177-193.
- BENSON, R.; GLACCUM, R. A.; NOEL, M. R. (1982). *Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration*. National Ground Water Association, Dublin, EUA.
- CODEPLAN. (1984). *Atlas do Distrito Federal; volume I*. Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central, Brasília, Distrito Federal.

DANIELS, J. J.; ROBERTS, R.; VENDL, M. (1995). Ground penetrating radar for the detection of liquid contaminants. *Journal of Applied Geophysics*. 33, 195-207.

HARIDASAN, M. (1993). Solos do Distrito Federal. In: *Cerrado; Caracterização, Ocupação e Perspectivas*, 2.ed., M. N. Pinto (Org.), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, p.321-344.

MONTEIRO, M. P. (1997). *Estudos de Percolação e Dispersão de Efluentes de Fossas Sépticas no Solo; Dissertação de Mestrado nº MTARH.DM-004A/97*. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília, Distrito Federal.

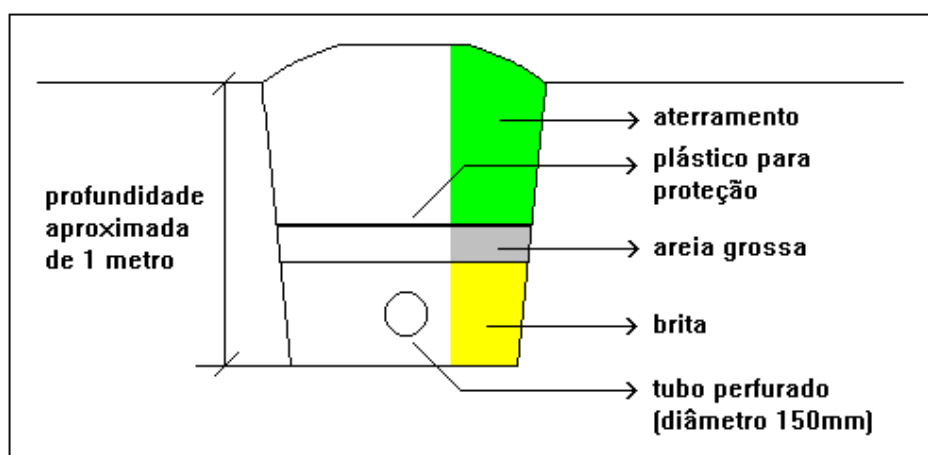


Figura 1 - Perfil esquemático de uma vala de infiltração.

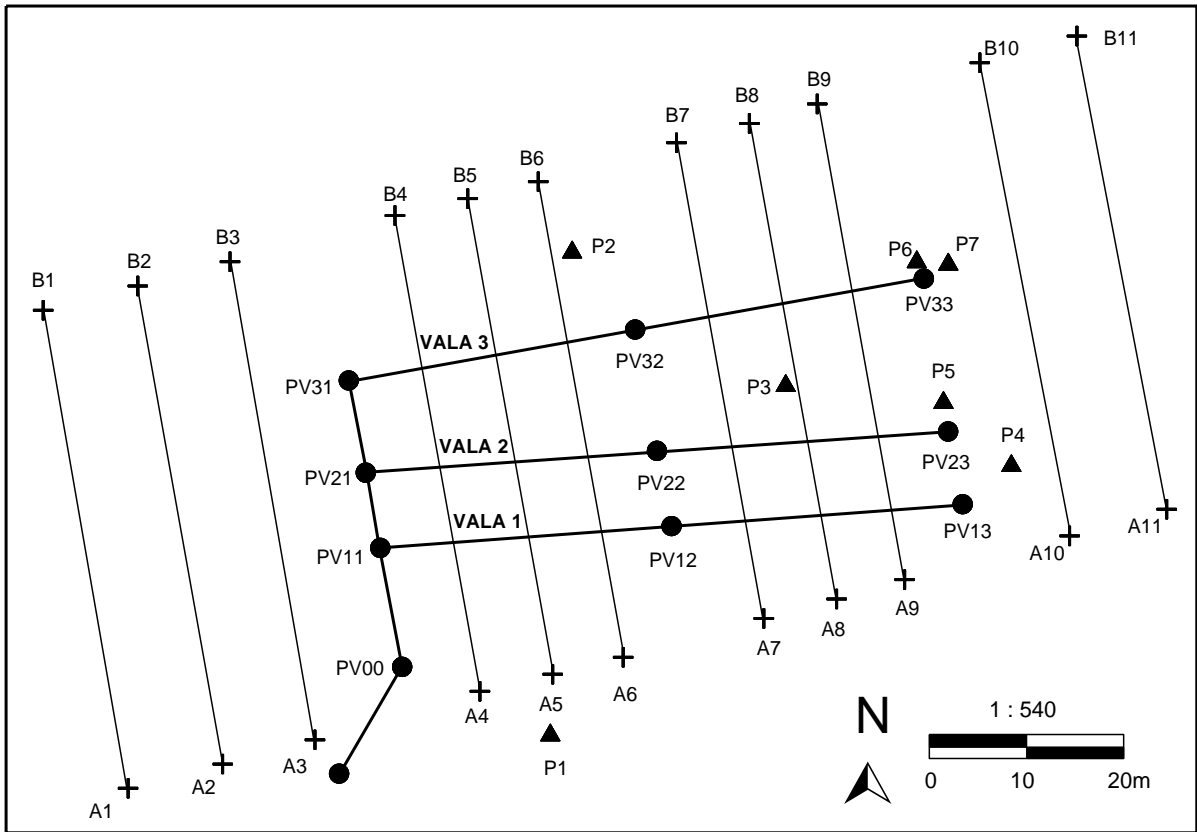


Figura 2 - Localização dos perfis de GPR. PV = poço de visita; P = poço de monitoramento.

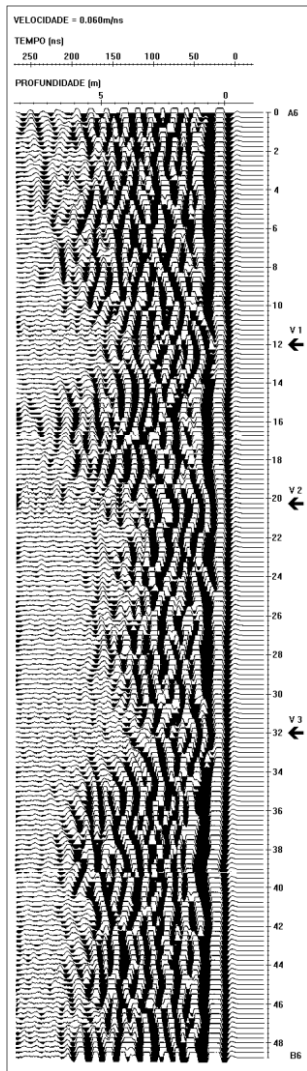


Figura 3 - Seção de GPR A6-B6.

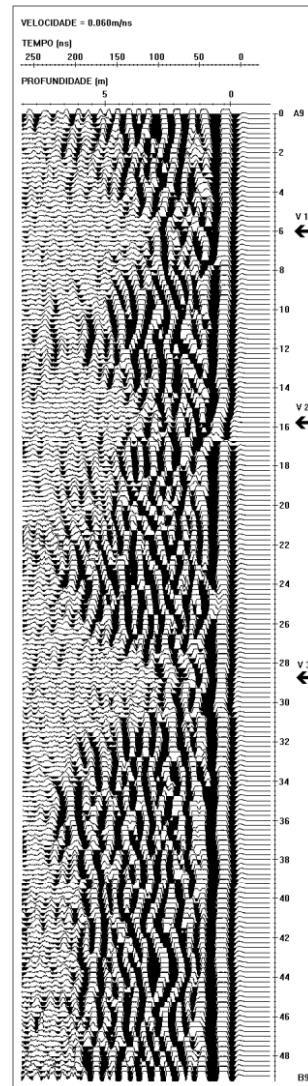


Figura 4 - Seção de GPR A9-B9.