



# Contaminação do Subsolo Monitorada por Resistividade Elétrica

Carlos T. C. Nascimento, Sergio Koide, Augusto C. B. Pires

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, BRASIL

## RESUMO

O método geofísico de perfilagem elétrica horizontal é uma técnica que pode ser utilizada para a detecção de contaminantes no subsolo. Neste trabalho, este método foi empregado para visualizar a migração de efluentes de fossa séptica dispostos no subsolo, através de valas de infiltração. O contraste de resistividade elétrica entre o solo seco e o solo com presença de efluente permitiu delimitar as áreas contaminadas. Os resultados obtidos possibilitaram identificar um padrão de movimentação tanto horizontal, como vertical do contaminante. Dados complementares, obtidos através de coleta de amostras da água do subsolo, mostram que a contaminação já atingiu um aquífero freático que situa-se a cerca de 8 metros abaixo das valas de infiltração.

## INTRODUÇÃO

O método geofísico de perfilagem elétrica horizontal é uma técnica utilizada para determinar, de maneira indireta, a natureza de estruturas subsuperficiais. Este método fundamenta-se na variação espacial da resistividade elétrica, que é uma propriedade física das rochas e dos solos, a qual limita, em maior ou menor grau, a passagem de corrente elétrica através destes materiais. A dimensão física da resistividade é o ohm-metro ( $\Omega \cdot m$ ) e o inverso da resistividade corresponde à condutividade elétrica.

A passagem de corrente elétrica através dos solos e das rochas, quase sempre está relacionada com a presença de água ocupando os espaços intersticiais desses materiais. De maneira geral, a resistividade elétrica diminui em duas situações: primeiro, quando o conteúdo de água nos solos ou rochas aumenta, e segundo, quando o conteúdo de material dissolvido na água intersticial aumenta. Por este motivo, o método da resistividade elétrica é uma das técnicas mais empregadas tanto para a prospecção de água subterrânea, como para a detecção de poluentes nas porções saturada e não saturada do subsolo.

Os trabalhos que buscam identificar e/ou delimitar regiões poluídas na subsuperfície, em geral, são executados próximos a depósitos de lixo e aterros sanitários. Nestes locais, quando não são tomadas as devidas precauções, ocorre a geração de plumas de contaminantes. Estes contaminantes tendem a migrar na subsuperfície, interagindo com o subsolo e, eventualmente, atingindo aquíferos sotopostos. Os tanques de armazenamento subterrâneos, as fossas sépticas com disposição no solo, e a adubação com detritos orgânicos também se constituem em potenciais fontes de contaminação.

## MÉTODO GEOFÍSICO DE PERFILAGEM ELÉTRICA HORIZONTAL

O método de perfilagem elétrica requer que uma corrente elétrica seja injetada no solo através de um par de eletrodos fixados à superfície do terreno. A diferença de potencial que se forma no solo é medida utilizando-se um segundo par de eletrodos. A resistividade subsuperficial pode ser calculada conhecendo-se a geometria da disposição dos eletrodos, a corrente elétrica injetada e a voltagem medida. A profundidade da medida é diretamente proporcional ao espaçamento entre os eletrodos (Benson *et al.* 1982; Fetter, 1994).

Dentre as diferentes maneiras para disposição dos eletrodos sobre o terreno, destaca-se o arranjo de Wenner, que caracteriza-se pela disposição equidistante dos eletrodos de potencial e de corrente, segundo uma linha reta. Este arranjo normalmente é utilizado durante a perfilagem elétrica horizontal, que é a determinação da variação lateral da resistividade, a uma profundidade constante (Fetter, 1994; Koefoed, 1979).

Na perfilagem elétrica, o arranjo completo é deslocado lateralmente, e executam-se várias determinações pontuais da resistividade, de preferência regularmente distribuídas no terreno. As determinações são plotadas em mapa e, através de interpolação, desenham-se curvas de iso-resistividade.

Barker (1981) propôs a utilização de vários eletrodos, conectados de maneira simultânea e independente ao equipamento de medida. Um cabo especial, com núcleo constituído por outros cabos, mais finos e devidamente isolados uns dos outros, poderia ser utilizado para conectar os vários eletrodos ao voltímetro. Um sistema de comutação serviria de interface entre o cabo com os eletrodos e o equipamento de medição. Este comutador permitiria ativar e desativar determinados pares de eletrodos, o que equivaleria ao deslocamento manual de apenas quatro eletrodos sobre o terreno.

Ainda segundo Barker (1981), o conceito de um cabo de eletrodos com as características anteriormente descritas data da década de 1950. Outro conceito que data da década de 1950 é o da seção elétrica. Uma seção elétrica corresponde a um corte, ou perfil, vertical da subsuperfície, construído a partir de vários pontos, regularmente distribuídos neste perfil vertical e obtidos por meio de perfilagens elétricas com diferentes espaçamentos, e conseqüentemente, a diferentes profundidades (Edwards, 1977).

## METODOLOGIA

A área de estudo situa-se no campus da Universidade de Brasília, no Distrito Federal. Na Universidade de Brasília, uma parte dos esgotos gerados é tratada com o uso de fossas sépticas. Uma dessas fossas, que serve ao alojamento dos estudantes, tem seus efluentes canalizados para um sistema de valas de infiltração. As valas de infiltração, em número de 3, correspondem à tubulações perfuradas, de cerâmica, com 15 centímetros de diâmetro e 60 metros de comprimento. Essas tubulações estão enterradas a 1 metro de profundidade, envolvidas por brita calcárea e recobertas com o solo do próprio local. O solo da área de estudo caracteriza-se por uma cor vermelho-escura, uma textura predominantemente argilosa e uma porosidade em torno de 60%. Essas valas funcionam de maneira alternada, e durante o período de operação, cada vala descarrega 22 metros cúbicos de efluente no subsolo por dia.

Durante o ano de 1997, o local das valas foi objeto de uma série de estudos sobre percolação e dispersão de efluentes no solo (Nascimento *et al.* 1997; Nascimento, 1998; Nascimento *et al.* 1998). Estes estudos consistiram na coleta e análise de amostras de água das zonas saturada e não-saturada do subsolo, acompanhamento da variação da umidade próximo à superfície do terreno, por meio de tensiômetros, e ainda investigação geofísica. Os trabalhos envolvendo geofísica consistiram na utilização de magnetometria, de radar de penetração no solo (GPR) e de perfilagens elétricas horizontais.

O método geofísico de perfilagem elétrica foi utilizado nesse local para identificar zonas de alta condutividade sob as valas de infiltração, vinculadas à contaminação pelo efluente da fossa séptica. Durante a utilização deste método, executaram-se perfilagens elétricas horizontais ao longo de 4 linhas previamente demarcadas no terreno, perpendiculares às valas de infiltração. O equipamento utilizado consistiu de um resistivímetro conectado a um cabo com 25 tomadas para eletrodos, espaçadas de 1 metro. Este cabo permitiu a conexão simultânea e independente de 25 eletrodos ao resistivímetro. Um microcomputador controlou a operação do equipamento, ativando e desativando determinados eletrodos, de maneira a simular o deslocamento de apenas 4 eletrodos, com o arranjo de Wenner sobre o terreno. Estas perfilagens foram executadas com diferentes espaçamentos entre os eletrodos, de modo a atingir diferentes profundidades. O valor da resistividade foi determinado para vários pontos da subsuperfície, e os dados obtidos permitiram construir mapas de resistividade elétrica em diferentes profundidades, bem como 4 seções elétricas, de 50 metros cada, transversais às valas. A profundidade de cada medida foi considerada como sendo igual à metade do espaçamento entre os eletrodos, conforme recomendação de Barker (1989).

## RESULTADOS OBTIDOS

A vala nº 3 funcionou entre os dias 04/06/1997 e 11/06/1997, e através dela foram dispostos cerca de 170 metros cúbicos de efluente no subsolo. Em seguida, no dia 12/06/1997, o efluente foi canalizado para a vala nº 2, através da qual foram dispostos outros 170 metros cúbicos de efluente, ao longo de mais 8 dias de operação. Nos dias 19/06/1997 e 20/06/1997 obtiveram-se os dados de resistividade elétrica utilizados para construir os mapas e as seções elétricas.

O mapa de resistividade elétrica, correspondente à profundidade de 0,50 metros mostra 3 zonas de baixa resistividade, cuja posição coincide com a localização das 3 valas de infiltração (Figura 1). Estas zonas caracterizam-se pelo formato alongado, visto em planta, e valores de resistividade menores que  $500\Omega.m$ . A delimitação destas zonas é favorecida pelo contraste de resistividade que existe em relação às regiões a sul e a norte das valas, bem como entre elas. Nestes locais, a resistividade atinge valores maiores que  $1300\Omega.m$ . Observa-se que a zona de baixa resistividade existente sob a vala 3 tem uma área, em planta, duas vezes maior que a mesma zona sob as valas 1 e 2.

Os mapas correspondentes às profundidades de 1,00, 1,50, e 2,00 metros possibilitam observar duas tendências que acompanham o aumento da profundidade. A primeira delas é a diminuição do contraste dentro da região sob as três valas. Na profundidade de 2,00 metros, quase toda esta região exibe valores de resistividade inferiores a  $500\Omega.m$ . A segunda tendência é o aumento do contraste entre a região sob as valas e as áreas a sul e a norte.

As seções elétricas, observadas sequencialmente, de montante para jusante, mostram uma progressiva definição de zonas de baixa resistividade sob as valas. Verifica-se uma conexão entre essas zonas, o que sugere um padrão de migração do efluente tanto horizontal, como vertical (Figura 2).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que o efluente migra no subsolo tanto vertical, como horizontalmente. Dados complementares, obtidos por meio da análise de amostras da água do subsolo, coletadas em diferentes profundidades, mostraram que a contaminação vinculada ao efluente de fossa séptica atingiu um aquífero freático que existe sob as valas de infiltração. Isto ocorreu após um período de 18 meses de funcionamento do sistema. Este aquífero situa-se a cerca de 8 metros de profundidade e não é explorado, atualmente, como fonte de água subterrânea.

## REFERÊNCIAS

Barker, R. D., 1981, *The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. Geophysical Prospecting.* 29, 128-143.

Barker, R. D., 1989, *Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. Geophysics.* 54, 1031-1037.

Benson, R.; Glaccum, R. A.; Noel, M. R., 1982, *Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration. National Ground Water Association, Dublin.*

Edwards, L. S., 1977, *A modified pseudosection for resistivity and IP. Geophysics. 42, 1020-1036.*

Fetter, C. W., 1994, *Applied Hydrogeology. 3.ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.*

Koefoed, O., 1979, *Resistivity Sounding Measurements. Elsevier, Amsterdam.*

Nascimento, C. T. C., 1998, *Comparação de dados de levantamentos geofísicos e de campanhas de amostragem em estudos de contaminação do subsolo; Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília.*

Nascimento, C. T. C.; Koide, S.; Pires, A. C. B., 1997, *Análise geofísica, por meio de resistividade elétrica, do espalhamento de efluente de fossa séptica no subsolo. Anais do 12º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Vitória, CD-ROM.*

Nascimento, C. T. C.; Koide, S.; Pires, A. C. B., 1998, *Análise geofísica, por meio de GPR, do espalhamento de efluente de fossa séptica no subsolo. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, São Paulo, CD-ROM.*

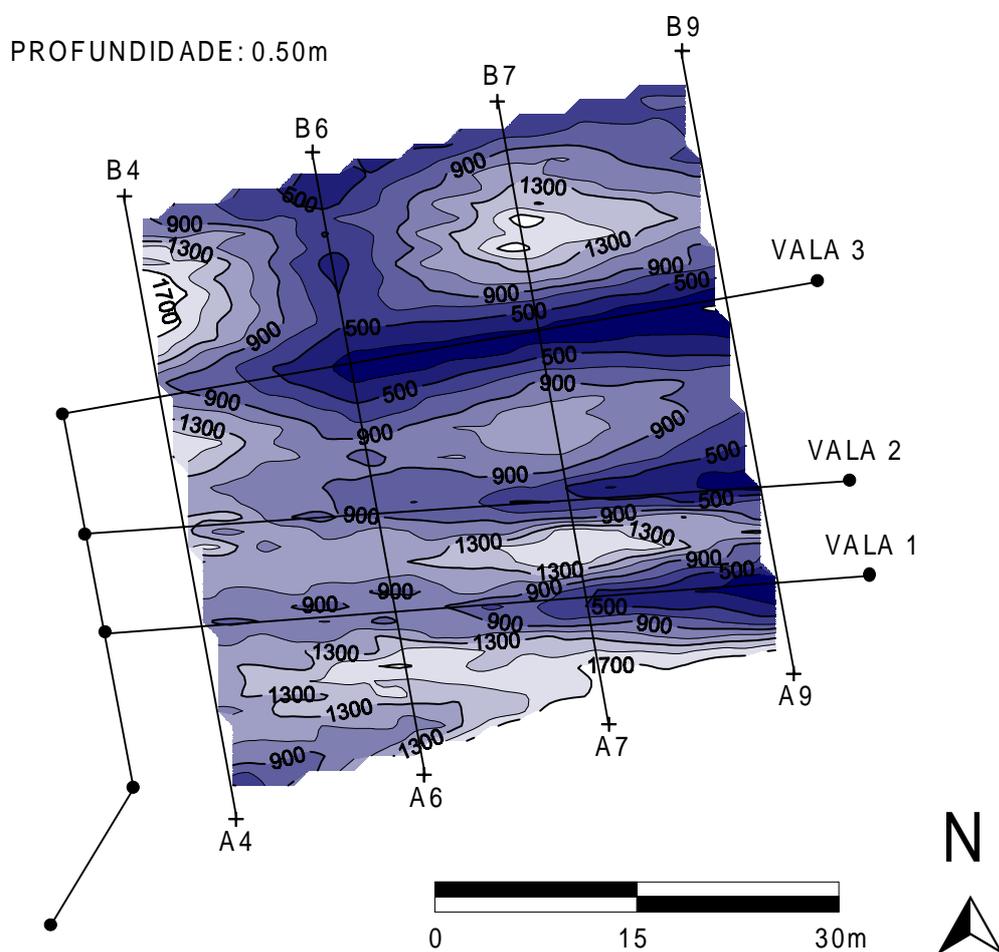


Figura 1 - Mapa de resistividade elétrica na profundidade de 0,50 metros.

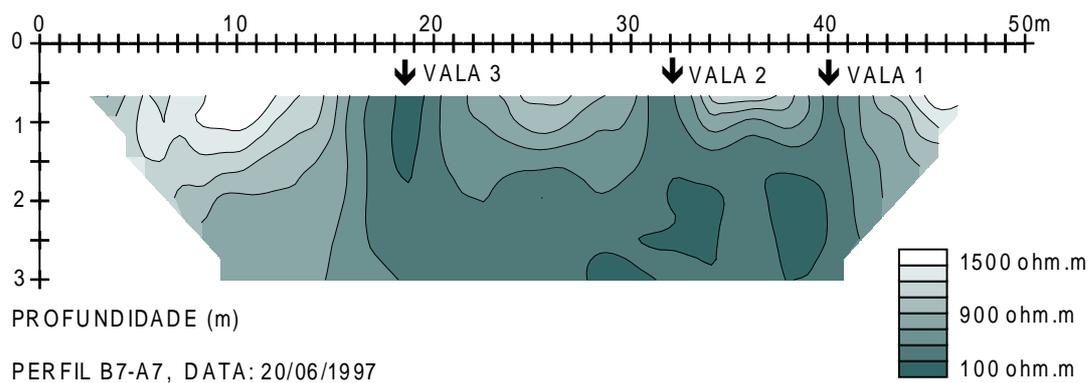


Figura 2 - Seção elétrica B7-A7.