

Estudo do fluxo subterrâneo por imageamento elétrico

Anapaula Vilas Boas Neves e José Gouvêa Luiz* Curso de Pós-Graduação em Geofísica-UFFA

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, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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

This paper describes the methodology applied to estimate the underground water flow velocity in the vadose zone using electrical imaging. Images were obtained for different times by surface measurements of apparent resistivity along a profile. The underground flow was traced by saline water injected in two shallow holes. The estimated velocity is compared to the velocity obtained through other methodology and can be considered satisfactory.

Introdução

A determinação da velocidade de fluxo da água subterrânea na zona não saturada requer o conhecimento do gradiente hidráulico, da condutividade hidráulica e da porosidade do aquífero (Feitosa e Manoel Filho, 1997; Fetter, 1994). Normalmente, a determinação desses parâmetros envolve um procedimento que demanda tempo e labor, pois requer observações em poços tubulares.

No presente trabalho aplicou-se metodologia geofísica envolvendo medidas na superfície do terreno, que podem simplificar a obtenção da estimativa da velocidade do fluxo. Foram realizadas medidas de resistividade aparente ao longo de um perfil com os eletrodos dispostos segundo o arranjo bipolo-bipolo.

O controle do fluxo foi efetuado amostrando-se periodicamente o perfil após a injeção de água salinizada em dois pontos. A água salinizada permitiu que se visualizasse o fluxo subterrâneo. Este procedimento baseia-se no trabalho desenvolvido por Barker e Moore (1998).

Metodologia

Para a realização deste estudo foi montado um experimento em que foram infiltrados no subsolo 360 litros de solução salina contendo 56 g/l de cloreto de sódio.

Para o experimento de infiltração foi estabelecida uma linha de levantamento de direção N20° onde foram enterrados 20 eletrodos metálicos espaçados de 2 m. A injeção da solução salina foi feita em 2 poços rasos ao longo da linha de levantamento. O primeiro na posição 9 m, com 70 cm de profundidade e diâmetro de 25 cm e o segundo na posição 23 m, com 50 cm de profundidade e diâmetro de 25 cm. Em cada poço foram injetados 180

litros da solução. A Figura 1 mostra um dos poços de injeção.



Figura 1 – Poço raso utilizado para a injeção de solução salina.

Os 20 eletrodos enterrados na linha de levantamento foram usados para a realização de medidas de resistividade, com o objetivo de acompanhar as variações provocadas pela injeção da solução salina e, assim, monitorar a sua distribuição na subsuperfície.

As medidas de resistividade foram realizadas com o arranjo bipolo-bipolo, usando-se bipolos de 2 m e 5 níveis de investigação. Com o objetivo de facilitar a operação de coleta de dados, uma unidade de chaveamento manual (Figura 2), fabricada no laboratório de Prospecção Geofísica da UFFA, foi acoplada ao resistivímetro GEOTEST e conectada aos 20 eletrodos metálicos enterrados no solo. A unidade de chaveamento permitiu ao operador selecionar, a cada medida, quatro eletrodos: dois deles para injeção de corrente (bipolo de corrente) e os outros dois para medir a diferença de potencial (bipolo de potencial).

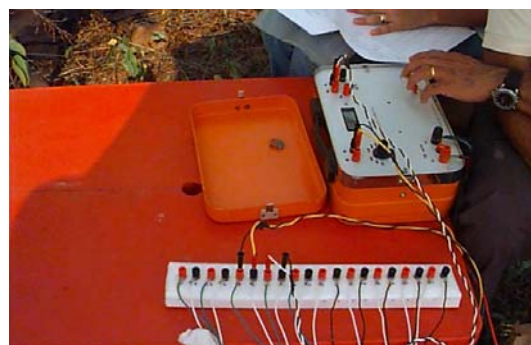


Figura 2 – Unidade de chaveamento manual, para conexão dos 20 eletrodos usados no imageamento.

A operação de campo (Figura 3) com o arranjo bipolo-bipolo permitiu que se investigasse a variação vertical e lateral da resistividade, gerando imagens da subsuperfície.



Figura 3 – Operação de medidas de resistividade para obtenção de imagens.

Antes de iniciar a injeção, a linha de levantamento foi amostrada para obter-se a distribuição normal da resistividade ao longo do perfil (Figura 4). As medidas de monitoramento da injeção foram realizadas durante a infiltração a intervalos de 2 horas. A cada amostragem do perfil foram executadas 75 medidas de resistividade, realizadas em cerca de 30 minutos.

Resultados

As medidas de resistividade aparente obtidas no imageamento elétrico foram interpretadas através da técnica de inversão automática a fim de obterem-se modelos interpretativos bidimensionais que mostrassem a distribuição de resistividade na subsuperfície.

A distribuição normal da resistividade ao longo da linha de levantamento, antes de iniciar-se a injeção de solução salina, foi obtida a partir da média aritmética de 3 amostragens do perfil de medidas. O modelo para a subsuperfície para essa média é ilustrado na Figura 4. Esse modelo é a referência para observação dos efeitos causados na distribuição de resistividade pela injeção da solução salina.

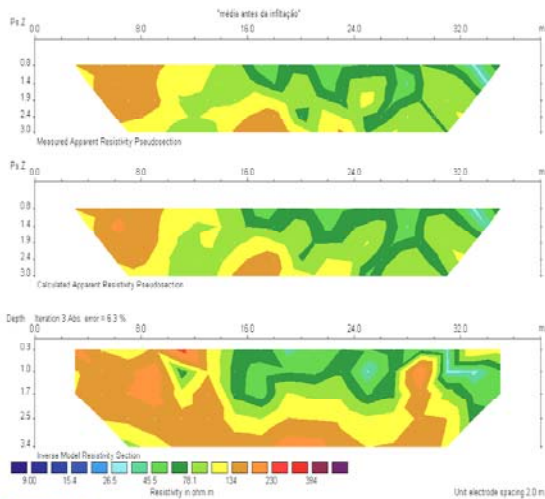


Figura 4 – Média de 3 amostragens do perfil, realizada antes de iniciar a injeção.

A injeção foi iniciada às 09:53 horas do dia 18/10/01 e, após 1 hora, foi realizado o primeiro perfil de medidas, cujos valores e modelo interpretativo estão representados na Figura 5. Observa-se na figura que inicialmente ocorre uma diminuição dos valores da resistividade entre as posições 8 e 10 m e entre as posições 22 e 24 m, em relação à imagem inicial (Figura 4), diretamente abaixo dos pontos de injeção da solução salina (9 m e 23 m). Com o passar do tempo (Figuras 6 e 8), observa-se um espalhamento desses valores mais baixos na direção norte entre as posições 8 e 10 m e na direção sul entre as posições 22 e 24 m, indicando que esses são os sentidos do fluxo subterrâneo no local. O espalhamento dos valores mais baixos de resistividade é mais visível entre as posições 22 e 24 do que entre as posições 8 e 10, o que sugere uma maior permeabilidade do material depositado nas proximidades das posições 8 e 10 m.

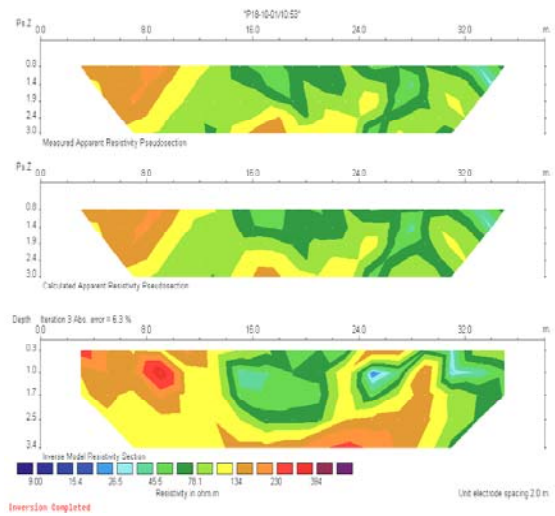


Figura 5 – Imagem obtida 60 minutos após o início da injeção. Pontos de injeção: 9 m e 23 m.

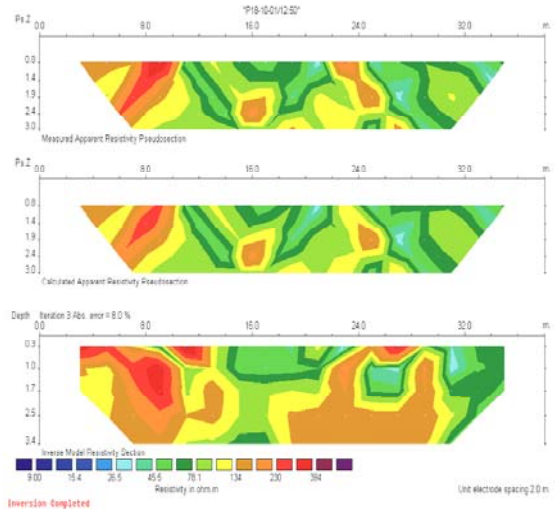


Figura 6 – Imagem obtida 177 minutos após o início da injeção. Pontos de injeção: 9 m e 23 m.

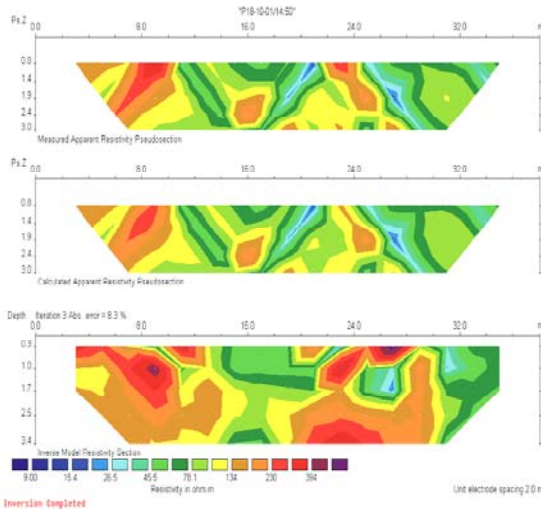


Figura 7 – Imagem obtida 297 minutos após o início da injeção. Pontos de injeção: 9 m e 23 m.

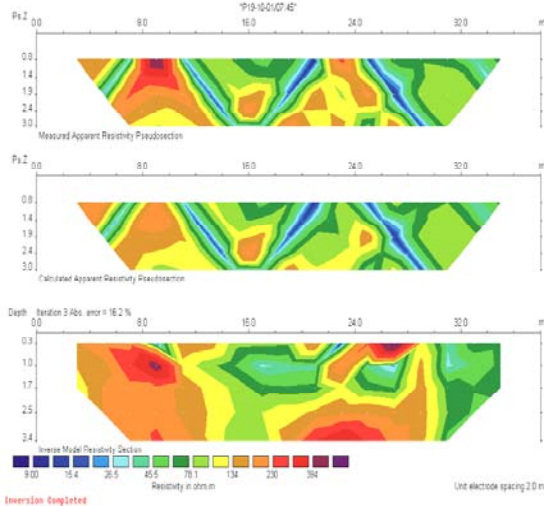


Figura 8 – Imagem obtida 1222 minutos após o início da injeção. Pontos de injeção: 9 m e 23 m.

A partir de imagens obtidas em tempos diferentes foi feita uma estimativa da velocidade com que a zona condutora causada pela solução salina se movimentou na subsuperfície, a fim de obter-se a velocidade do fluxo subterrâneo na zona não saturada. Para isso, foram medidas, nas imagens elétricas dos modelos interpretativos, as distâncias entre o ponto de injeção e posições da zona condutora ao longo do tempo, usando a escala de profundidade fornecida pelos modelos interpretativos. A variação temporal foi obtida através da diferença entre o tempo inicial (anterior a injeção) e o tempo necessário para atingir determinada posição. O valor médio da velocidade de movimentação da zona condutora foi então calculado dividindo a distância pelo tempo. O procedimento foi realizado nas imagens obtidas durante a infiltração e naquelas em que ainda era

observada a movimentação da pluma condutiva, mesmo após a infiltração ter sido encerrada. A velocidade média às proximidades das posições 8 e 10 m foi estimada em $2,56 \times 10^{-3}$ cm/s e próximo às posições 22 e 24 m em $5,11 \times 10^{-3}$ cm/s, produzindo a média aritmética de $3,83 \times 10^{-3}$ cm/s para o fluxo subterrâneo.

Segundo Araújo (2001) o valor da porosidade média da zona não saturada, para sedimentos similares aos que ocorrem em nossa área de estudo, é igual a 0,19. Por sua vez, Rodrigues (1999), através de ensaios de permeabilidade realizados na nossa área, estimou em $1,83 \times 10^{-4}$ cm/s o valor da condutividade hidráulica média na zona não saturada. Dividindo-se a condutividade hidráulica pela porosidade obtém-se uma estimativa de $0,96 \times 10^{-3}$ cm/s para o valor da velocidade média do fluxo subterrâneo na área.

Existe uma discrepância entre as estimativas obtidas do imageamento e a obtida a partir dos dados de Araújo (2001) e Rodrigues (1999), que pode ser devida ao valor obtido a partir de ensaios de permeabilidade ter levado em conta um fluxo essencialmente vertical (Rodrigues, 1999), diferente do observado no imageamento elétrico. Além disso, os valores de porosidade usados no cálculo são também aproximados, pois não foram determinados para os sedimentos da área estudada. Pode-se, portanto, concluir que a estimativa de velocidade do fluxo subterrâneo através de imageamento, produz resultados satisfatórios.

Conclusões

A partir dos modelos interpretativos obtidos no imageamento elétrico, estimou-se a velocidade média local do fluxo na subsuperfície em $3,83 \times 10^{-3}$ cm/s. Também foi possível observar, através do movimento da pluma condutiva, um sentido do fluxo subterrâneo local próximo à posição 9 m no sentido norte e próximo a 23 m no sentido sul. Além disso, observou-se que esse movimento foi mais visível às proximidades da posição 23 m do que da posição 9 m, sugerindo uma maior permeabilidade do material depositado nas proximidades de 23 m.

O valor da velocidade média do fluxo nas proximidades da posição 9 m foi estimado em $2,56 \times 10^{-3}$ cm/s, enquanto próximo à posição 23 m ele foi estimado em $5,11 \times 10^{-3}$ cm/s. Essa diferença indica que o fluxo não é uniforme conforme é sugerido quando estimado através da metodologia hidrogeológica que utiliza observação em poços.

Referências

- Araújo, P.P.**, 2001, Variações sazonais dos componentes nitrogenados, em aquífero livre na zona urbana de Santa Izabel do Pará, nordeste do estado do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 113 p. (Dissertação de Mestrado).
- Barker, R.D. e Moore, J.**, 1998, The application of time-lapse electrical tomography in groundwater studies. *The Leading Edge*, p.1454-1458.
- Feitosa, A.C.F. e Manoel Filho, J.**, 1997, Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM, 389 p.

Fetter, C.W., 1994, Applied hidrogeology. New Jersey: Prentice Hall, 691 p.

Rodrigues, S.F.S., 1999, Vulnerabilidade do aquífero livre na área de lançamento de rejeitos sólidos da ALBRAS e avaliação preliminar dos seus riscos de contaminação. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 66p. (Trabalho de Conclusão de Curso).

Agradecimentos

Os autores agradecem à ALBRAS por ter cedido a área para a realização das medidas e ter fornecido parte do apoio logístico. Um dos autores (AVBN) agradece à CAPES pela concessão de Bolsa de Estudos e o outro autor (JGL) ao Programa PARD da Universidade Federal do Pará, que financiou o levantamento de campo.