



Estudo geofísico de fonte de água mineral: estudo de caso em Santo Antônio de Pádua (RJ)

Paulo de Tarso Luiz Menezes^a, Adriana de Oliveira^a, Ronaldo Mello Pereira^a
 & Irineu Figueiredo^b

Recebido em 05 de setembro de 2003 / Aceito em 30 de agosto de 2004

Resumo

Foram realizados estudos geofísicos através dos métodos eletromagnéticos VLF e eletrorresistividade (sondagem elétrica schlumberger), com o objetivo de se determinar os controles estruturais das ocorrências de água mineral na cidade de Santo Antônio de Pádua. A interpretação dos dados VLF coletados em uma fonte da região indica que falhas e/ou fraturas de direção NE representam o principal elemento condicionador das fontes estudadas. Além disso, os resultados das sondagens elétricas apontam para a existência de um segundo nível saturado em profundidade, abaixo dos 30 metros.

Palavras-Chaves: prospecção geofísica, métodos eletromagnéticos e resistivimétricos, água subterrânea, fonte de água mineral

Abstract

A geophysical survey employing the VLF (Very Low Frequency) and resistivity method (Vertical Electrical Sounding with Schlumberger array) was conducted to define the structural control of mineral water sources at Santo Antonio de Pádua Village. The interpretation of the VLF data indicates that fractures zones striking NE are the main conditioning elements of the studied font. The VES realized in the area pointed out a new saturated level at depths greater than 30 m.

Keywords: geophysical prospecting, electromagnetic and resistivity methods, underground water, mineral springs

^aGEFEX-DGAP-FGEL-UERJ – Grupo de Pesquisa em Geofísica de Exploração. Rua São Francisco Xavier 524 - 4006 A - 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, ptarso@uerj.br.

^bDepartamento de Geofísica - CNPq- ON - Rua Gen. Bruce 586, Rio de Janeiro, RJ, 20240-400.

1. Introdução

A cidade de Santo Antônio de Pádua localiza-se no extremo noroeste do Estado do Rio de Janeiro, próxima à divisa com Minas Gerais (Fig. 1a). Grande parte de sua economia encontra-se baseada na produção de pedra ornamental e na atividade agro-pastoril. Importante pólo de engarrafamento e distribuição de água mineral no passado, Santo Antônio de Pádua é conhecida pela ocorrência de águas de diferentes composições, incluindo águas magnésíferas, carbo-gasosas, litinadas e iodadas (Martins *et al.*, 1997).

Com o passar dos anos e o crescimento do Município para a vizinhança das fontes de água mineral, algumas delas mostraram consideráveis índices de contaminação como consequência, sobretudo, da proximidade com o esgoto sanitário. Em certas fontes houve também a diminuição na vazão dos aquíferos. O conjunto

destes fatores contribuiu para o declínio na produção de água mineral naquele Município, inclusive com o fechamento de algumas engarrafadoras.

Numa tentativa de estimular a economia da região, a Prefeitura da cidade estabeleceu um convênio com o Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da UERJ (DGAP/FGEL/UERJ) visando à realização de estudos que permitissem viabilizar a produção de água mineral. Para tal o DGAP estabeleceu um plano de ações em conjunto com o Departamento de Geofísica do Observatório Nacional onde se buscou determinar, em uma primeira instância, os controles das diversas ocorrências de águas minerais, de modo a verificar a possibilidade do aumento das vazões das fontes conhecidas, e estabelecer um modelo que pudesse ser extrapolado para a identificação de novas ocorrências.

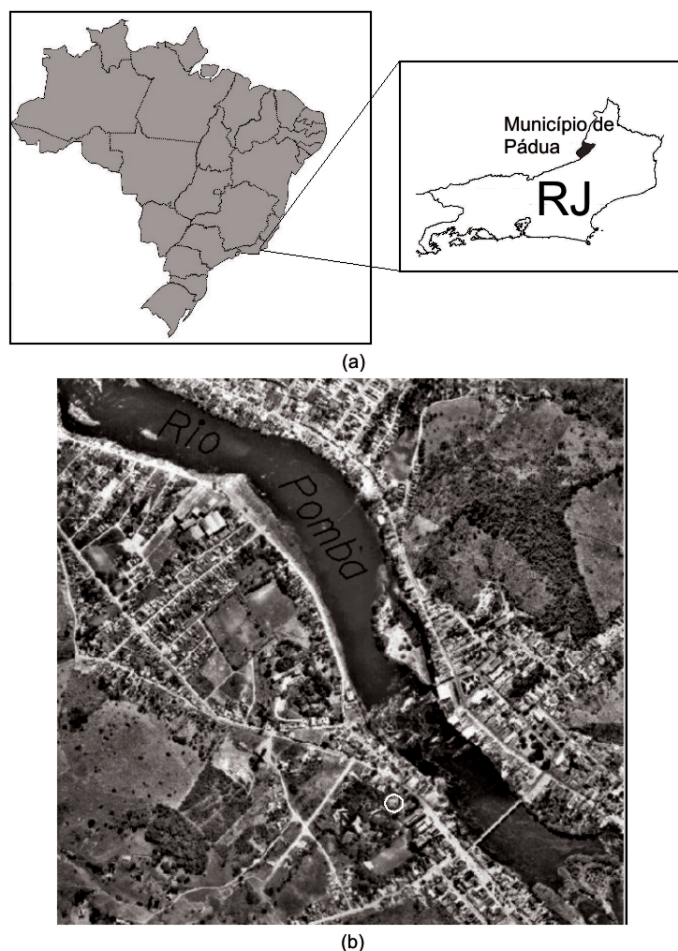


Fig. 1. (a) Mapa de localização do município de Pádua no Estado do Rio de Janeiro (b) Foto aérea de porção da zona urbana de Pádua com a localização da Fonte Iodetada Pádua (círculo branco na foto).

A utilização de métodos geofísicos na prospecção de água subterrânea vem sendo empregada com bastante sucesso em várias regiões do Brasil. Dentre as técnicas mais utilizadas atualmente podem ser citadas: métodos eletromagnéticos (La Terra *et al.*, 1998); eletrorresistividade (Oliveira & Olivar 1986, Oliveira, 1993; Drews, 1998); magnetotelúrico (Metello *et al.*, 1998), gama-espectrometria (Flexor *et al.* 1998) e magnetometria (Rigoti *et al.*, 1998) entre outras.

Neste trabalho optou-se pelo uso conjugado de dois métodos: o VLF (*Very Low Frequency*) e Resistividade, pois a combinação destes dois métodos tem se mostrado bastante eficaz no mapeamento e monitoramento de aquíferos em cristalinos rasos (Ogilvy & Lee, 1991; Meju, 2002).

Apresentamos neste trabalho os resultados obtidos para a fonte Pádua (Fig. 1b). A referida fonte, de água iodetada, ainda se encontra em produção, mas por também possuir uma baixa vazão, 11000 l/24h (Falcão, 1978) a comercialização da água é restrita somente ao município.

2. Geologia da Área

Geologicamente, a área onde está localizada a cidade de Santo Antônio de Pádua encontra-se representada por terrenos cristalinos Pré-Cambrianos pertencentes à Unidade Santo Eduardo (Grossi Sad *et al.*, 1980). Essa Unidade é predominantemente constituída por gnaisses cataclásticos com algumas intercalações de anfibolito, mármore dolomítico e possantes corpos quartzíticos.

As unidades mais recentes encontradas na área são representadas por coberturas de solos residuais e colúviais e por sedimentos aluviais quaternários, pouco espessos, que se encontram confinados às calhas das principais drenagens.

As rochas do embasamento cristalino demonstram um forte condicionamento estrutural para NE, com as direções de foliação (Sn) para NE e caimento para SE. Os fraturamentos e falhamentos ocorrem em duas direções preferenciais, ortogonais entre si, e que correspondem a 170° e 60°, ambas com

mergulhos subverticais (>80°). Aparentemente elas são as principais responsáveis pela estruturação das drenagens locais. Essas direções de fraturas foram encontradas em medidas estruturais realizadas em afloramentos próximos as fontes estudadas (Oliveira *et al.*, 1999).

3. Método VLF

A técnica de sondagem eletromagnética VLF é um método muito utilizado para prospecção de minerais metálicos (Phillips & Richards, 1975), água subterrânea (Oliveira, 1997) e mapeamento de estruturas geológicas (Chamon *et al.*, 1986).

O método VLF emprega campos eletromagnéticos gerados a partir de estações radio-transmissoras operando na faixa de frequência de 15-30 kHz, ou a partir de um gerador de linha portátil. As estações transmissoras são estações internacionais de comunicação com submarinos militares. Atualmente existem no mundo seis estações transmissoras em funcionamento. No Brasil, são recebidos sinais de apenas uma delas, a estação NAA, sediada na cidade de Cuttler, Maine, Estados Unidos, transmitindo na frequência de 24,0 kHz. Em áreas onde o sinal primário gerado pela estação é muito fraco ou imprópriamente orientado para uso eficiente no levantamento, utiliza-se uma fonte geradora portátil.

Neste caso, coloca-se a fonte de sinal aproximadamente no meio da linha de corrente que pode ter extensão de até 2000 m. Utilizando-se essa configuração, é possível realizar investigações num raio de até 5 km a partir da fonte.

A corrente emitida pela antena gera um campo magnético horizontal primário que ao penetrar em corpos condutores no terreno, gera campos magnéticos secundários verticais. O aparelho receptor mede a inclinação do campo secundário em relação ao primário (*tilt angle*), sob a forma de componentes real (em fase) e imaginária (quadratura).

O receptor é calibrado de modo que, ao se aproximar de um condutor, os ângulos da componente em fase sejam positivos. O ponto de

inflexão da curva (*crossover*) indica a passagem pelo condutor. A componente em quadratura fornece uma indicação da resistividade do condutor em subsuperfície. Se a quadratura tiver polaridade oposta à componente em fase, isto indica a vizinhança de um bom condutor; entretanto, se a polaridade for a mesma, isso caracteriza um condutor fraco.

A característica dos pontos de *crossover* nem sempre é muito clara. É recomendável que a componente em fase deva ser filtrada tal como o processo definido por Fraser (1969). Neste processo, os pontos de *crossover* são transformados em pontos de máximo, tornando dessa maneira a identificação de zonas condutoras anômalas um processo mais fácil quando comparado ao de identificação de *crossover*.

Uma forma bastante eficaz para a apresentação e interpretação de dados VLF é o emprego do filtro de Karous e Hjelltt (1983) que permite gerar pseudo-seções de densidade de corrente a partir da componente em fase. A aplicação desse filtro é feita através do método da convolução do perfil através da expressão:

$$F(0) = K (-0,102H_{-3} + 0,059H_{-2} - 0,56H_{-1} + 0,56H_{+1} - 0,05H_{+2} + 0,102H_{+3}), \quad (1)$$

onde K é uma constante que depende do intervalo de amostragem das estações VLF, H_i é o i -ésimo ponto de medida anterior (-) ou posterior (+).

4. Eletroresistividade

O método da eletroresistividade utiliza uma fonte artificial de corrente elétrica (contínua ou alternada) injetada no subsolo para determinar variações verticais e/ou horizontais de resistividade em sub-superfície. A finalidade é a interpretação de parâmetros geológicos e hidrogeológicos do subsolo (Merrick, 1997).

Existem dois modos distintos de levantamentos resistivimétricos, sondagens e caminhamentos elétricos. No caso das sondagens elétricas (SEV), detecta-se a variação vertical da resistividade a partir do aumento do espaçamento entre eletrodos em sucessivas leituras. No caso do caminhamento elétrico detecta-se também variações laterais de resistividade, mantendo-se fixa a distância entre eletrodos e movendo-se todo o arranjo na superfície, neste caso a profundidade de investigação é mantida aproximadamente constante.

No caso das sondagens elétricas, metodologia empregada neste trabalho, optou-se pelo arranjo de eletrodos Schlumberger, pois segundo Merrick (1997) este tipo de arranjo é o que apresenta melhor resolução e a maior profundidade de investigação dentre os diversos tipos de arranjos existentes. Neste arranjo, os eletrodos são dispostos linearmente na superfície, sendo dois eletrodos de potencial (MN) fixos e dois de corrente (AB) com semi-espaçamentos crescentes (Fig. 2) e distribuição aproximadamente regular

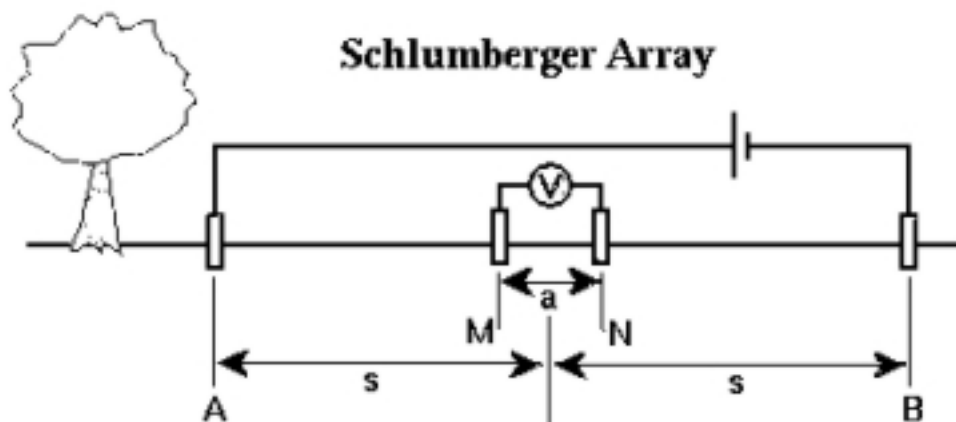


Fig. 2. Arranjo Schlumberger. A e B são eletrodos de injeção de corrente, o espaçamento entre eles é dado por $2s$. M e N são eletrodos de potencial, o espaçamento entre eles é dado por a .

quando marcados em escala logarítmica, com pelo menos oito pontos por período (década).

O equipamento utilizado para a execução de uma SEV consiste essencialmente de quatro módulos: resistivímetro, fonte de energia, eletrodos de metal e cabos elétricos. O resistivímetro consiste basicamente de uma unidade transmissora de corrente contínua (ou alternada) e uma unidade receptora, que mede a diferença de potencial entre dois eletrodos, provocada pela corrente injetada. A fonte de energia (geradores, acumuladores ou pilhas) deve ser adequada ao consumo de carga do aparelho.

5. Dados VLF e sua interpretação

O levantamento geofísico realizado compreendeu cinco perfis VLF-EM executados nas proximidades do principal poço abastecedor da Engarrafadora de Águas Pádua (Fig. 3), com comprimento médio de 200 m cada um, o levantamento completo totalizou 1000 metros lineares. O espaçamento entre as leituras em cada perfil foi de 10 m. A utilização de um transmissor portátil permitiu projetar os perfis VLF em duas direções de medida, N70E e N20W, cortando as principais direções de falhamentos da região. Na

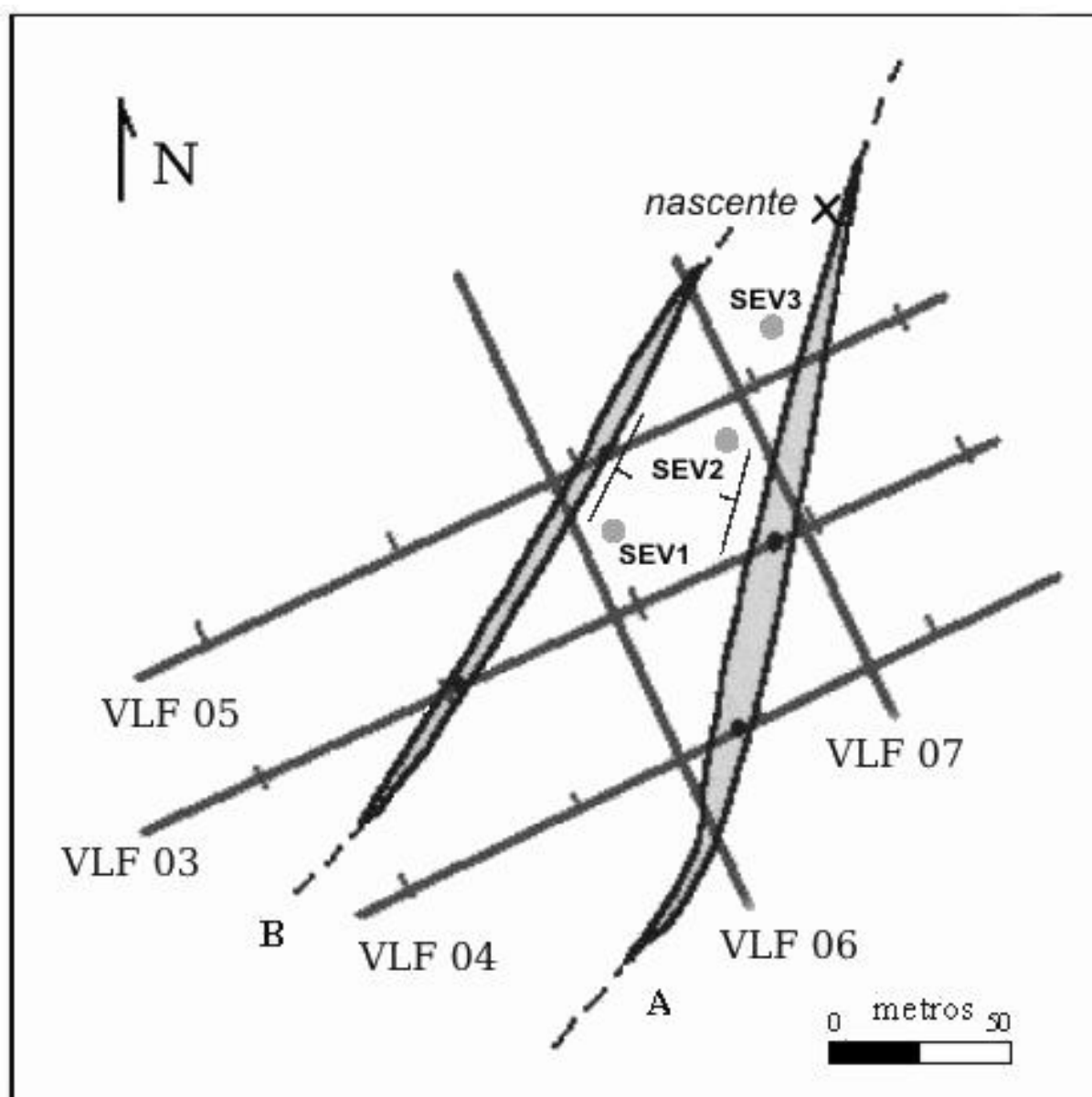


Fig. 3. Localização dos 5 perfis VLF (VLF03-07) e das 3 sondagens elétricas (SEV01-03) realizadas na Fonte Pádua. A e B na figura ilustram os eixos dos dois principais condutores mapeados através dos levantamentos VLF.

fonte Pádua, foram feitos três perfis na direção N70E (VLF-03 a VLF-05) e dois na direção N20W (VLF-06 e VLF-07). O espaçamento entre os perfis paralelos é de 40 m.

Pode-se observar através da interpretação semi-quantitativa das linhas VLF 03 (Fig. 4), VLF 04 (Fig. 5) e VLF 05 (Fig. 6), direcionadas de Oeste para Leste, que existem pelo menos duas estruturas condutoras principais, que se repetem nos três perfis. Esses maiores condutores atingem profundidades superiores a 30 m, e são interpretados na forma de falhas e fraturas que apresentam direções de mergulho opostos, e ângulos de mergulho aparente predominantemente elevados (cerca de 60 graus), alternados com valores de mergulhos mais suaves (em torno de 40 graus).

Os caminhamentos dos perfis VLF 03 e VLF 05 mostram maior semelhança na distribuição das fraturas, ficando intensamente fraturado entre 50 m e 100 m ao longo do perfil. Em seguida, mostra uma área de rocha maciça, não fraturada entre os piquetes 100 e 150 m e tornando a apresentar fraturas mais rasas aos 150 m do perfil. O perfil VLF 04 mostra uma única zona de fraturas nas proximidades dos 100 m, cercado por rocha cristalina sã.

O perfil VLF 06 (Fig. 7) apresenta uma grande interferência de fraturas entre 100m e 150 m na linha, o que fornece a largura da zona fraturada **B** (Fig. 7) e mergulho aparente para Sudoeste. Aos 35 m do perfil aparece a zona fraturada **A**.

O perfil VLF 07 (Fig. 8) intercepta apenas a zona fraturada **A** na posição de 80 m do perfil, e esta mostra mergulho aparente para Norte. Devido ao seu menor comprimento não foi possível identificar a zona fraturada **B**, projetada no extremo norte do perfil.

A distribuição e correlação em planta dos condutores mapeados nos perfis VLF 03, VLF 04 e VLF 05, complementados com os condutores mapeados nos perfis VLF 06 (Fig. 7) e VLF 07 (Fig. 8), ortogonais aos primeiros está ilustrada na Figura 3. A zona fraturada **A** representada na Figura 3, corresponde ao condutor mais expressivo e profundo, mapeado nos perfis VLF 03, VLF 04 e VLF 05. Esta estrutura estende-se por mais de 30 m de profundidade e tem atitude de mergulho aparente de cerca de 60 graus para Oeste.

A zona fraturada **B**, observada nos perfis VLF 03 e VLF 05, é mais rasa e sua atitude de mergulho aparente é de cerca de 70 graus para

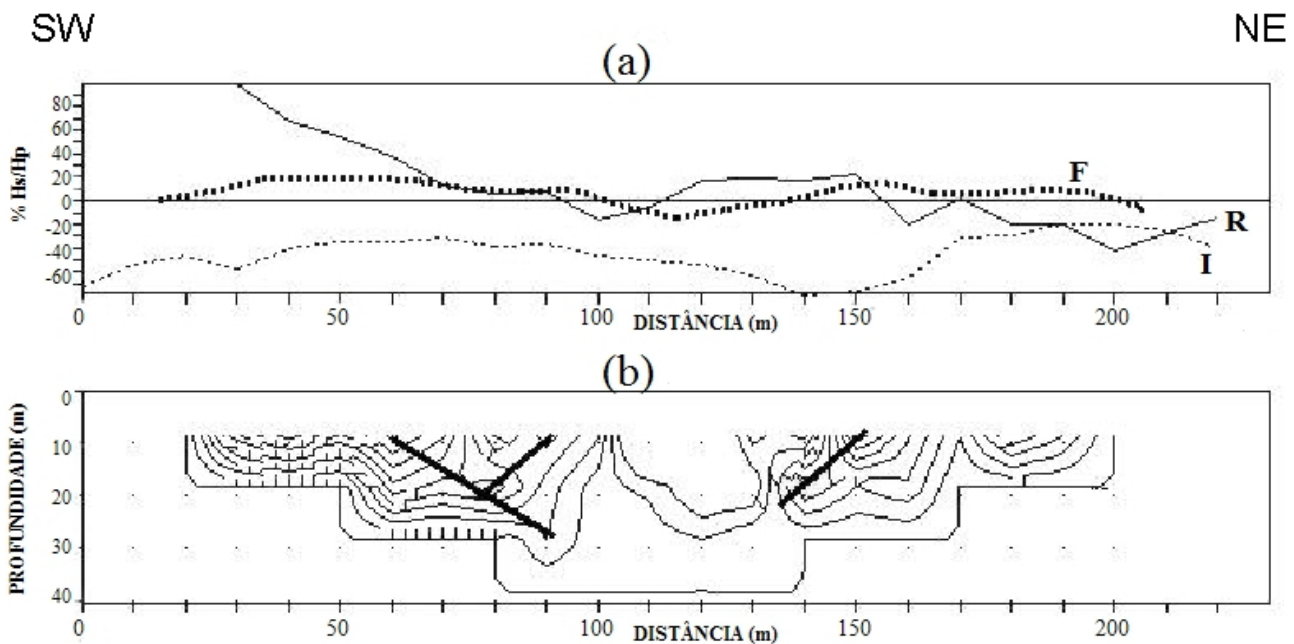


Fig. 4. Perfil VLF 03 – (a) Componentes Real (R), Imaginária (I) e Fraser (F) do campo; (b) Interpretação estrutural dos condutores.

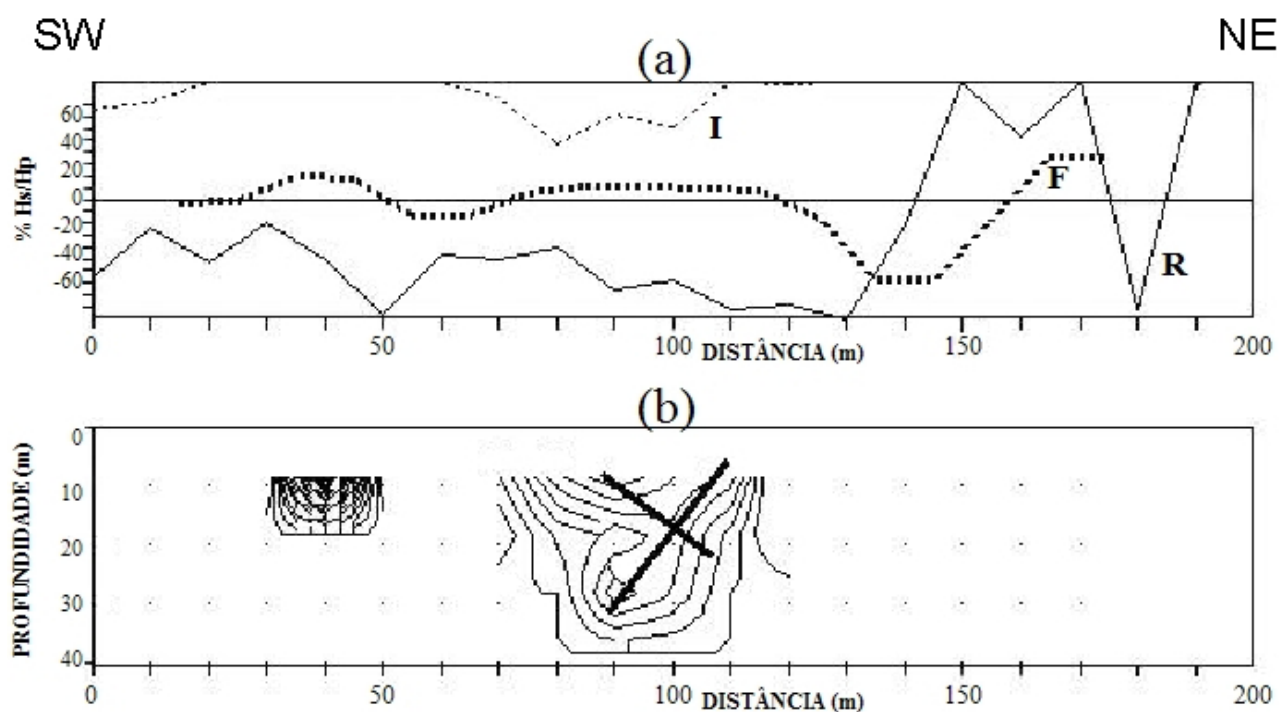


Fig. 5. Perfil VLF 04 – (a) Componentes Real (R), Imaginária (I) e Fraser (F) do campo; (b) Interpretação estrutural dos condutores.

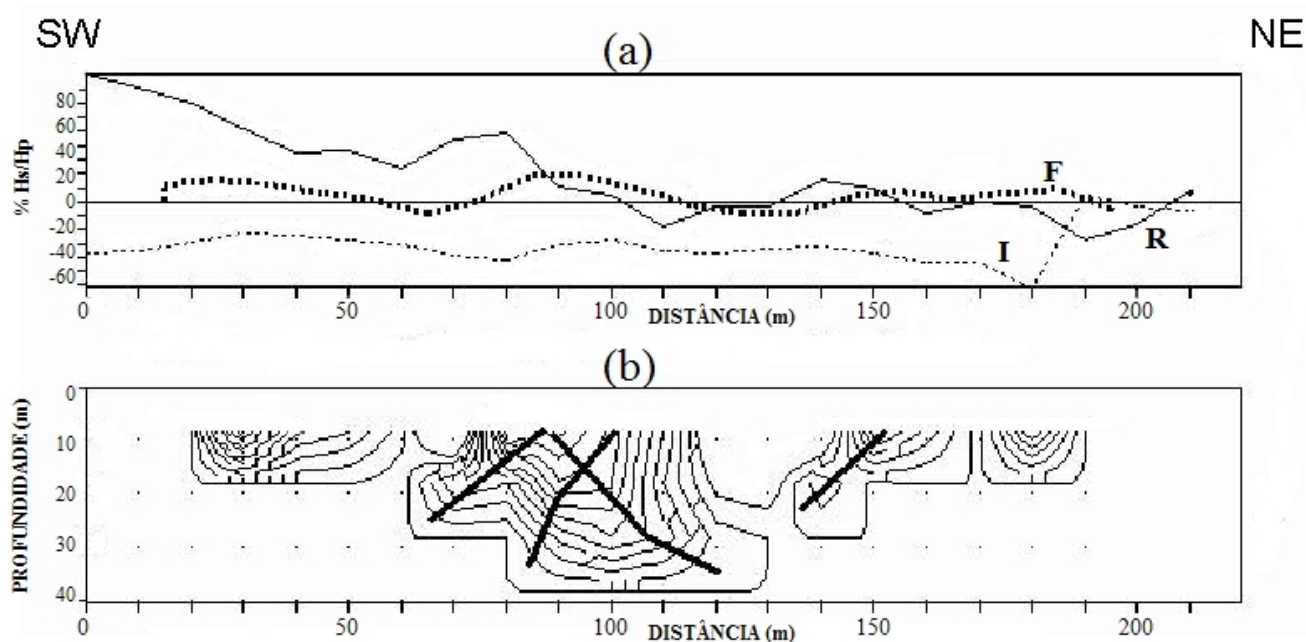


Fig. 6. Perfil VLF 05 – (a) Componentes Real (R), Imaginária (I) e Fraser (F) do campo; (b) Interpretação estrutural dos condutores.

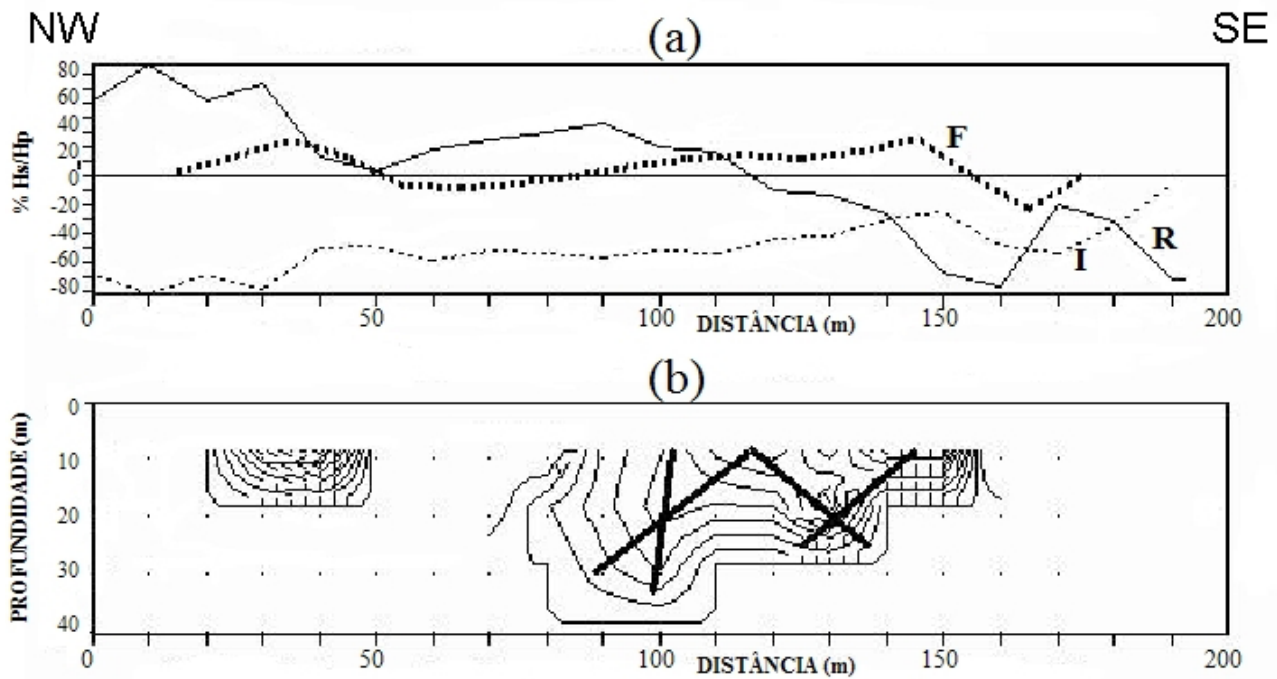


Fig. 7. Perfil VLF 06 – (a) Componentes Real (R), Imaginária (I) e Fraser (F) do campo; (b) Interpretação estrutural dos condutores.

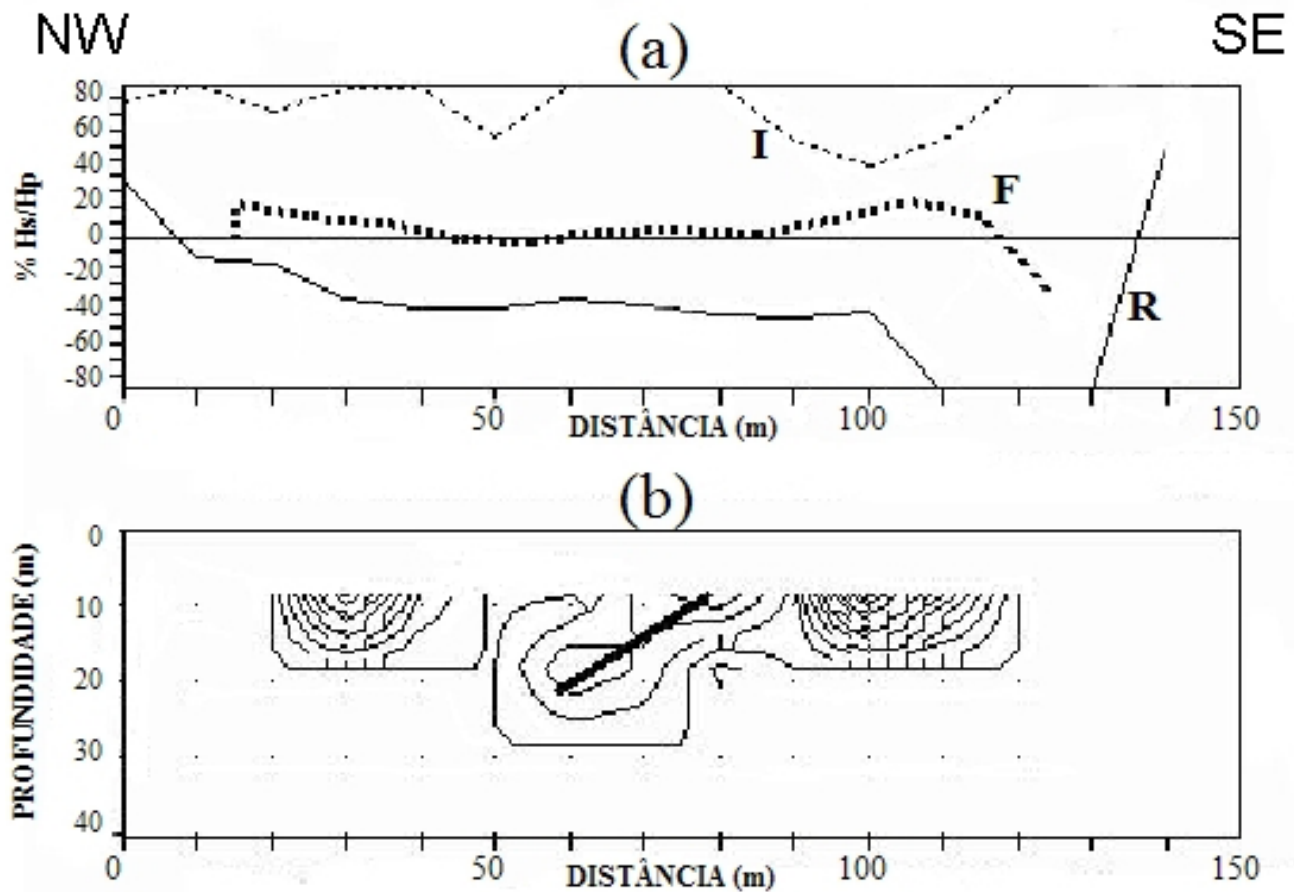


Fig. 8. Perfil VLF 07 – (a) Componentes Real (R), Imaginária (I) e Fraser (F) do campo; (b) Interpretação estrutural dos condutores.

Leste. Estes valores são compatíveis com os fraturamentos regionais descritos na literatura.

6. Sondagens elétricas e sua interpretação

Após a aquisição dos perfis VLF foram executadas três sondagens elétricas (SEV) na Fonte Pádua, o posicionamento dessas sondagens é ilustrado na Figura 3. As sondagens na Fonte Pádua foram realizadas em intervalos de 40 m, ao longo de um perfil de direção SW-NE no interior de zona de fraturamento definida na interpretação VLF.

Para a execução das SEV foi utilizado um resistivímetro digital MEGABRAS, nacional, de 40 watts de potência. Como dito anteriormente, empregou-se o arranjo Schlumberger (Telford *et al.*, 1990), utilizando 10 pontos de investigação por década. A abertura AB/2 inicial foi de 1m e a final de 150 m. Tal configuração permite investigar a estrutura geo-elétrica em subsuperfície desde 1,0 m até mais de 100 m de profundidade.

Para o cálculo dos valores de resistividade aparente utilizou-se a expressão abaixo, derivada a partir da lei de Ohm (Telford *et al.*, 1990):

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} |k, \quad (2)$$

onde ρ é a resistividade aparente, ΔV é a diferença de potencial (medido), I é a corrente enviada e k é um fator geométrico de escala que depende do tipo de arranjo de eletrodos utilizado. No caso do presente trabalho onde foi utilizado o arranjo Schlumberger é definido por:

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} + \frac{1}{BM}}. \quad (3)$$

7. Interpretação das SEV

As sondagens elétricas são apresentadas, individualmente, na forma tradicional, i. e., em gráfico bilogarítmicos (Fig. 9). As interpretações das SEV consistiram nas determinações das

espessuras das camadas e respectivas resistividades através de um programa de processamento digital baseado no método de inversão 1-D de Zodhy (1989). No processo de inversão procura-se encontrar um modelo geoeletrico que melhor se ajuste aos dados medidos.

De uma forma geral, a interpretação das Sondagens Elétricas SEV01 (Fig 9a), SEV02 (Fig. 9b) e SEV03 (Fig. 9c) realizadas na fonte de água mineral Pádua, permitiram tecer as seguintes considerações:

A camada mais superficial dos perfis mostra características geoeletricas de solo, com espessura aproximada de 2 m, o que se adequa perfeitamente às condições locais, já que a engarrafadora Pádua se localiza em uma zona de terraço aluvial. Os resultados obtidos pela interpretação das inversões apresentam notável correlação com o conhecimento geológico da Fonte Pádua, dado por uma seção geológica do poço produtor (Fig. 10). Nesta seção, a zona da captação de água está localizada aproximadamente a 6,5 m de profundidade em um zona de rochas fraturadas, abaixo de uma espessa camada argilosa. As SEV03 e SEV02 mais próximas da nascente mostram 2 m e 10 m de profundidade uma queda nos valores de resistividade associada ao aquífero principal da Engarrafadora Pádua.

Para a SEV02 (Fig. 9b) e SEV03 (Fig. 9c) verificou-se que abaixo dos 10 e 7 m, respectivamente, os valores de resistividade crescem acentuadamente, mostrando uma zona rasa de rocha cristalina sã, pouco ou não fraturada.

Nas três sondagens foi ainda detectado um segundo nível condutor bastante expressivo em profundidades superiores a 40 m. Este nível é detectado pela queda drástica nos valores de resistividade, chegando, na SEV 03, a 20 ohm.m. Torna-se recomendável a realização de furos de sondagem com profundidades de até 80 m para testar a interpretação realizada. Na hipótese de se encontrar o aquífero e for comprovada a composição mineral da água deste segundo nível saturado, este pode representar a garantia de abastecimento futuro e/ou o aumento na produção de água mineral da Engarrafadora Pádua.

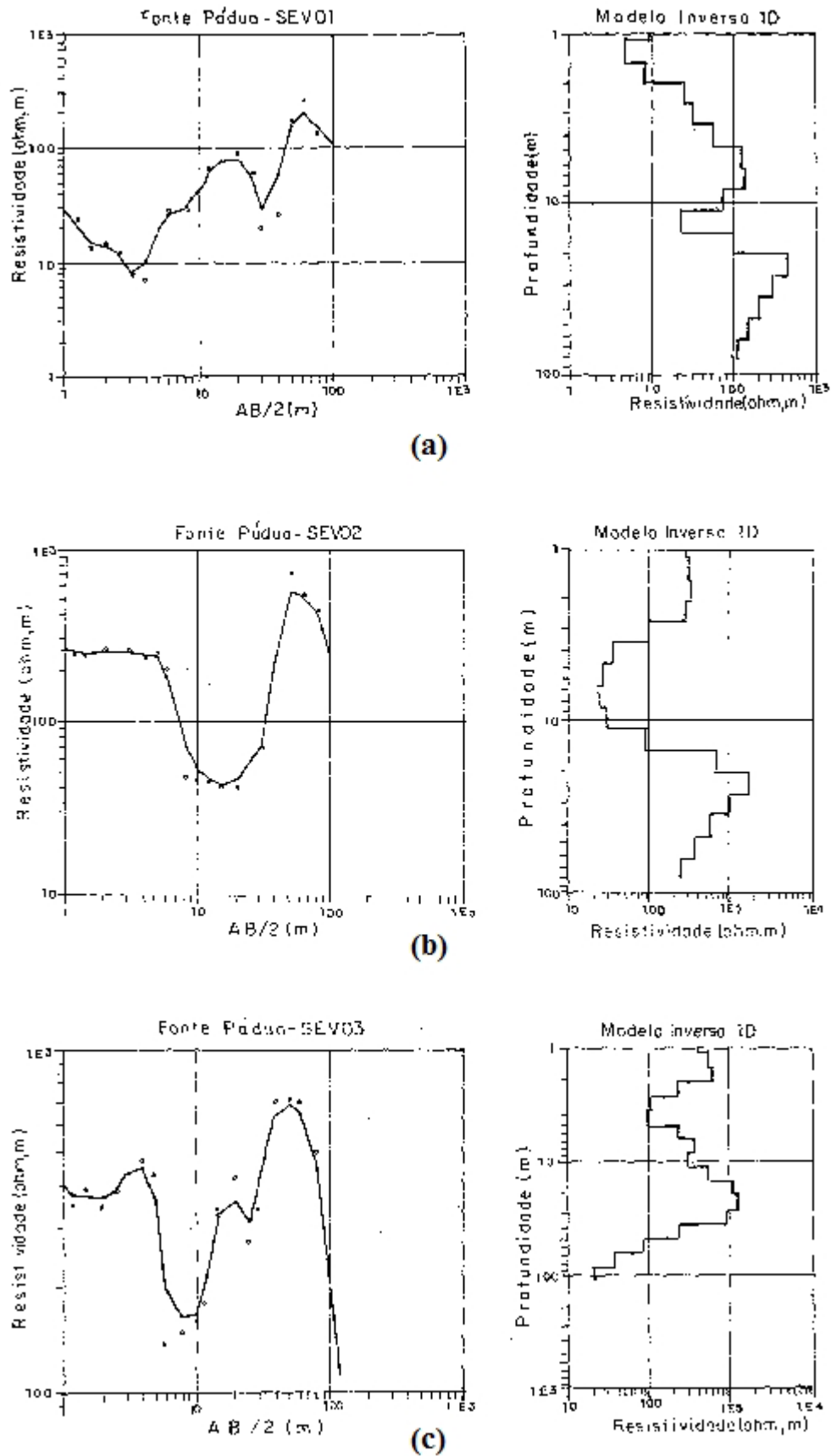


Fig. 9. Curvas de sondagem elétrica observada (círculos) e calculada (linha contínua) a partir de modelo 1D inverso (linha contínua). (a) SEV01; (b) SEV02; (c) SEV03.

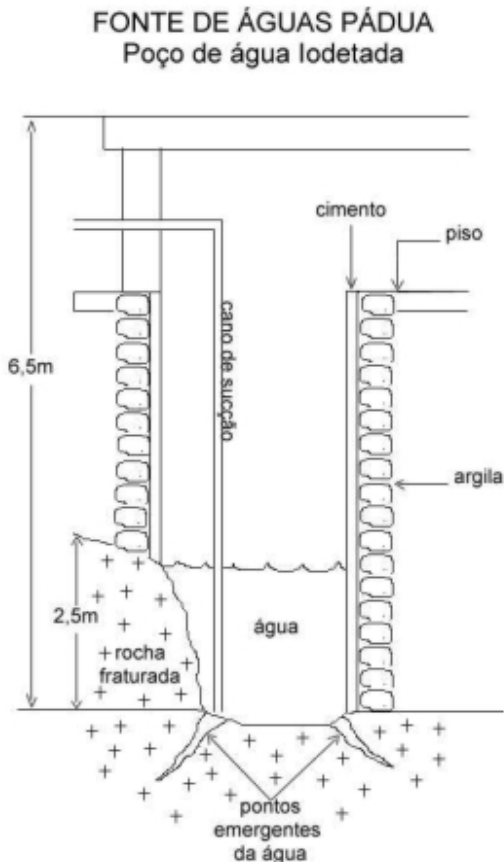


Fig. 10. Seção esquemática da fonte Pádua. A zona de captação de água encontra-se a cerca de 6,5 m de profundidade. Modificado de Empresas de Águas Pádua LTDA.

A correlação das respostas geoeletricas das Sondagens SEV-01, SEV-02 e SEV-03 ao longo de um perfil NE/SW é apresentada na Figura 11. Podemos a partir desta, observar que na sondagem SEV-03, localizada mais a Norte e nas proximidades da nascente, que o segundo nível saturado encontra-se mais raso, quando comparado à sondagem SEV-01, mais a Sul. Além disso, a camada saturada aqui interpretada, ocorre nas três sondagens e estende-se de NE para SW de 2 a 20 m de profundidade, sendo esta o principal aquífero abastecedor de água mineral. Na Sondagem SEV-03, no entanto, ocorre uma porção mais arenosa em contato com a camada argilosa, o que possivelmente promove a percolação mais eficiente da água mineral e conseqüente surgência. A SEV 03 também apresenta um terceiro nível saturado muito importante abaixo dos 40 m de profundidade.

Esta variação de valores de resistividade com a profundidade, encontrados dentro de zonas de cisalhamento, são esperados, uma vez que existe uma dinâmica de compactação e cimentação diferenciada ao longo das fraturas e falhas criadas.

Os resultados dos níveis saturados mais rasos, descritos aqui, apresentam uma correlação bastante satisfatória com o esboço do principal poço da Engarrafadora Pádua, mostrado na Figura 10. A partir deste, podemos observar que a rocha fraturada de onde mina a água mineral, encontra-se abaixo dos 4 m de profundidade, semelhante aos valores de profundidade obtidos com as sondagens elétricas.

8. Conclusões

Os resultados obtidos com os métodos geofísicos utilizados em Santo Antônio de Pádua para a caracterização das fontes de águas minerais foram bastante satisfatórios. Através da aplicação do método VLF foi possível indicar que, falhas e/ou fraturas representam o principal elemento condicionador das fontes de águas minerais locais.

A utilização de um transmissor no local do levantamento foi fundamental para a execução do mesmo, pois permitiu a realização de perfis VLF em duas direções distintas, ao contrário de levantamentos tradicionalmente realizados com o sinal transmitidos por estações internacionais que permite a investigação de somente uma direção. Foram encontradas, para a Fonte Pádua, duas zonas de falhamentos de direção Nordeste, a nascente da Fonte Pádua encontra-se encaixada em uma das zonas identificadas.

Por meio da interpretação das SEV se pôde determinar as profundidades das zonas fraturadas com plena saturação de água. Nas fontes investigadas foram determinadas duas zonas plenamente saturadas em água, abaixo discriminadas:

Zona saturada rasa, até 10 m de profundidade, esta zona é a que se encontra atualmente em produção na fonte Pádua.

Zona fraturada mais profunda, abaixo dos 40 m. As baixas resistividades obtidas indicam a saturação desse nível.

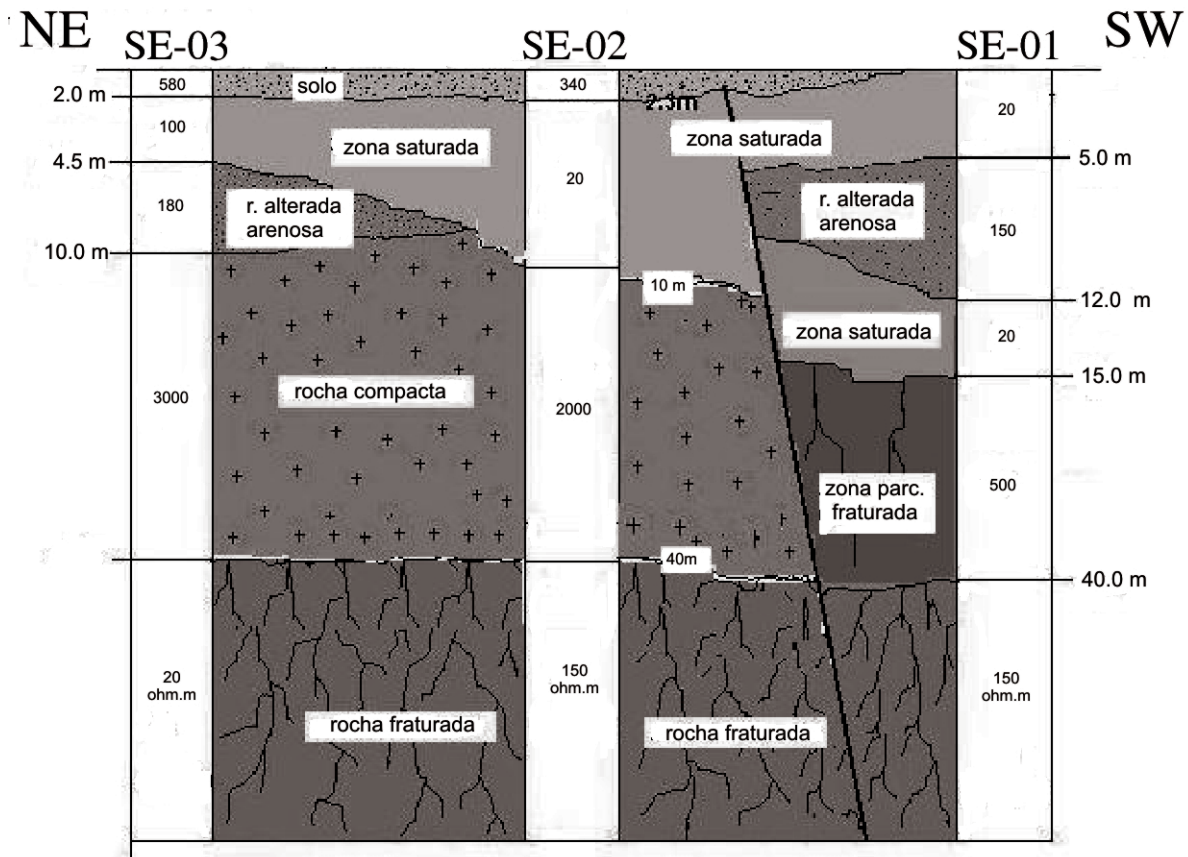


Fig. 11. Seção geolétrica esquemática, interpretada a partir da correlação entre as sondagens elétricas realizadas na fonte Pádua.

Como visto acima, os resultados das sondagens elétricas indicam claramente a existência de um nível saturado em profundidade, abaixo dos 40 m na fonte estudada. Dessa maneira, se as águas existentes nessas profundidades tiverem as mesmas características minerais presentes naquelas já captadas, existe a possibilidade de um aumento de vazão das fontes atuais, através da perfuração de novos poços que atinjam essas zonas em profundidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Prefeitura de Santo Antônio de Pádua o auxílio fornecido durante os trabalhos de campo. AO agradece a CAPES o período em que foi agraciada com uma bolsa de estudo. Os autores agradecem o inestimável apoio, no campo e em discussões técnicas, fornecido pelo geofísico Nagib Chamon.

Referências

- Chamon, N., Pupo, G., Nakanato, N. & Scarminio, M., 1986, Application of VLF-EM on the investigation of geological structures in a dam foundation. 5th International IAEG Congress, Buenos Aires, 5: 1061-1066.
- Drews, M.G.P., 1998, Eletroresistividade aplicada à prospecção hidrogeológica de terrenos cristalinos na região amazônica. 40^o Congresso Bras. Geologia, Belo Horizonte, 1: 345.
- Falcão, H., 1978, Perfil analítico de águas minerais. Rio de Janeiro, DNPM, 109p.
- Flexor, J.M., Fontes, S.L., La Terra, E.F., Germano, C.R., Drehmer, L.H., Matos, R.S. & Pinheiro, M.G.F., 1998, Estudo geofísico de parâmetros hidrogeológicos de terrenos de encosta da região serrana de Petrópolis (RJ). 40^o Congresso Bras. Geologia, Belo Horizonte, 1: 381.
- Fonseca, M.J. (Coordenador), 1998, Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:400.000. Departamento de Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, DF. 141p.
- Fraser, D.C., 1969, Contouring of VLF-EM data.

- Geophysics, 34: 958-967.
- Grossi Sad, J.H., Moreira, M.O., Figueiras, R.R. & Arantes, O., 1980, Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Folha Santo Antônio de Pádua. Niterói, DRM. (inédito).
- Karous, M. & Hjelt, S.E., 1983, Linear Filtering of VLF dip-angle measurements. *Geophysical Prospecting*, **31**: 782-794.
- La Terra, E.F., Menezes, P.T.L., Fontes, S.L. & Germano, C.R., 1998, Aplicações de métodos eletromagnéticos para estudos de água subterrânea em prospectos não condutivos: estudo de caso em diques de diabásio. 40º SBG, Congresso Bras. Geologia, Belo Horizonte, **1**: 381.
- Martins, A. M., Maurício, R. C., Filho, J. C. P. & Caetano, L. C., 1997, Águas Minerais do Estado do Rio de Janeiro. DRM-Niterói, RJ.
- Meju, M.A., 2002, Geoelectromagnetic exploration for natural resources: models, case studies and challenges. *Survey in Geophysics*, **23**: 133-205.
- Merrick, N.P., 1997, A new resolution index for resistivity electrode arrays. *Exploration Geophysics*, **28**: 106-109.
- Metello C.M.S., La Terra, E.F., Fontes, S.L., Lages, F., Feijão, E. & Borghi, L., 1998, Aspectos geofísicos do Grupo Serra Grande (Bacia do Parnaíba) na região de São Raimundo Nonato (Estado do Piauí) – método magnetotélúrico. 40º Congresso Bras. Geologia, Belo Horizonte, **1**: 381.
- Neves, F.A. & Mendonça, C.A., 1997, Levantamento GPR para determinação de fraturas em terrenos cristalinos. 5º Simpósio de Geologia do Sudeste, Penedo, **1**: 353-354.
- Ogilvy, R.D & Lee, A.C., 1991, Interpretation of VLF-EM in-phase data using current density pseudosections. *Geophysical Prospecting*, **39**: 567-580.
- Oliveira, I.B. & Olivar, A.L., 1986, Estudo das condições hidrogeológicas dos aquíferos da região de Biritinga / Pataíba-BA, utilizando métodos geofísicos elétricos. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**: 176-186.
- Oliveira, R.B.B., 1993, O uso da sondagem elétrica Schlumberger na prospecção de água subterrânea no cristalino do sudoeste da Bacia. 3º CISBGf, Rio de Janeiro, **2**: 421-423.
- Oliveira, R.B.B., 1997, Prospecção VLF, usando pseudoseções de densidade de corrente e resistividade elétrica no Karst do norte de Minas. 5º CISBGf, Rio de Janeiro, **1**: 488-490.
- Oliveira, A., Menezes, P.T.L, Pereira, R.M., Chamon, N. & Roig, H.L., 1999, Determinação do controle estrutural de fontes de água mineral: estudo de caso em Santo Antônio de Pádua. 6º CISBGf, Rio de Janeiro, CDROM, 4p.
- Phillips, W.J. & Rhichards, W.E., 1975, A study of effectiveness of the VLF method for the location of narrow-mineralized fault zones. *Geoexploration*, **13**: 215-226.
- Rigoti, A., Corrêa, F.S. & Katbeh, A., 1998, Prospecção Geofísica de aquíferos fraturados na Fm. Furnas. 40º Congresso Bras. Geologia, Belo Horizonte, **1**: 35.
- Telford, W.M.; Geldart, L.P. & Sheriff, R.E., 1997, *Applied Geophysics*, Editora McGraw-Hill, 770p.
- Zohdy, A.A.R., 1989, A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves, *Geophysics*, 54, 245-253.