



Aplicação do Método de Sondagem Elétrica Vertical para estudo de fonte hidromineral na região serrana do estado do Rio de Janeiro

David Silva Rocha¹, Nely Palermo¹, Miguel Ângelo Mane¹, Fábio Henriques Teixeira

Recebido em 20 de dezembro de 2010 / Aceito em 28 de novembro de 2011

Resumo

Este artigo trata da aplicação do método de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) para obtenção do nível freático em uma região montanhosa no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. O objetivo é compreender a acumulação de água mineral em uma nova fonte hidromineral em fase de pré-produção. Este estudo faz uma análise comparativa entre métodos diretos como mapeamento de campo e resultados de perfurações, com métodos indiretos como a geofísica (SEV) e fotointerpretação. O método SEV foi útil e eficaz para se prever os níveis das águas e sua interação com as rochas, de maneira que revelaram resultados coerentes aos dos métodos diretos realizados. Desta forma, o método SEV se utilizado em conjunto com mapeamento de campo, pode ser efetivo para a pesquisa hidromineral inicial.

Palavras - chave: Sondagem Vertical Elétrica, água mineral, resistividade

Abstract

This paper deals with the application of Vertical Electrical Sounding (VES) method to decipher the groundwater levels in a mountain region of Rio de Janeiro State, Brazil. This will help the understanding of drinkable mineral water accumulation in a new hidromineral fountain in pre production. This study makes a comparative analysis of direct methods such as field mapping and drilling results, to indirect methods such as geophysics and image interpretation. The VES method was useful and effective to predict mineral water levels and its interaction with rocks, since it revealed results very similar to the direct methods performed. So, VES method in conjunction with geological mapping can be effective for initial hydrogeological research.

Key-words: *Vertical Electrical Sounding, mineral water, resistivity.*

¹Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Caixa Postal 20550-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil. davidrocha21@yahoo.com.br Rua Doutor Mário Vianna nº 709 aptº 802 Santa Rosa - Niterói - RJ. Cep: 24241-001.

1. Introdução

O objetivo do presente artigo é apresentar a metodologia empregada no estudo de uma fonte hidromineral com vistas a obter resultados sobre o nível freático, através da aplicação do método de sondagem elétrica vertical comparado aos resultados diretos de poços tubulares. A fonte hidromineral em questão situa-se na porção central do estado do Rio de Janeiro, ao norte da Serra dos Orgãos e a leste da Serra do Paquequer, distanciando 20 km a noroeste da cidade de Nova Friburgo (Fig 1).

A produção estimada é de 100 mil garrações de 20 litros de água mineral por mês. Essa produção deverá representar aproximadamente 9% da produção do estado em 2011, considerando uma produção estadual em torno de 330 milhões de litros por ano. A demanda do estado para o período entre 2004 a 2008 foi de 450 a 500 milhões de litros anuais, segundo dados do DNPM.

2. Aspectos geomorfológicos e geológicos da área selecionada

A surgência de água em superfície despertou o interesse pela extração e a locação dos pontos de perfuração dos poços foi determinada inicialmente pela interpretação de fotografias aéreas.

A área apresenta relevo composto por morros convexos, com declividades significativas em parte da área e rampas coluvionares associadas, com espessura variando de 2,0 a 4,0 metros.

Na região os processos pedogenéticos são bem pronunciados, gerando espessas camadas de solo, com variações nas tonalidades. O solo derivado das litologias é

bem distinto, de coloração branco-rosado e rico em quartzo e feldspato no caso do granito e, solo amarronzado argiloso no caso do gabro, o que facilitou o mapeamento das unidades.

A rede de drenagem da área de estudo apresenta um padrão dendrítico à sub-dendrítico, composta por drenagens de pequeno a médio porte, chegando a 3º ordem (Fig 2).

A área esta contida no Terreno Oriental da faixa móvel neoproterózoica Ribeira. O reconhecimento de campo no entorno da fonte hidromineral, numa área de aproximadamente 4 km², determinou a predominância de leucogranitos pertencentes a Unidade Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer descrita por Tupinambá, M. (1999). Dique de rocha gabróide corta essa litologia na parte oriental da área (Fig. 3).

O leucogranito ocorre em afloramentos ou em blocos e, por vezes, encontra-se intemperizado. Compõe-se essencialmente de quartzo (40%), microclina (40%), plagioclásio (18%), e possui minerais acessórios como biotita, titanita, zircão, granada e magnetita. É comum os feldspatos estarem caulinizados. Essa rocha é em geral isotrópica (Foto 1) mas, localmente pode apresentar foliação dada pela orientação de biotitas.

O dique de gabro apresenta forma tabular, possui aproximadamente 25 metros de largura e 500 metros de extensão, e direção aproximada N28E/vertical. Apresenta granulometria grossa, coloração escura (Foto 2), e é composta por plagioclásio, ortopiroxênios (hiperstênio e possivelmente enstatita), clinopiroxênios (augita), biotita, clorita e opacos. Os minerais acessórios são hornblenda, quartzo, titanita, apatita e clorita.



Fig. 1 - Localização da área de estudo. Fonte: TurisRio (Companhia de Turismo do Estado do Rio de Janeiro).

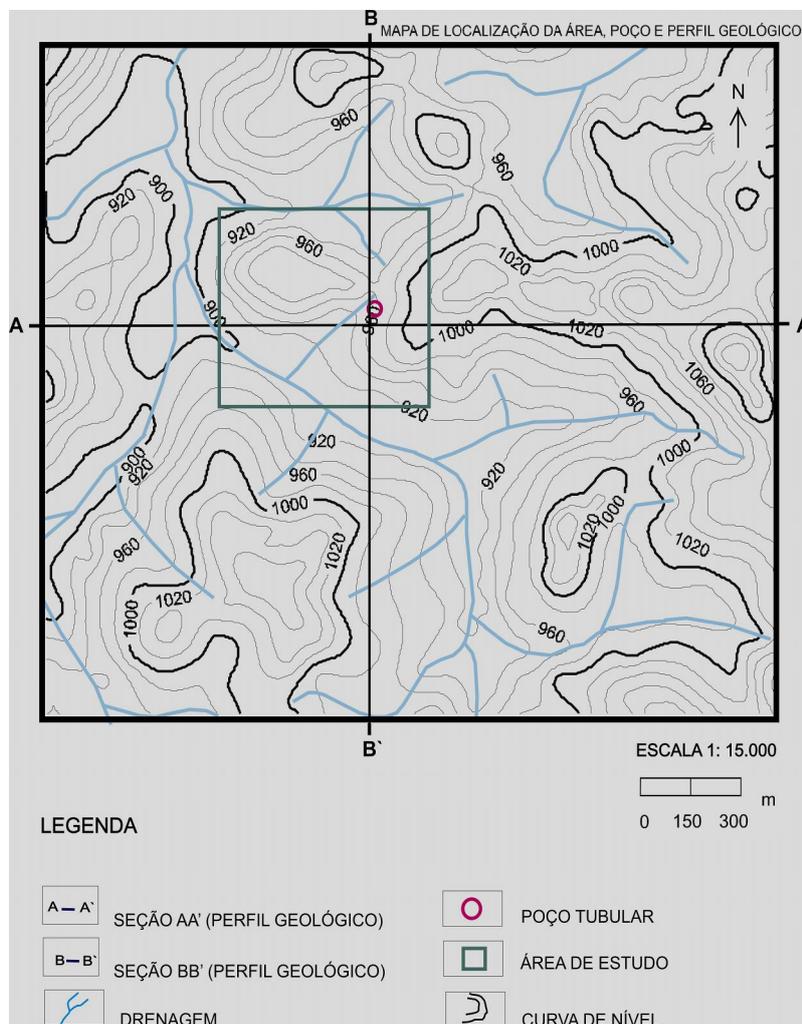


Fig. 2 - Mapa topográfico gerado pelo software Surfer, com base em carta do IBGE.

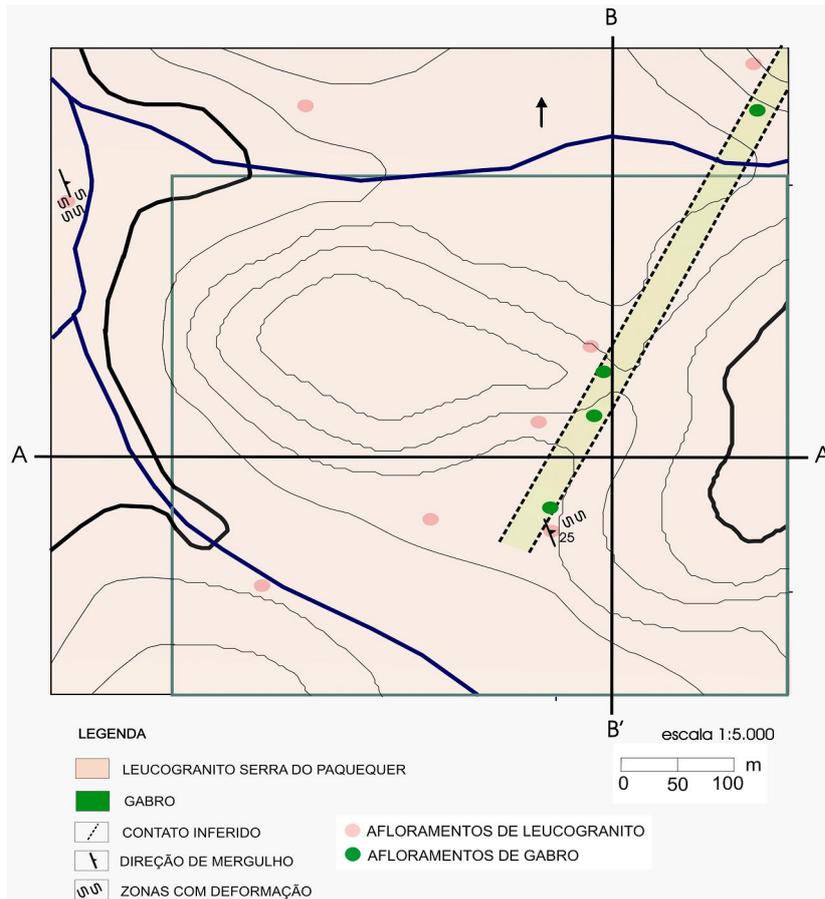


Fig. 3 - Mapa geológico da área de estudo.



Foto 1 - Textura isotrópica do leucogranito.

Foto 2 - Detalhe do arranjo mineralógico do gábro.

Ocorre intercrescimento de quartzo com plagioclásio (mirmekita), este usualmente em forma de prismas alongados. Os piroxênios tem até 1,2 mm, e os plagioclásios até 3 mm, indicando predominância de granulometria média a grossa.

No campo, observa-se pelo menos uma fase de deformação dúctil-rúptil formando

faixas de cisalhamento decimétricas a métricas com direção N160E/25NE afetando principalmente o leucogranito. Esse evento de natureza dúctil-rúptil desenvolve localmente foliação milonítica no leucogranito (Foto 3). A deformação rúptil (fraturas sem preenchimento) foi observada localmente com direção preferencial NE-SW. A direção de

Revista de Geologia, Vol. 24 (1), 2011

intrusão do dique de gabro (N28E/vertical) é uma das direções observadas na fotointerpretação.



Foto 3 - foliação milonítica e fraturamento no leucogranito.

A fotointerpretação sugere que a região apresenta um padrão de fraturamento segmentado em dois sets (Fig 4). O principal set tem a orientação NE-SW. O set secundário é marcado por fraturas NW-SE. Em ambos os casos, a direção do mergulho é variável com o ângulo de caimento girando de 45° a 70°. O padrão das drenagens é provavelmente derivado deste fraturamento.

3. Análise dos dados de sondagem e poço de captação de água

Com base na fotointerpretação e análise dos dados de campo, foi determinado o local da perfuração por sondagem rotativa e abertura do poço tubular (Fig. 4).

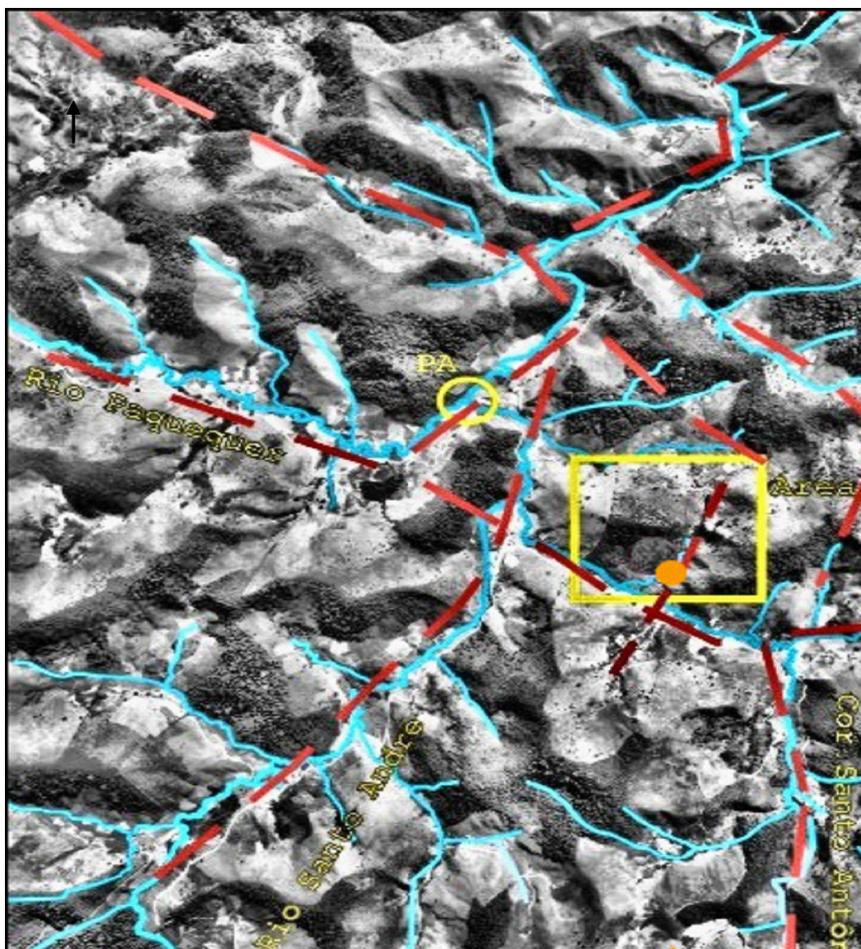


Fig. 4 - foto aérea, mostrando as feições estruturais.

LEGENDA

-  Área dos Poços Tubulares.
-  Área de Pesquisa.

-  Falha / Fratura.
-  Rios / Drenagens.

escala = 1:10.000

A sondagem rotativa atingiu 94 metros de profundidade, com nível d'água a 1,00 metro e forneceu uma descrição das camadas de solos e rochas (Fig.5). A granulometria do solo é fina nos primeiros 3,5 metros com presença de blocos e depois varia de fina a grossa, com blocos de quartzo, estendendo-se até 12 metros. A partir daí, ocorre rocha caulinizada (provavelmente leucogranito intemperizado) com vênulas de quartzo até a profundidade de 16 metros. Em seguida, ocorre o leucogranito maciço. As principais fraturas condutoras de água, apresentadas na perfuração do poço tubular foram localizadas nos intervalos de: 16-17m (interface rocha intemperizada – rocha sã), 34-35m e 81-82m. A análise hidrogeoquímica efetuada no laboratório da PUC - RJ caracterizou a água como mineral fluoretada.

Aquisição e análise de dados de eletrorresistividade

No contexto geológico, a resistividade aparente é calculada com o objetivo da análise de diferentes tipos de sedimentos e rochas em subsuperfície, e suas interações com possíveis depósitos minerais, pela variação da resistividade através destas camadas geológicas.

São fixados dois eletrodos no solo (AB) para injeção da corrente elétrica contínua e fixados outros dois eletrodos (MN) para medição, dispostos entre os eletrodos A e B.

A resistividade aparente $\rho\alpha$ é calculada através do tipo de disposição dos eletrodos (K), da corrente elétrica injetada no solo (IAB) e a voltagem medida (ΔMN) entre os eletrodos M e N, pela Equação (1).

$$\rho\alpha = K (\Delta MN / IAB), (\Omega.m) \quad (1)$$

Onde K é o coeficiente geométrico definido por:

$$K = 2\pi [1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN]^{-1}, (m)$$

ou

$$K = \pi [AM.AN/MN], (m).$$

O método de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) é um método geofísico terrestre de fácil transporte e utilização. Utilizou-se o arranjo Schlumberger, onde os eletrodos de corrente têm aberturas variáveis e os de potencial, aberturas fixas. O terreno, íngreme, possuía cercas de arame e blocos de pedra, dificultando a escolha dos pontos para as medições.

Foram medidos 7 pontos (Fig. 6) e abertura dos eletrodos de corrente em até 120 metros (Tab. 1). Os *softwares* livres utilizados para o tratamento dos dados geofísicos foram o “SE”, desenvolvido no laboratório de geofísica da Faculdade de Geologia da UERJ (LAGEX) e “IPI2win”, desenvolvido pela *Moscow State University*.

O *software* “IPI2win” calcula automaticamente os valores de K e $\rho\alpha$ pelo tipo de arranjo escolhido (Schlumberger) e o *software* “SE” gera um gráfico de profundidade x resistividade (modelo inverso 1D – Figs. 7 e 8).

Através do comportamento dos materiais com a passagem de corrente elétrica, obtém-se gráficos, onde valores mais altos de resistividade indicam maior resistência à passagem da corrente elétrica e valores mais baixos indicam maior condutividade. Em estudos direcionados a obtenção de água mineral, o intervalo de possibilidade para água fresca varia entre 4 a 100 ohms.m, enquanto valores acima de 10^2 , 10^3 ohm.m, mais resistivos, indicam rocha alterada e rocha sã.

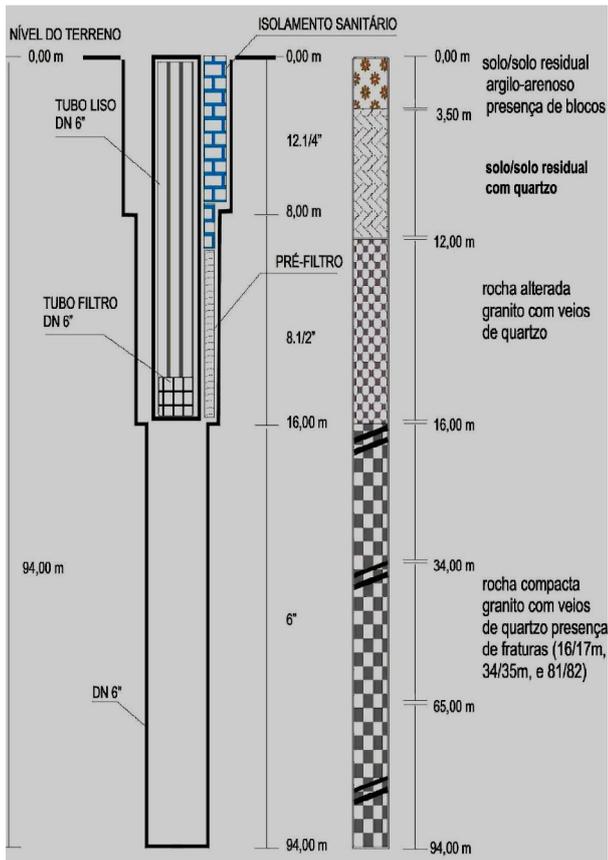


Fig. 5 - características do poço tubular e perfil geológico de sondagem.

Tab. 1 - Exemplo de tabela de aquisição dos dados.

Sondagem Elétrica Vertical	Data: 14/09/2007	Área: Serrana	Cota: 949 m	Azimute: N - S
Instrumento da Uerj		Ponto 4		
MN/2 (m)	AB/2 (m)	K	I	ΔV
0,3	1	20 k	25,2	0,2
	1,2		18,3	0,22
	1,5		23,2	0,27
	2		24,2	0,32
	2,5		24,4	0,29
	3		23,5	0,32
	4		22,8	0,24
	5		30,2	0,25
1	5		29,5	0,25
0,3	6		23,5	0,43
1	6		23,5	0,19
	8		30,8	0,13
	10		32,6	0,09
	12		29	0,05
	15		34,7	0,05
3	15	34,6	0,11	
1	20	32,9	0,02	
3	20	32,8	0,3	
	25	77,2	0,1	
	30	35,6	0,2	
	40	36,1	0,22	
	50	49,8	1,9	
	60	200 k	25,7	3,2

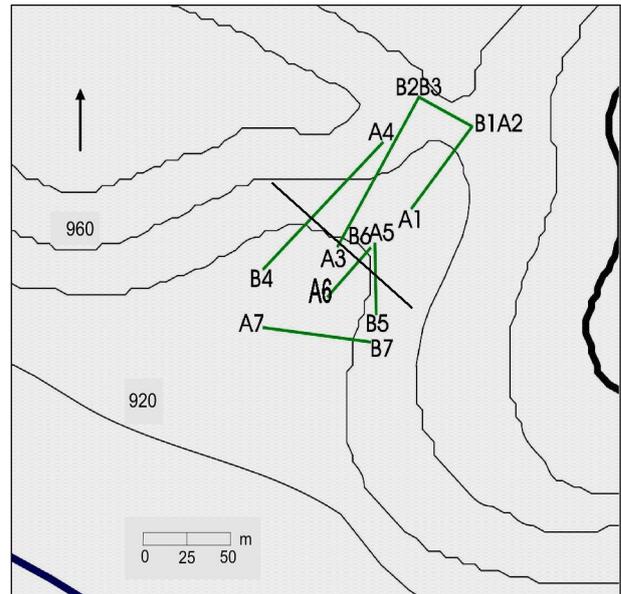


Fig. 6 - Mapa da área com a localização das medições de resistividade. Escala 1:2.500.

No mapa da Figura. 6 encontram-se os perfis do método de eletrorresistividade, com as linhas de abertura dos pontos e uma seção de resistividade das Sondagens Elétricas Verticais.

No ponto 3 (Fig. 7), os valores mais condutivos estão no primeiro metro e em torno dos 3 metros de profundidade. Entre 5 e 8 metros ocorre o intervalo para possibilidade de água. Após 10 m os valores indicam rocha alterada próxima ao embasamento (rocha sã).

No ponto 4 (Fig. 8) os valores indicam a possibilidade de água em maior profundidade, de 10 a 15 metros. Abaixo de 20 m os valores de resistividade indicam rochas do embasamento.

Na interpretação da seção de resistividade (Fig. 9) pode-se evidenciar o desnível do terreno e a possibilidade de ocorrência de água nas camadas inconsolidadas.

Modelo geológico hidrodinâmico

Fig. 7 - curva de resistividade e modelo inverso 1D do ponto 3.

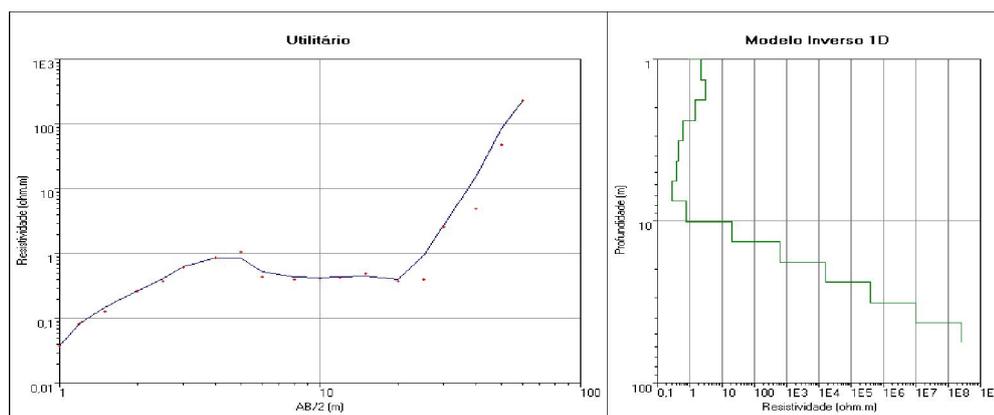
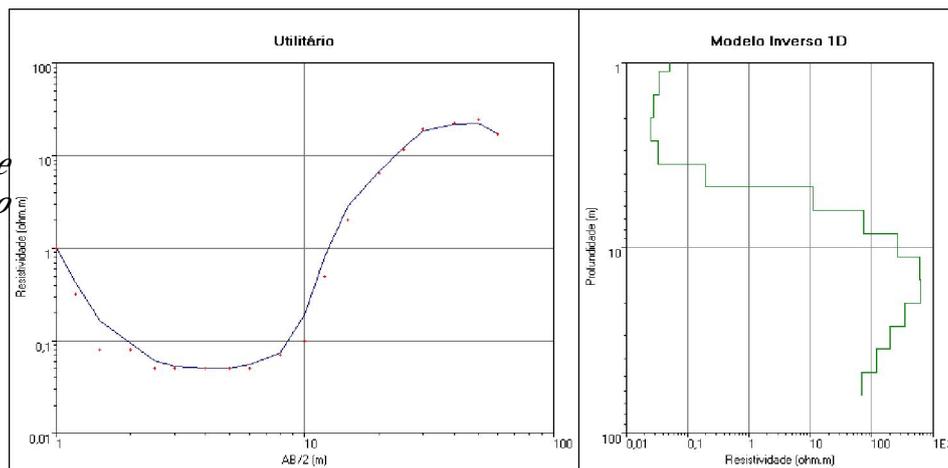


Fig. 8 - Curva de resistividade e modelo inverso 1D do ponto 4 utilizando o software SE.

Para a elaboração do modelo geológico hidrodinâmico foram utilizados os dados obtidos a partir de fotointerpretação, além de dados topográficos, geológicos de superfície e de subsuperfície e corroborados com os resultados da geofísica.

Os dados geológicos e hidrodinâmicos de subsuperfície foram obtidos a partir da sondagem rotativa e perfuração do poço tubular. Com auxílio do software *Surfer* foi feito o modelo geológico hidrodinâmico em 3D do terreno estudado, nas direções W-E e N-S.

A Fig. 10 mostra uma interpretação da interação geológica com as componentes de recarga principais. As setas correspondem a fluxos superficiais, com componentes principais oriundas do leste (e norte, no terreno em questão). Os rios são efluentes, alimentados por fluxos locais nas drenagens W-E e N-S e seguem nas direções oeste e norte.

As setas tracejadas são interpretações de fluxo subterrâneo, resultado da infiltração primeiramente no solo, e da condução de água ao longo de camadas permeáveis, principalmente em fraturas abertas e/ou falhas com espaçamento.

As linhas tracejadas mostram os níveis d'água antes (estático) e após o bombeamento no poço (dinâmico).

A intrusão do gabro favorece a condição de recarga e acúmulo com sua estrutura NE-SW, atuando como condicionante da direção do fluxo que provêm do norte e como barreira do fluxo leste. A água também percola preferencialmente pela direção das fraturas NE-SW.

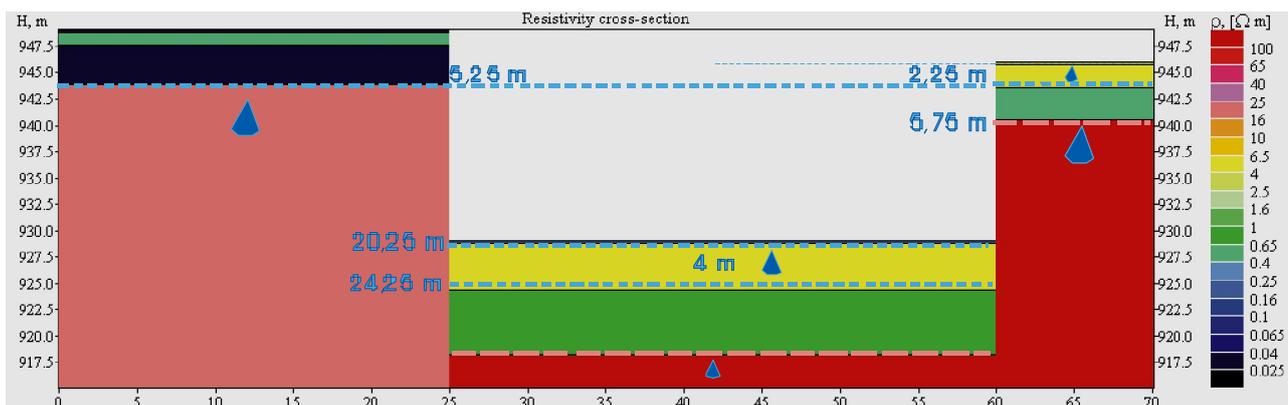


Fig. 9 - Seção de resistividade W-E a partir dos pontos 4,5 e 6 ao sul da área em questão, utilizando o software IPI2Win.

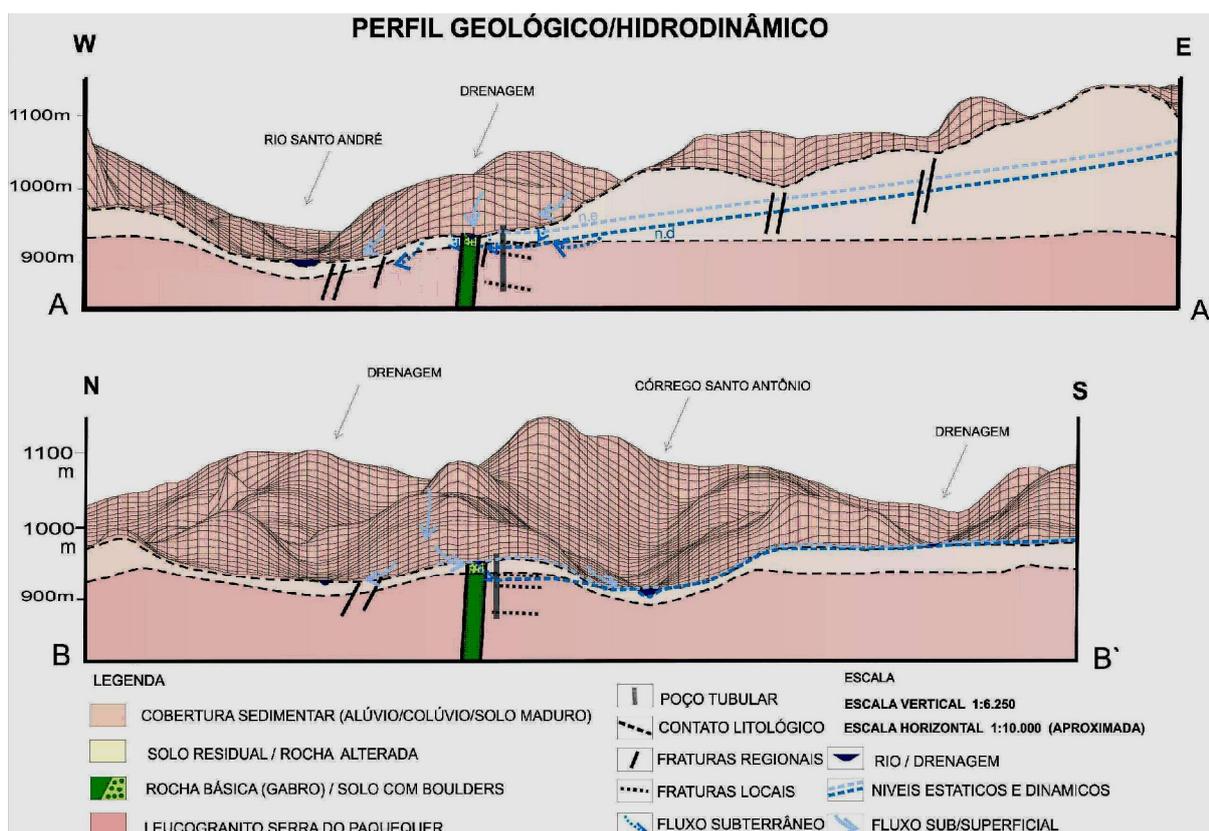


Fig. 10 - Perfil Geológico/Hidrodinâmico da área em estudo.

4. Conclusões

Os resultados geofísicos indicaram pelos gráficos inversos (profundidade X resistividade) a possível presença de água dos 2 aos 15 metros de profundidade, e a presença de rochas aos 13 metros. Pela seção de

resistividade obtida pelo *software* IPI2Win (cujos parâmetros são distância, profundidade e resistividade), a possibilidade de água na porção leste da seção ocorre em camadas de 2,25 até 5,75 metros de profundidade. Na porção oeste da seção, há possibilidade de água a partir de 5,25 m até pelo menos 30 metros de profundidade.

Estes valores em profundidades de até 5 metros indicam uma possível infiltração inicial nos sedimentos ou uma variação de nível d'água nas camadas sedimentares (nível dinâmico). Valores superiores a 13 metros indicam que a água foi conduzida para o interior de rochas através de fraturas/contatos, o que revela um possível aquífero do tipo cristalino não confinado, preenchido por águas minerais fluoretadas.

A aplicação do método de sondagem elétrica vertical foi útil e eficaz para se prever a possibilidade de água e sua interação com as rochas, pois revelou resultados muito semelhantes com os resultados de métodos diretos realizados. Portanto, este método em conjunto com mapeamento geológico, é eficaz para pesquisas hidrogeológicas iniciais.

Os resultados obtidos auxiliaram no entendimento das condicionantes ao acúmulo de água mineral potável em uma nova fonte hidromineral em fase de pré-produção, na região serrana do estado do Rio de Janeiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Água Mineral Preciosa, que cedeu os resultados dos poços de captação de água com informações sobre a análise química da água, além de dados econômicos sobre a vazão, produção e abastecimento.

Referências Bibliográficas

- Feitosa, F. A. C., *Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações*. cap4, Pesquisa de Água Subterrânea - Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais CPRM, LABID, UFPE, 1997.
- Figueira, J.E.E., *Educação Ambiental na Indústria*. Monografia de Pós-Graduação em Planejamento e Educação Ambiental. Faculdade de Filosofia Santa Dorotéia - Departamento de Geografia, Nova Friburgo - RJ, 2003.
- Heilbron, M., Machado, N., *Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic - Eopaleozoic Ribeira orogen (se Brazil)*. Precambrian Research 125 (87-112), 2003.
- Heilbron, M., Mphriak, W.U., Valeriano, C.M., Milani, E.J, Almeida, J., Tupinanbá, M., *From Collision to Extension: The Roots of the Southeastern Continental Margin of Brazil*. Atlantic Rifts and Continental Margins Geophysical Monograph 115, 2000 by the American Geophysical Union
- IPI2Win. Resistivity Sounding Interpretation. Moscow State University 2003, (User's manual).
- Luzio, R.G., *Aferição do método VLF para determinação de zonas fraturadas em rochas cristalinas*. Monografia de graduação em Geologia. Faculdade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2002.
- Martins, A.M., Maurício, R.C., Mansur, K.C., Caetano, L.C., Silva, J.D., Pimenta, T.S., Erthal, F.L.C., Filho, J.C.P., *Águas Minerais do Estado do Rio de Janeiro*. DRM - RJ. Niterói, 2006.
- Rocha, D.S. *Prospecção para água mineral: estudo de caso na região serrana do estado do Rio de Janeiro*. Monografia de conclusão de graduação. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Geologia, Rio de Janeiro - RJ, 2008.
- Sacasa R.; Moura, H.; Oliveira M.; Rosário J.; Souto A. Aplicação de sondagens elétricas de resistividade no estudo dos recursos hídricos subterrâneos da localidade de Marabaixo III – Macapá / AP.
- Silva, L.C., *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM. 2ª edição revista em 2001. (CD-ROM) Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil /Departamento de Recursos Minerais - RJ.
- Teixeira, W., Karmann, I., *Decifrando a Terra*. Cap7, Ciclo da Água, Água Subterrânea e sua ação geológica. Oficina de textos, São Paulo - SP, 2000.
- Tupinanbá, M., *Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, São Paulo - SP, 1999.

