



## SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL APLICADA AOS ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE JENIPAPO DE MINAS

Jorge L. S. Gomes; Fábio P. Vieira; Valiya M. Hamza, Observatório Nacional.

Copyright 2016, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

### Abstract

This paper presents results of geophysical studies, considered essential for verifying conditions appropriate for construction of underground dams in the municipality of Jenipapo de Minas. The activities carried out include topographic and electrical resistivity surveys in the dry bed of the stream known as Corrego de Bolas, near the village Martins Farinheira. The studies have revealed the existence of a soil layer of 2 to 6 meters thick of high permeability, overlying basement rocks of low permeability. This layer allows horizontal flow of water infiltrating from the stream. The proposed construction of underground dam should cut this horizontal flow and allow storage of water that can be extracted for domestic consumption.

### Introdução

Os Vales do Jequitinhonha e Mucuri se encontram em regiões semiáridas com precipitações pluviométricas escassas e concentradas dos meses de outubro a abril, além de elevada taxa de evaporação regional. Em relação às águas superficiais a rede de drenagem do município é do tipo dendrítico predominante, e em menor escala retangular e paralela. O curso d'água mais importante é o Rio Setúbal, havendo disponibilidade de água superficial. Diversas perfurações de poços foram efetuadas nas últimas décadas na tentativa solucionar problema de falta de água em locais afetados pela seca. O mapa da Figura (1) ilustra os locais de poços na região com destaque para o município de Jenipapo.

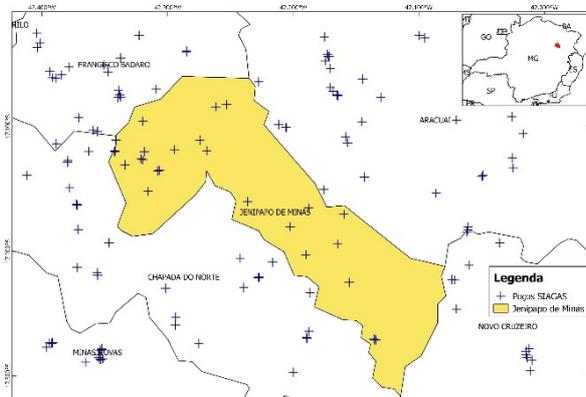


Figura 1 – Localização dos poços a nível regional com destaque para o Município de Jenipapo de Minas.

Na área do município de Jenipapo ocorrem diversos córregos que se configuram como intermitentes. Contudo, foram constatados indícios de fluxos de águas pluviais nas camadas de subsolo, mesmo em períodos de seca. Na Figura (2) apresenta-se fotos do leito do Córrego Bolas (nas proximidades da comunidade Martins) no período de seca.



Figura 2 – Fotos do leito do Córrego Bolas: vista longitudinal (cima) e transversal (baixo).

Neste contexto a opção de construção de barragem subterrânea configura como alternativa atraente ao acesso a água. A barragem subterrânea impede o fluxo subterrâneo intermitente de um aquífero pré-existente ou criado concomitantemente com a construção da barreira impermeável no subsolo. A grande vantagem da barragem subterrânea, em comparação com a opção mais comum de poços artesianos, é a possibilidade de captação de águas proveniente de precipitações, que ocasionam fluxos intermitentes no subsolo, permitindo assim um aproveitamento mais racional das águas pluviais em regiões de clima semiárido.

### Aspectos hidrogeológicos da área de estudo

Em relação às águas subterrâneas no município de Jenipapo de Minas podem-se distinguir dois domínios hidrogeológicos: 1) de rochas metamórficas do Neoproterozóico e granito do Paleozóico; 2) de coberturas detriticas do Cenozóico. Os aquíferos nesses domínios

podem ser enquadrados nos sistemas granular e fissurado. O sistema aquífero fissurado ocorre em toda extensão do município estando relacionado às rochas xistosas do Grupo Macaúbas (Formação Ribeirão da Folha) e ao granito Mangabeiras. De um modo geral, apresenta baixo potencial hidrogeológico, sendo as feições estruturais responsáveis por variações locais de produtividade. O potencial hidrogeológico é dependente da densidade e intercomunicação das descontinuidades, aspecto que geralmente se traduz em reservatórios aleatórios e de pequena extensão (CPRM, 2005).

O sistema de aquífero granular é representado por sedimentos pouco consolidados que constituem as coberturas detríticas de composição areno-argilosa, eventualmente laterizadas. Em termos hidrogeológicos possuem porosidade primária e boa permeabilidade.

### Metodologia

Na fase inicial deste trabalho foi realizado levantamentos de dados sobre poços na região, utilizou-se o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Na segunda fase foram realizados levantamentos topográficos dos alvos selecionados. Utilizou-se o equipamento de Nível Topográfico CST/Berger com alcance de 90 metros nos caminhamentos topográficos. Este equipamento permite medições de desníveis com precisão de 2 mm.

Na terceira fase foram realizadas sondagem elétrica vertical e levantamentos de gradiometria magnética. Os princípios desses métodos se encontram descritos em livros textos de geofísica aplicada (TELFORD ET AL, 1976; DOBRIN & SAVIT, 1988; KEAREY ET AL, 2002; MILSOM, 2003; LOWRIE, 2007; BRAGA, 2001; BRAGA, 2016). A técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) permite investigar a variação vertical de resistividade em subsuperfície. Foi utilizado o arranjo Schlumberger por permitir maior facilidade de operação e melhor eficácia, estando menos sujeito às interferências no campo, sendo que é usado amplamente nos trabalhos de campo aplicados à hidrogeologia.

No presente trabalho as sondagens foram realizadas ao longo de um perfil transversal ao alvo escolhido. Utilizamos o resistivímetro Geotest RD300A, com separação de eletrodos de 2 a 5 metros. O software IPI2win permitiu o processamento dos dados de resistividade adquiridos em campo.

### Resultados

#### Dados de poços

Os perfis de poços foram extraídos da base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. No total foram localizados 138 poços na região, sendo 24 poços identificados no sistema fissurado do município de Jenipapo. As localizações dos poços levantados estão indicados na figura (1).

Dos 24 poços identificados no sistema fissurado do município de Jenipapo somente 13 possuem dados de

vazões, que variam de 1,8 a 31,68 m<sup>3</sup>/h, com média de 10,12 m<sup>3</sup>/h. Foram identificados 18 poços tubulares no Município de Jenipapo de Minas, com dados de profundidade variando de 21,6 a 109m.

Identificou-se que 7 poços tinham perfil litológico, com presença de solo arenoso, solo argiloso, gnaisses, xisto, quartzito e rochas intemperizadas e decompostas na região.

Próximo ao local do levantamento geolétrico, na margem esquerda do Córrego Bolas existe um poço, na qual identifica a presença de solo arenoso com espessura de 5,4 m seguido por rocha impermeável (xisto) até a profundidade de 104 m.

#### Levantamento topográfico

O resultado do levantamento topográfico local e localização das sondagens elétricas verticais podem ser visualizados no mapa da figura (3).

Na caracterização topográfica da área do Córrego Bolas (nas proximidades da comunidade Martins) foram realizados 4 perfis altimétricos com um total de 83 pontos cotados. Foi realizada uma interpolação triangular (TIN) com base nos pontos cotados para geração de um mapa hipsométrico e de curvas de nível da área.

As variações dos desníveis no leito do córrego eram menores que 50 cm. Os desníveis observados entre o leito do Córrego Bolas e bordas adjacentes variam de 3 a 6 metros. A borda oeste apresentou desnível maior do que a borda leste.

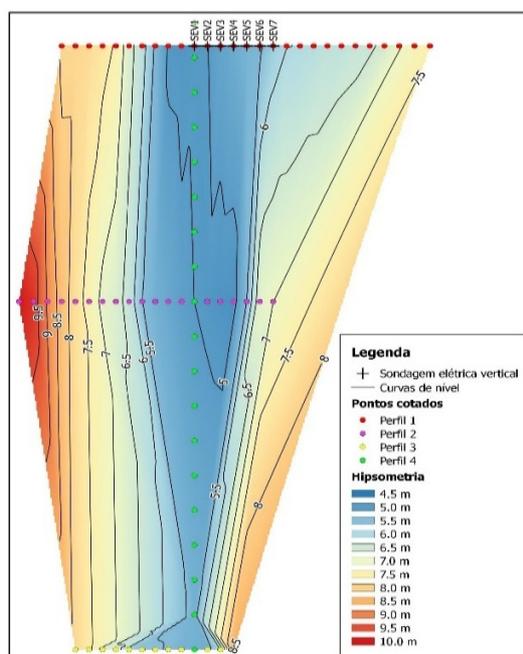


Figura 3 – Levantamento topográfico indicando o local e localização das sondagens elétricas verticais.

**Perfil Geoelétrico**

Na terceira fase de aquisição de dados foram realizados levantamentos de eletrorresistividade no leito seco do Córrego Bolas, nas proximidades da comunidade Martins. Foram efetuadas 7 sondagens elétricas, com distância entre perfis verticais de 2 metros. As variações na resistividade aparente com aumento na separação de eletrodos são indicadas na Figura (4). De modo geral, a resistividade aparente aumenta com a separação de eletrodos, mas a forma de variação é complexa. Indica que meio geológico em subsuperfície é caracterizado por variações significativas nas suas propriedades físico-químicas. A sondagem SEV 2 apresentou aumento inicial na resistividade, seguida por intervalo de decréscimo. A sondagem SEV 4 apresentou um aumento significativo na resistividade para separação de eletrodos de 8 a 11 metros.

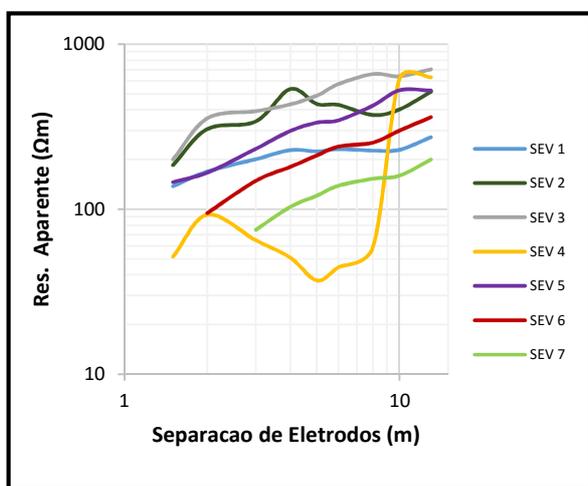


Figura 4 – Resistividade aparente em função da separação dos eletrodos de correntes.

As 7 curvas obtidas das sondagens elétricas verticais da área de estudo foram interpretadas qualitativamente. O resultado revelou de 2 a 4 camadas geoelétricas em subsuperfície. Foram obtidos 4 tipos diferentes de curvas, uma do tipo simples ( $\rho_1 < \rho_2$ ), quatro do tipo A ( $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ), uma do tipo AA ( $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ ) e uma do tipo HA ( $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ ). 72% de todas as curvas obtidas na área de estudo pertencem ao tipo A e AA, restando 28% que pertencem aos 2 outros tipos de curvas.

A tabela (1) apresenta o número de camadas, resistividade aparente (pa), espessura das camadas, profundidade e a possível descrição geológica do modelo interpretativo das SEVs. Sendo o topo rochoso representado por rocha xistosa do grupo Macaúbas e o aquífero em potencial para armazenamento de água para a barragem subterrânea representado por solo arenoso e sedimentos detríticos.

Os resultados do levantamento (ilustrado na figura 5) indicam que a resistividade aparente possui valores de 100 a 200Ωm na parte central do Córrego Bolas até cerca de 8m de profundidade. A borda leste do leito também

apresentou valores de resistividade baixa. A camada de baixa resistividade em todo o pseudo-perfil estende desde a superfície até profundidades que variam de 2 até 10 metros.

Os valores de resistividades acima 400 Ωm indicam camadas impermeáveis (confinantes) deste córrego, onde se aflora o embasamento cristalino.

Tabela 1 – Modelo interpretativo das SEVs.

	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
SEV1	1	128	1,25	1,25	Solo arenoso
	2	249	2,34	3,59	Sedimentos Detríticos
	3	408	9,08	12,67	Emb. Fraturado
	4	1016			Emb. Compacto
SEV2	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
	1	98,6	0,62	0,62	Solo arenoso
	2	670	3,59	4,21	Emb. Fraturado
SEV3	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
	1	145	0,84	0,84	Solo arenoso
SEV4	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
	1	63,5	1,48	1,48	Solo arenoso
	2	44,1	1,56	3,04	Solo arenoso
	3	256	5,12	8,16	Sedimentos Detríticos
SEV5	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
	1	99,2	0,88	0,88	Solo arenoso
	2	429	2,27	3,15	Emb. Fraturado
SEV6	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
	1	79,3	0,98	0,98	Solo arenoso
	2	277	5,95	6,93	Sedimentos Detríticos
SEV7	Nº	pa	Esp. (m)	Prof. (m)	Descrição
	1	36,9	1,23	1,23	Solo arenoso
	2	313	8,25	9,48	Sedimentos Detríticos

**Análise dos Resultados**

Na aplicação de métodos geofísicos para exploração de águas subterrâneas é prática comum considerar que as camadas de baixas resistividades identificadas nas sondagens elétricas verticais indicam presença de água no subsolo. De acordo com esta prática consideramos que os valores de resistividade menores que 150 Ωm entre as verticais 1 e 7, indicam presença de água no subsolo. Acredita-se que a espessura da camada portadora de água em subsuperfície varia de 0,62 até 9,48 metros.

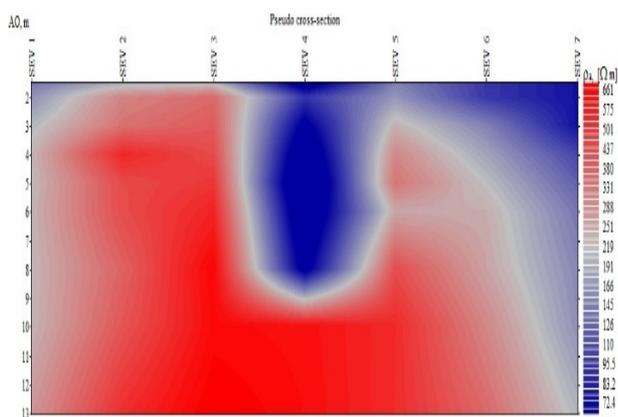


Figura 5 – Mapa da resistividade elétrica do subsolo.

Escavações rasas no leito de córrego indicaram a presença de água, confirmando os resultados das sondagens elétricas verticais. Apresenta-se na Figura (6) um exemplo de escavação rasa. Esta observação está sendo considerada como indicio da existência de águas subterrâneas no local de pesquisa, o que justificaria a construção de barragens subterrâneas neste local.



Figura 6 – Escavação rasa indicando presença de água no subsolo do leito seco do Córrego de Bolas.

Os valores de resistividades acima 400  $\Omega\text{m}$  indicam o topo rochoso do embasamento, no caso embasamento xistoso do Grupo Macaúbas. Uma maior variação da profundidade do topo rochoso foi identificada entre as sondagens elétricas verticais 3 e 7. O embasamento cristalino deve ser de pouca permeabilidade e porosidade. As variações topográficas deste embasamento encontram-se cobertas por sedimentos transportados em processos de erosão fluvial. É possível que a ação de episódios de erosão por fluxo fluvial, em tempos passados, foi responsável pelo encobrimento do topo rochoso do embasamento cristalino.

A figura (7) ilustra o perfil das camadas em subsuperfície baseado no modelo interpretativo das SEVs, sendo a espessura do aquífero livre no leito do Córrego Bolas representado pelas camadas de solo arenoso e sedimentos detríticos (hachuras em azul).

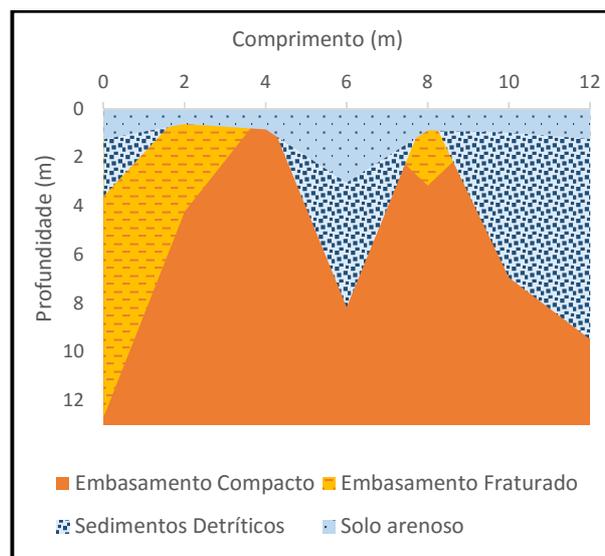


Figura 7 – Perfil mostrando a espessura do aquífero livre no leito do Córrego Bolas.

Tabela 2 – Espessura da camada sedimentar.

SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5	SEV6	SEV7
3,59	0,62	0,84	8,16	0,88	6,93	9,48

A tabela (2) apresenta a espessura da camada sedimentar portadora de água em todas as SEVs. A espessura foi baseada no modelo interpretativo de cada SEV.

#### Viabilidade de Construção de Barragem Subterrânea

Existem indícios de que os fluxos subterrâneos de águas nas camadas de subsolo possuem velocidades significativas, não permitindo retenção de água nos períodos longos de seca. A finalidade da construção da barragem subterrânea proposta é impedir este fluxo, permitindo retenção de águas pluviais nas camadas do subsolo por períodos maiores nas épocas de seca. Isso também deverá viabilizar o bombeamento dessas águas para cisternas já existentes da comunidade.

O esquema de barragem subterrânea proposto para a região de Jenipapo de Minas se encontra ilustrado na Figura (8). Propõe-se escavação de uma vala de 6 metros de profundidade e com largura de 12 metros. A impermeabilização poderá ser realizada através de concretagem ou com instalação de tapume plástico.

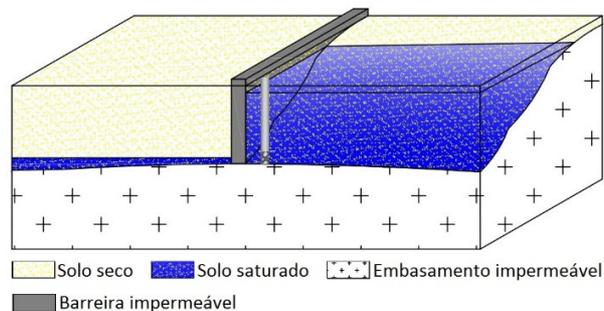


Figura 8 – Modelo proposto da Barragem Subterrânea.

## Conclusões

Os poços identificados no sistema fissurado do município de Jenipapo de Minas apresentam dados de vazões, que variam de 1,8 a 31,68 m<sup>3</sup>/h e presença de solo arenoso, solo argiloso, gnaisses, xisto, quartzito e rochas intemperizadas e decompostas na região. Próximo ao local do levantamento geoeletrico, identificou-se um poço, com solo arenoso com espessura de 5,4 m seguido por rocha impermeável (xisto).

A topografia da área do Córrego Bolas foi caracterizada por 4 perfis altimétricos com um total de 83 pontos cotados, que gerou um mapa hipsométrico e de curvas de nível, na qual apresentou um baixo desnível ao longo do leito do Córrego Bolas, uma calha bem definida e linearidade do córrego no trecho levantado.

O levantamento geoeletrico indicou uma baixa resistividade (menor que 150  $\Omega$ m) entre as verticais 1 e 7, provavelmente pela presença de uma camada arenosa saturada por água no subsolo. Acredita-se que a profundidade da camada portadora de água em subsuperfície varia de 0,62 até 9,48 metros no local de estudo.

Foram reunidas evidencias que confirmam a presença de uma camada que possui boa porosidade e permeabilidade para armazenamento de águas subterrâneas, no leito do Córrego Bolas, na proximidade da comunidade Martins Farinheira, no município de Jenipapo de Minas. Os resultados são considerados como uma indicativa das condições favoráveis para construção de barragem subterrânea neste local.

## Agradecimentos

O trabalho está sendo realizado como parte do projeto de doutorado do primeiro autor no Departamento de Geofísica do Observatório Nacional – ON/MCTI. Os levantamentos de campo foram realizados com apoio operacional da Prefeitura de Jenipapo de Minas e do Grupo de Estudos e Pesquisas em Geociências e Engenharia dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – GEOVALES.

## Referências

- BRAGA, A. C. O. 2001. Métodos Geoeletricos Aplicados – Módulo: Hidrogeologia. UNESP, Rio Claro.
- BRAGA, A. C. O. 2016. Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia. Oficina de Textos, São Paulo.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005. Diagnóstico do município de Jenipapo de Minas, MG. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Vale do Jequitinhonha.
- DOBRIN, M.; SAVIT, C. H. 1988. Introduction to geophysical prospecting. Fourth ed. McGraw-Hill Book Co.
- LOWRIE, W. 2007. Fundamentals of geophysics. Second ed. Cambridge University Press, New York.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration. 3 ed. UK: Blackwell Publishing Company.
- MILSOM, J. 2003. The Geological Field Guide Series. 3ed. John Wiley & Sons Ltd.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, X. 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press, London.