



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 12 – Ano VI – 10/2017
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Barragens subterrâneas para captação de recursos hídricos no subsolo do Município de Jenipapo de Minas - Brasil

Prof. Jorge Luiz dos Santos Gomes
Doutorando em Geofísica pelo Observatório Nacional – ON/MCTIC
Docente do Instituto de Ciência Engenharia e Tecnologia – ICET
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/7107455057259788>
E-mail: jorge.gomes@ufvjm.edu.br / jorgegomes@on.br

Fábio Pinto Vieira
Doutor em Geofísica pelo Observatório Nacional – ON/MCTIC
Pesquisador do Observatório Nacional – ON/MCTIC
<http://lattes.cnpq.br/4813644706667026>
E-mail: fabiovieira@on.br

Valiya Mannathal Hamza
Pós-Doutorado em Geofísica pela University of Western Ontario – UWO
Pesquisador Emérito do Observatório Nacional – ON/MCTIC
<http://lattes.cnpq.br/1540102799922645>
E-mail: hamza@on.br

Resumo: Recursos hídricos são de suma importância no desenvolvimento econômico sustentável nas regiões do semiárido, tais como ocorre no nordeste do Estado de Minas Gerais. Grande parte dessas regiões apresentam baixas precipitações pluviométricas e elevadas taxas de evaporação regional, gerando desta forma dificuldades no manuseio equilibrado de recursos hídricos. Uma das formas de minimizar problemas desta natureza seria construção de barragens subterrâneas ao longo dos leitos de córregos intermitentes, o que permitem aproveitamento de recursos hídricos de subsolo. Apresentam-se neste trabalho progressos nos estudos de implantação de barragens subterrâneas no Município de Jenipapo de Minas. Os locais escolhidos situam-se ao longo dos canais de drenagem intermitentes do Córrego de Bolas, nas proximidades do vilarejo Martins Farinheira. As atividades concluídas incluem levantamentos topográficos e perfis de eletro-resistividade em alvos selecionados. Os resultados identificaram camadas de baixa resistividade elétrica ($< 100\Omega\text{m}$), sobrejacentes a uma camada de resistividade mais elevada ($>200\Omega\text{m}$) no leito deste córrego. As camadas de alta resistividade foram identificadas como bolsões de porosidade e permeabilidade elevada e a camada de baixa resistividade como embasamento impermeável. Essa sequência litológica viabiliza construção de barragens subterrâneas escalonadas ao longo de leito deste córrego, permitindo armazenamento de águas meteóricas que infiltram no subsolo nos períodos chuvosos, e seu aproveitamento posterior nos períodos de estiagem.

Palavras-chave: Barragens subterrâneas, recursos hídricos, semiárido, Jenipapo de Minas.

Introdução

A escolha adequada de locais que permitam a construção de barragens subterrâneas na região dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, onde está situado o Município de Jenipapo de Minas, contribuirá para maior preservação da natureza e fornecerá maiores benefícios econômicos, sociais e ambientais, principalmente nas regiões do semiárido brasileiro que são caracterizadas pela baixa umidade e por baixos índices pluviométricos.

A construção de barragens subterrâneas é indicada como uma das melhores alternativas que permite proporcionar meios de acumulação de água no próprio terreno do agricultor (COSTA et al., 1998).

A disponibilidade de água captada superficialmente por meio de barragens construídas “in loco” estará contribuindo para um melhor desenvolvimento econômico e maior evolução social da região, pois o maior desafio a ser enfrentado

nas regiões semiáridas é o de fixar o homem do campo na sua terra, evitando o aumento de desempregados e da marginalidade nas grandes cidades.

Estudos e pesquisas sobre as melhores técnicas de implementação de barragens subterrâneas, em especial para uso agrícola e de subsistência no semiárido do Brasil, possibilitarão análises e resultados que poderão possibilitar um melhor convívio com a seca, como também em um uso mais racional desse recurso hídrico armazenado na camada sedimentar do solo, no sentido de contribuir com um ambiente sustentável da região, principalmente o Município de Jenipapo de Minas.

Síntese histórica de Barragens subterrâneas

O uso de barragens de fluxo da água subterrânea é apresentado como uma concepção antiga e reporta-se às construções que remetem à época do Império Romano, na Sardenha, e a civilizações antigas do Norte da África (HANSON E NILSSON, 1986). Segundo Ponçano (1981) as barragens vêm sendo utilizadas desde o início do século XVIII, principalmente no Norte e Sudeste da África, Índia, Israel e Irã.

Silva (1998) refere-se à existência da primeira barragem subterrânea construída no Brasil no ano de 1919, na região semiárida da Paraíba, e de acordo com Silva & Rego Neto (1992) barragens subterrâneas foram construídas por volta do ano de 1920 na região semiárida do Rio Grande do Norte, onde eram utilizados materiais da própria região, sendo sua principal produção voltada para as culturas forrageiras, no sistema de exploração semelhante ao de agricultura de vazante (COSTA E LIMA, 2000; COSTA, 2002). Segundo o IPT (1981) este tipo de barragem foi utilizado também no Saara, por hidro geólogos franceses, com vistas à exploração de uma agricultura de vazante.

No ano de 1997 foi lançado o Manual de Barragens Subterrâneas (COSTA, 1997), onde foram descritas as condições necessárias para uma correta locação e construção, assim como também foram fornecidos elementos sobre a capacidade de acumulação e os custos de construção. As barragens subterrâneas são amplamente reconhecidas como solução conveniente para o armazenamento subterrâneo de água em regiões semiáridas (HANSON & NILSSON, 1986; BRITO et al., 1999; TELMER & BEST, 2004; GOMES et al., 2016).

A região compreendida pelos Vales do Jequitinhonha e Mucuri tiveram historicamente atividades intensas de agricultura e pecuária que resultaram em ecossistemas frágeis, solos de baixa capacidade de regeneração, cujos resultados, levaram à perda da capacidade produtiva do solo, desmatamento e ao desaparecimento de córregos e nascentes (BAUR et al., 2013).

Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é realizar estudos que viabilizam a construção de barragens subterrâneas nos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, com base em dados geofísicos e geológicos relevantes. Os resultados deverão promover o acesso à água nas regiões semiáridas durante os períodos de estiagem. Como objetivo secundário será necessário o levantamento de campo de dados geofísicos e hidrogeológicos para determinação das camadas de solo na área de estudo.

Metodologia

Define-se barragem subterrânea como uma estrutura que objetiva impedir o fluxo subterrâneo de um aquífero pré-existente ou criado concomitantemente à construção da barreira impermeável, ficando a água armazenada no perfil do solo, permitindo assim um aproveitamento mais racional da água contida nos aluviões (SANTOS & FRANGIPANI, 1978).

A utilização de barragens subterrâneas deverá considerar a identificação de zonas de carga e de recarga, as quais possibilitarão desenvolver projetos visando à sustentabilidade ambiental, identificando os locais onde a água infiltra no solo (GOMES et al., 2017). A construção de uma barragem subterrânea representa sem qualquer dúvida, uma obra de relevância para o aproveitamento das águas superficiais que escoam nos vales fluviais de uma determinada região. O esquema de uma barragem subterrânea é apresentado na Figura (1).

Para que a realização do projeto e da obra da barragem fazem-se necessários estudos prévios de consulta geológica, topografia, cartografia, relevo, aerofotogrametria e drenagem superficial.

De acordo com Costa et al (2000), com base no mapa geológico deve-se evitar as áreas representadas por bacias sedimentares, que se tornam impróprias para a construção de barragens subterrâneas devido a permeabilidade do substrato do depósito aluvial. Os autores ressaltam ainda, que aero fotos são muito importantes, pois permitem mais precisão para analisar as dimensões dos depósitos aluviais, os estrangulamentos que favorecem a implantação da barragem, a extensão do depósito aluvial a montante, além de outros aspectos relacionados ao relevo e a litologia, tais como a presença de soleiras rochosas no leito do rio.

Com base nos levantamentos preliminares de campo e nos dados obtidos da região, escolhem-se entre as melhores opções, o melhor local para construção da barragem subterrânea.

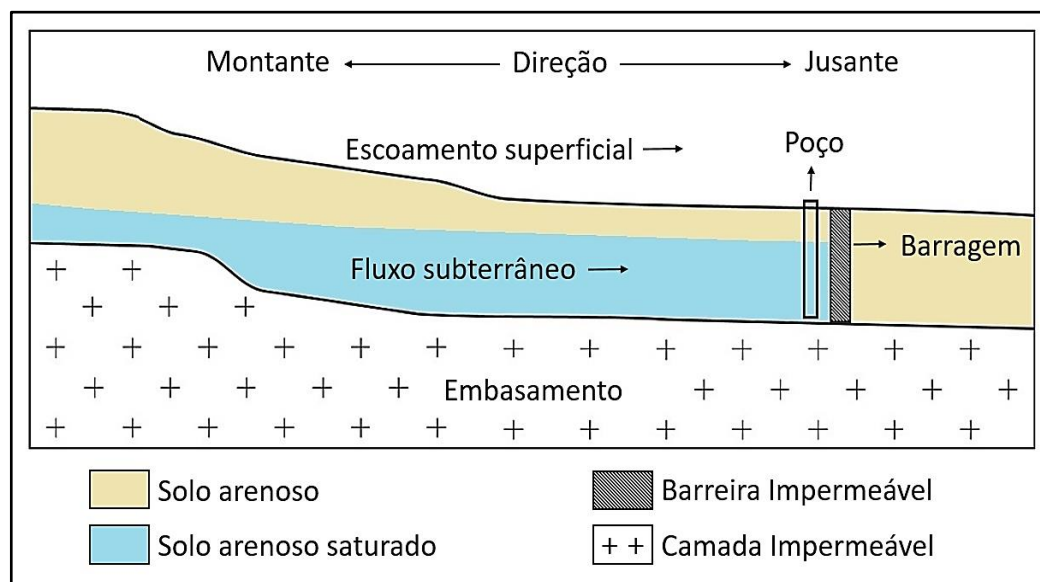


Figura 1 – Esquema de uma barragem subterrânea.

Em relação a metodologia utilizada nos levantamentos geofísicos de resistividade elétrica do solo, se fundamentam em procedimentos descritos em livros textos de geofísica aplicada (DOBRIN & SAVIT, 1988; TELFORD et al., 1990; VOGELSSANG, 1995; KEAREY et al., 2002; MILSOM, 2003; LOWRIE, 2007; KIRSCH, 2009; BRAGA, 2016).

Geologia e hidrogeologia regional

O contexto geológico da região de estudo pode ser compreendido com base nos trabalhos de De Wit et al (1988) e Pedrosa-Soares et al (1992) que apresentaram descrições sintetizadas da quebra do continente Gondwana, após a separação da placa Africana e da Sul Americana. Com base em estudos geológicos locais o Município de Jenipapo de Minas (Figura 2) é composto predominantemente pela Formação Salinas (pEms).

De acordo com a CODEMIG (2012) a formação Salinas é composta por quartzo-mica xisto (biotita em geral predominante sobre a moscovita), bandados ou não, em geral granatíferos, localmente calcíticos, com intercalações de rochas cálcio-silicáticas, quartzo-anfibólio-granatíferas, biotita quartzito e xistos grafitosos; rf – Fácies Ribeirão da Folha: caracterizada pela presença de formações ferríferas bandadas (tipo óxido, silicato e sulfeto), metacherts e diopsiditos sulfetados, grafita-cianita xistos, xistos hiperaluminosos e orto-anfibolitos, intercalados em quartzo-mica xistos.

A região Leste do Município possui uma cobertura cenozoica (QTd) composta por depósitos elúvio-coluvionar e aluvionares restritos, em superfícies de aplainamento (chapadas) terciárias; (sd) indica existência local de sedimentos da Formação São Domingos (Tsd).

Em relação às águas subterrâneas no município de Jenipapo de Minas se distingue em dois domínios hidrogeológicos: 1) de rochas metamórficas do Neoproterozóico e granito do Paleozóico; 2) de coberturas detríticas 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 discontinuidades, aspecto que geralmente se traduz em reservatórios aleatórios e de pequena extensão (CPRM, 2005; GOMES et al., 2016).

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.

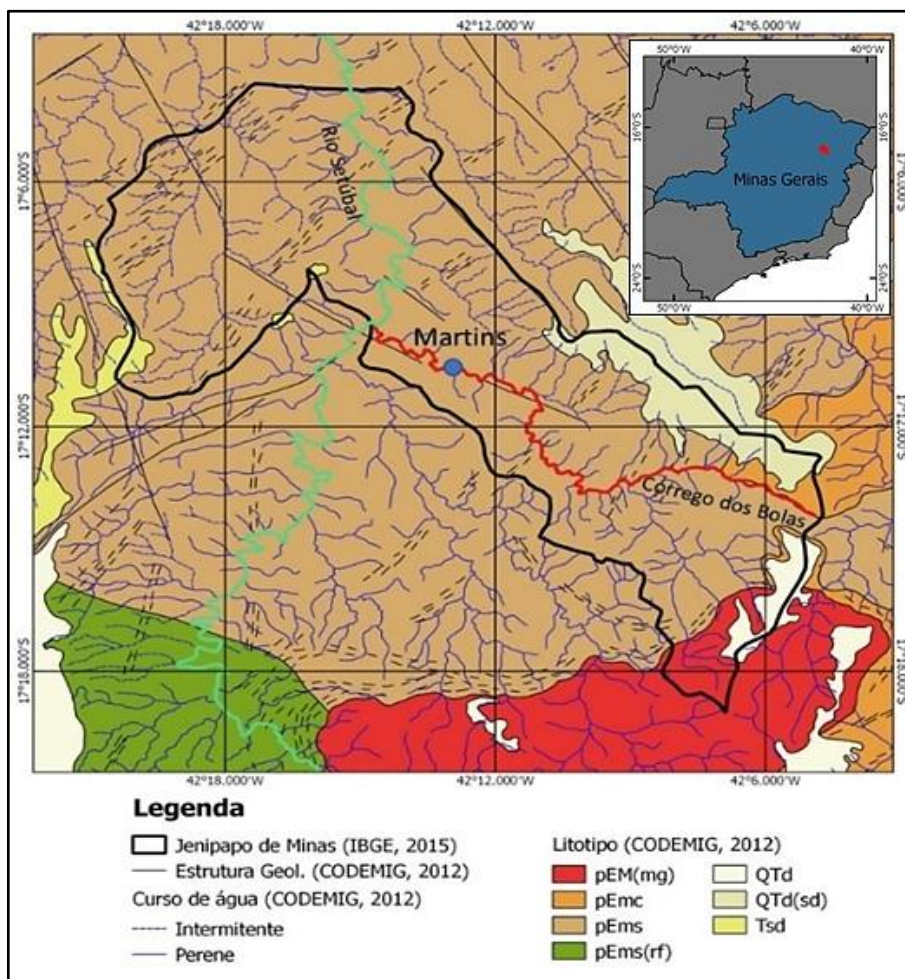


Figura 2 - Mapa ilustrando a drenagem fluvial e a geologia no Município de Jenipapo de Minas (adaptado de GOMES et al., 2017).

Levantamento de dados em campo

Na aquisição de campo foi utilizado o resistivímetro AGI Super Sting. As medidas foram realizadas ao longo de um perfil (Figura 3) transversal ao Córrego Bolas através do arranjo de Wenner. O espaçamento adotado entre os eletrodos foi de 4m.

O resistivímetro (Figura 4) utilizado possui um Switch Box, na qual, permite a troca automática entre os eletrodos durante o levantamento, não sendo necessário

mudanças manuais dos eletrodos injetores de correntes e dos de medidas do diferencial de potencial elétrico.

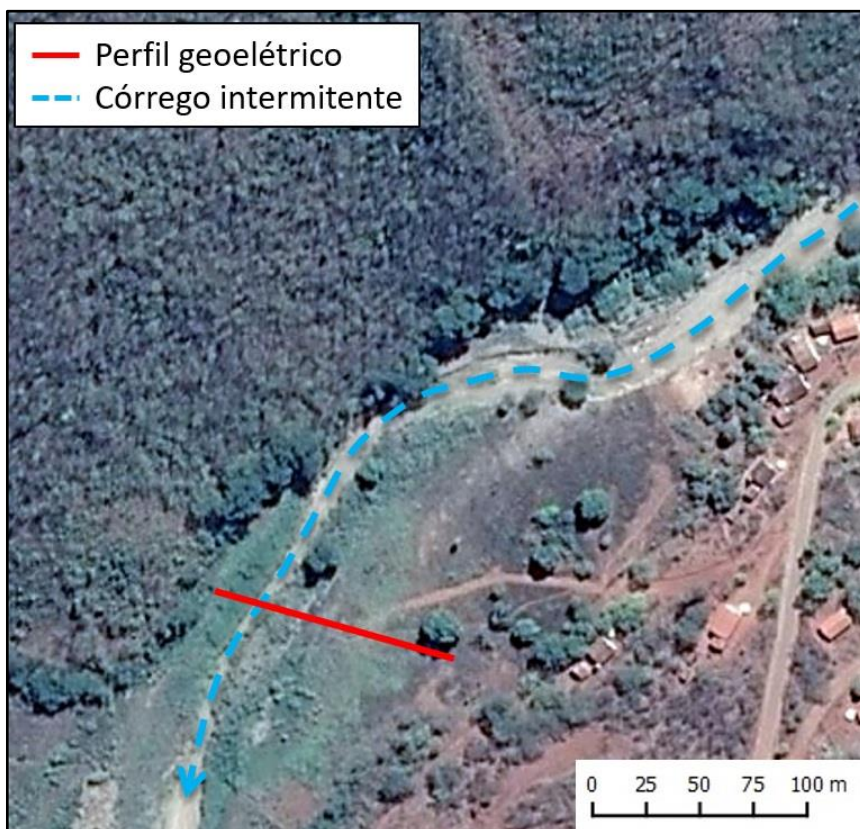


Figura 3 – Imagem de satélite da localidade de Martins indicando o local do levantamento geoeétrico (linha vermelha) e o leito do Córrego Bolas (linha azul tracejada).



Figura 4 - Resistivímetro (direita) e Switch Box (esquerda).

Dados obtidos em campo

Foram obtidos em campo um total de 183 medidas de resistividade elétrica aparente (apêndice). O maior e menor valor medido foram respectivamente 866,01 e 54,84 Ω m e o valor médio de todas as medidas foi de 154,47 Ω m.

A localização de cada medida adquirida em campo é ilustrada na Figura (5). A profundidade de investigação é limitada pelo número de eletrodos e pela geometria do arranjo adotado.

Foram adquiridas medidas resistividade elétrica aparente (Ω m) em 11 níveis (n) distintos em profundidade, com valores de 1,67, 2,78, 3,84, 4,87, 5,57, 7,68, 9,74, 11,52, 14,62, 15,36 e 19,49 m.

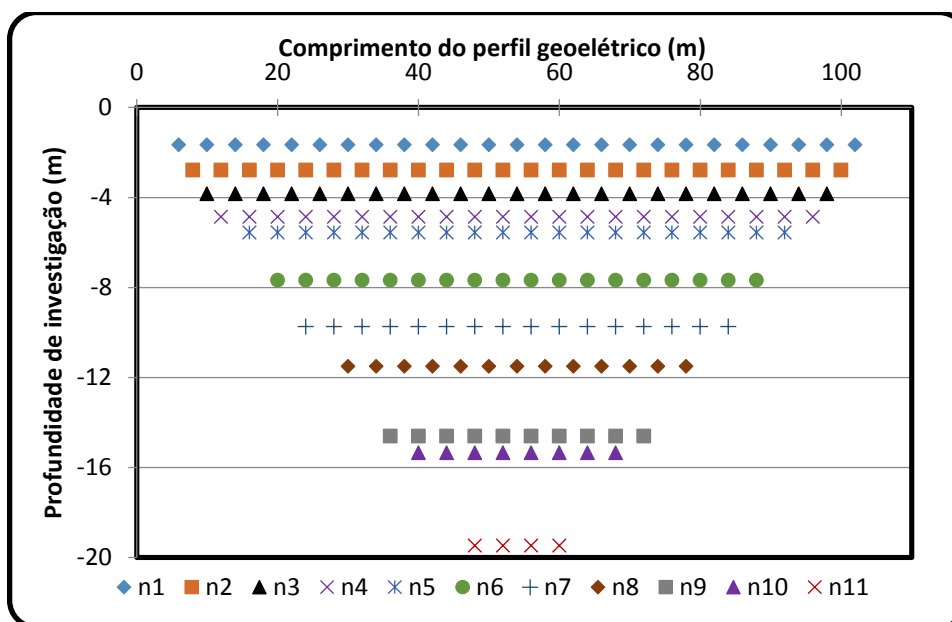


Figura 5 - Localização das medidas de resistividade elétrica aparente em subsuperfície.

A Figura (6) ilustra o comportamento lateral dos valores de resistividade elétrica aparente para cada um dos 11 níveis de investigação em subsuperfície. Os níveis n1 a n4 apresentaram valores acima de 200 Ω m de resistividade elétrica no trecho compreendido pelo leito arenoso do córrego Bolas entre 16 e 40m do comprimento do perfil. Os níveis n6 a n11 apresentaram no geral valores de resistividades abaixo de 200 Ω m ao longo do perfil, sendo que esses valores estão de acordo com as faixas de resistividades dos xistos e argilas.

Os dados adquiridos em campo foram processados no software Earth Imager 2D no Laboratório de Processamento de Dados do Observatório Nacional.

Técnicas de elemento finito conforme descrito na literatura (COGGON, 1971; RIJO, 1977; DEY & MORRISON, 1977) foram utilizadas no processamento os dados adquiridos e na elaboração do modelo direto de resistividade elétrica do solo. A técnica de decomposição Cholesky foi adotada para solucionar as equações.

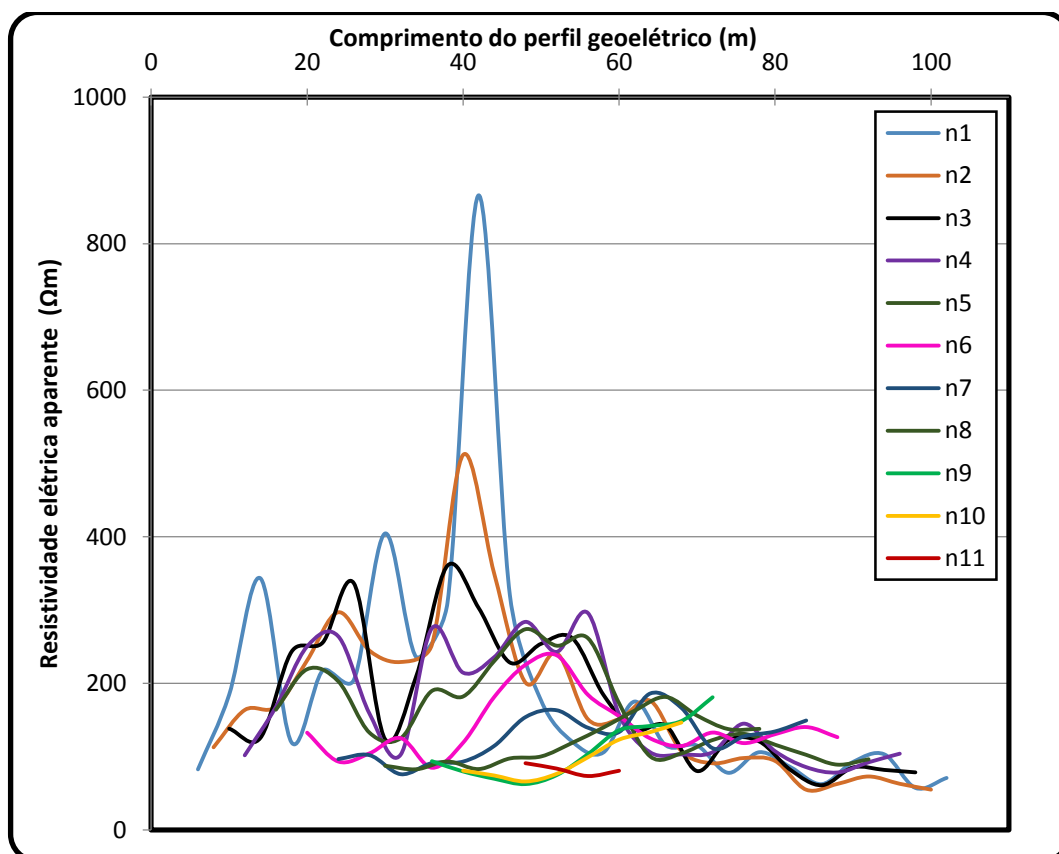


Figura 6 - Resistividade elétrica aparente em 11 níveis de investigação em subsuperfície.

Também foram utilizadas técnicas de inversão, a fim de minimizar ambiguidade na interpretação dos resultados. O método de inversão adotado foi o modelo suave de inversão (LOKE et al., 2003).

Neste caso, o objetivo da inversão é reduzir o desajuste entre as medidas de campo e os valores calculados de um modelo fisicamente plausível, e um dos objetivos da inversão de resistividade é encontrar um modelo de resistividade cuja resposta (valores preditos) melhor se ajustem aos dados medidos.

O ajuste adotado é caracterizado pelo cálculo do erro do quadrado médio da raiz (RMS) em porcentagem (ADVANCED GEOSCIENCES, 2008), conforme determinada pela relação:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i^{Pred} - D_i^{Meas}}{D_i^{Meas}} \right)^2}{N}} \times 100\%, \quad (1)$$

onde N é o número total de medições, d_i^{Pred} o conjunto de valores previstos, e d_i^{Meas} os dados medidos. O erro RMS depende do número de pontos desajustados e da qualidade do ajuste.

O número de interações no processo de inversão é definido pela quantidade de operações (repetições) que o processo iterativo não-linear precisa ser executado. No presente estudo, o ciclo de iteração foi interrompido quando o valor de RMS torna inferior a 3% ou quando o número máximo de iterações prescrito (no presente caso 8) é atingido.

A curva de convergência da inversão de resistividade é ilustrada na Figura (7).

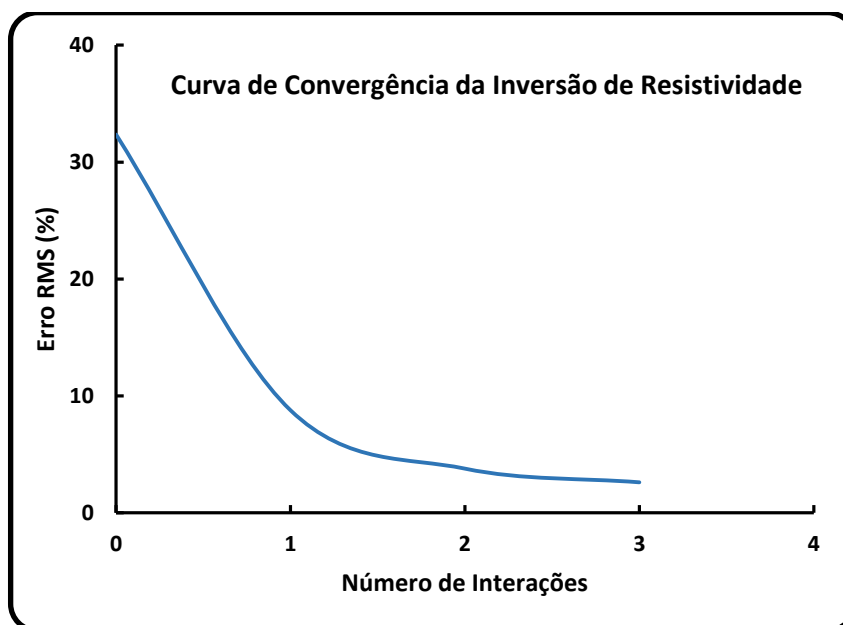


Figura 7 – Número de interações por valores de erro RMS.

O processamento dos dados de resistividade elétrica do solo adquiridos em campo gerou um modelo de inversão robusto e fisicamente realístico. O RMS que apresentou um valor de erro abaixo de 3% para o modelo de resistividade elétrica da subsuperfície do local estudado.

Para fins de avaliação qualitativa de dados, foi gerado um gráfico comparativo entre os valores de resistividade elétrica aparente medidos e os valores previstos para o perfil, resultando num bom ajuste, conforme ilustrado na Figura (8).

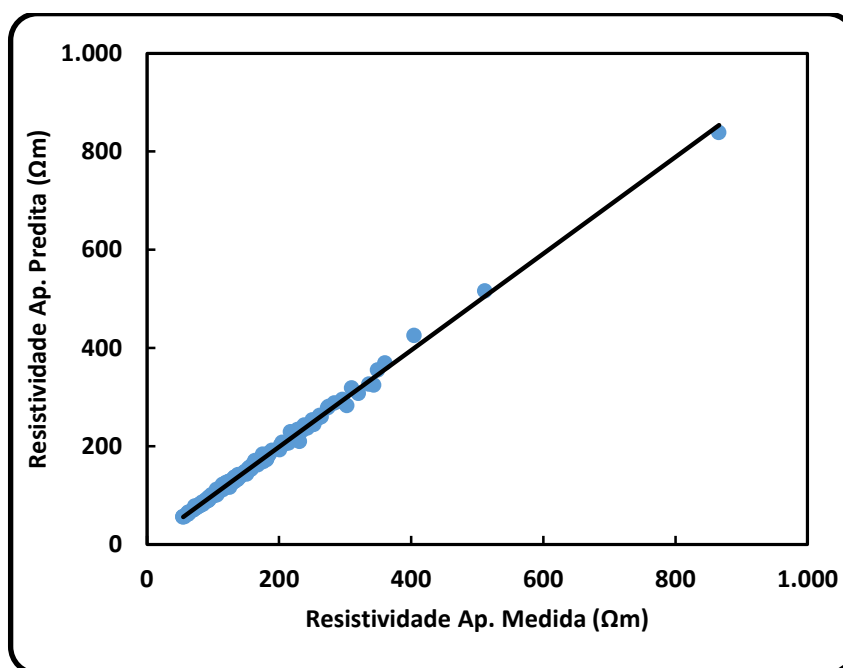


Figura 8 – Gráfico dos dados de resistividade aparente medidos e previstos.

Resultados e discussões

Os primeiros resultados do perfil geoeletrico são ilustrados na Figura (9), onde temos 3 painéis que ilustram os dados medidos em campo, os previstos e a resistividade elétrica em subsuperfície. O painel superior refere-se a uma representação dos dados observacionais medidos em campo ilustrando a distribuição vertical e horizontal da resistividade elétrica aparente. O painel central ilustra uma representação similar para os valores previstos (calculados) obtidos na análise de dados. As formas triangulares do perfil nesses dois painéis superiores decorrem dos limites práticos na determinação da distribuição vertical dos valores de resistividade, sendo sua distribuição limitada pelo arranjo adotado. O painel inferior

ilustra a distribuição da resistividade em função da elevação da superfície do perfil (topografia). Este é referido como a seção de resistividade obtido no processo de inversão.

Nesta figura, as setas pretas indicam limites aproximados do canal principal do Córrego Bolas. A margem direita é indicada pela abreviatura MD e a margem esquerda pela abreviatura ME. O canal principal estava seco no período da aquisição de dados.

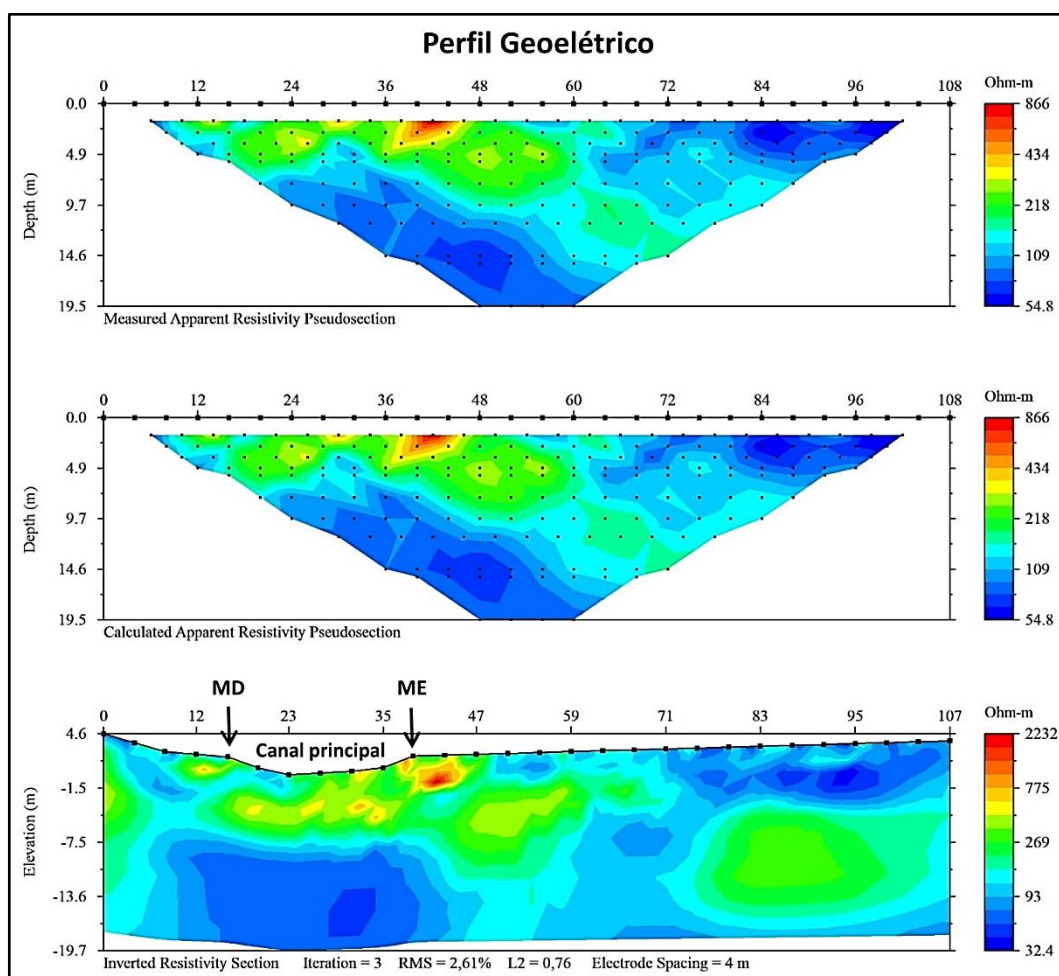


Figura 9 – Perfil de resistividade elétrica. O painel superior refere-se a dados medidos no campo, o painel central aos dados preditos e o painel inferior ilustra a resistividade elétrica do solo.

Com base no primeiro resultado de resistividade elétrica (Figura 9) foi gerado um histograma (Figura 10) ilustrando o erro do ajuste em porcentagem dos dados de entrada em relação ao perfil de resistividade criado pela inversão. Essa verificação do desajuste de dados teve o intuito de gerar uma nova inversão, que ajustasse

melhor ao modelo geométrico. Os dados que não foram bem ajustados ao primeiro resultado foram removidos no novo processamento. Os dados que precisaram ser removidos para a nova inversão somaram 7,1% em relação a um total de 183 dados. Esses dados são representados pelas barras vermelhas na Figura (10).

O critério de remoção adotado foi o de desajustes e foram removidos os que apresentaram desajustes maiores que 5%. O histograma também ilustra o bom ajuste do modelo de inversão por apresentar dados ajustados na faixa de 91% para o modelo proposto.

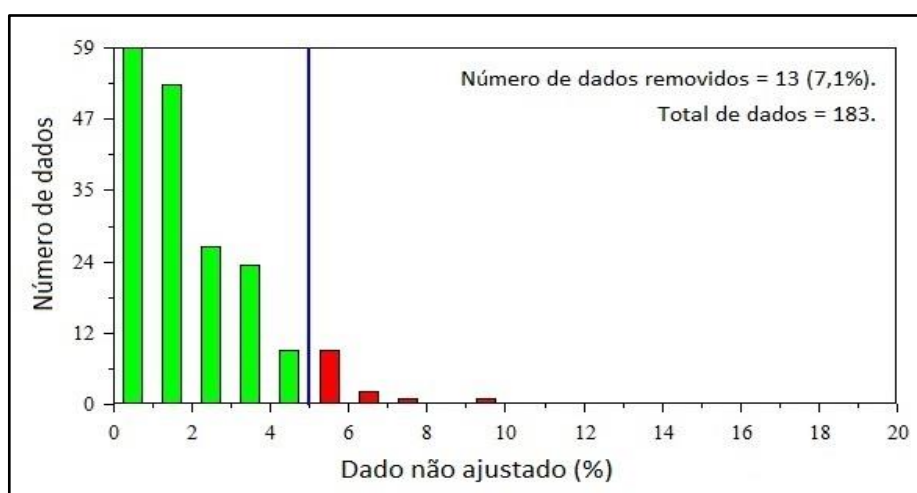


Figura 10 - Histograma do ajuste de dados em relação ao primeiro resultado de resistividade elétrica.

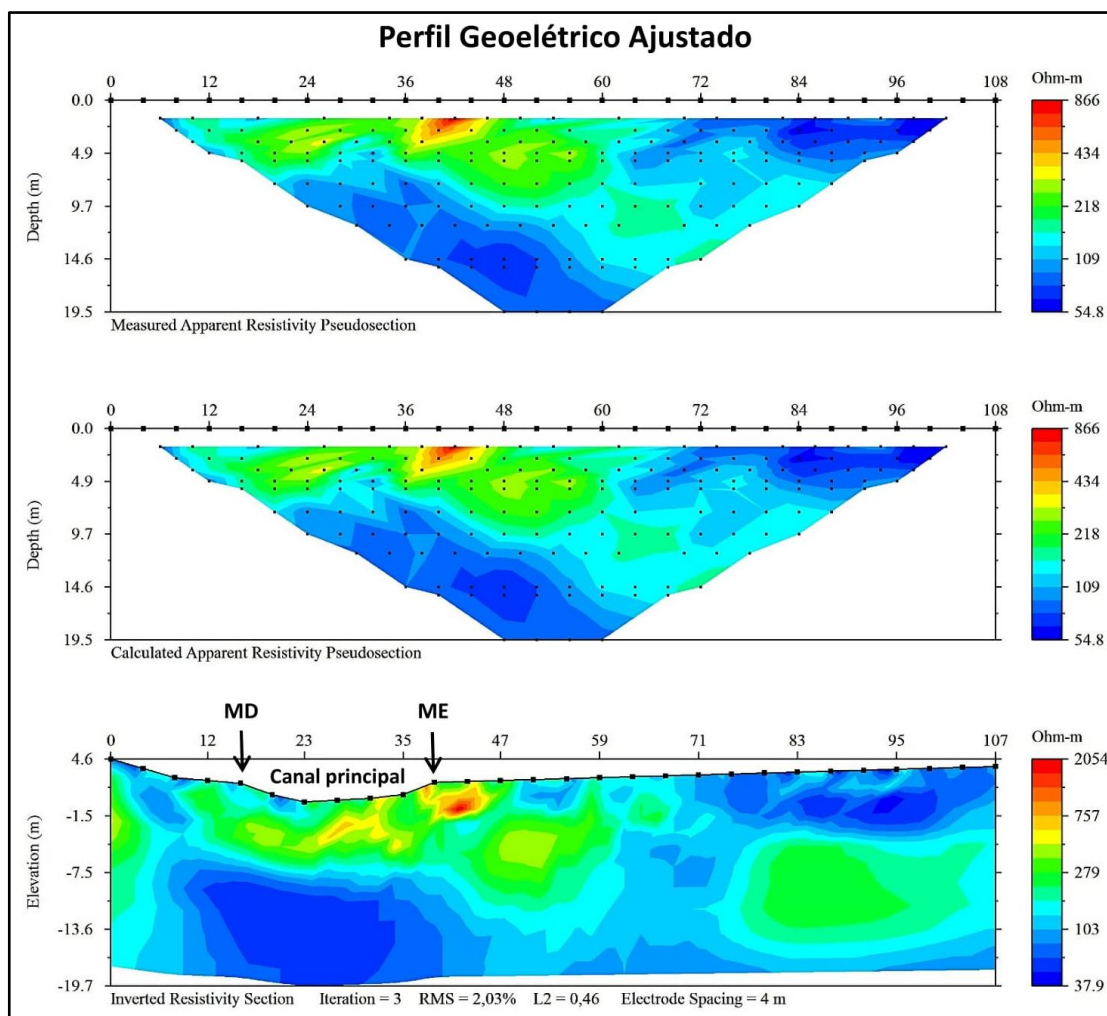


Figura 11 – Perfil de resistividade elétrica do solo após o ajuste dos dados.

O novo perfil de resistividade elétrica da subsuperfície apresentou um bom ajuste após o ajuste (remoção) de dados é ilustrado na Figura (11). Este perfil apresentou um bom ajuste dos dados e por consequência uma maior confiabilidade do modelo de inversão. Nota-se a redução de 0,58% do erro RMS na nova inversão, em relação aos 2,61% obtidos na primeira inversão. Os valores de maior e menor resistividade elétrica do solo gerado pela nova inversão foram respectivamente 2054 e 37,9 Ωm , que se diferenciam da primeira inversão, onde os valores obtidos foram de 2232 e 32,4 Ωm . Tal diferença é considerada pequena e não acarreta diferentes interpretações em relação a correlação litológica. O perfil geoeletrico obtido apresentou uma elevada resistividade elétrica ($> 200 \Omega\text{m}$) na parte mais superficial do perfil, seguida de um forte decréscimo de resistividade elétrica ($< 150 \Omega\text{m}$) em torno de 7,5m de profundidade, na área da calha principal do Córrego Bolas.

Com a finalidade de impor limites de resolução prática para a interpretação da resistividade elétrica foi removida uma parte das bordas do perfil, com base nos valores da relação de aspecto do deslocamento horizontal/profundidade. Este procedimento reduz as incertezas decorrentes dos efeitos de borda na interpretação. Também minimiza os efeitos indesejáveis de possíveis artefatos criados pela interpolação nas regiões que não possuem dados medidos. O resultado desse procedimento é ilustrado na Figura (12).

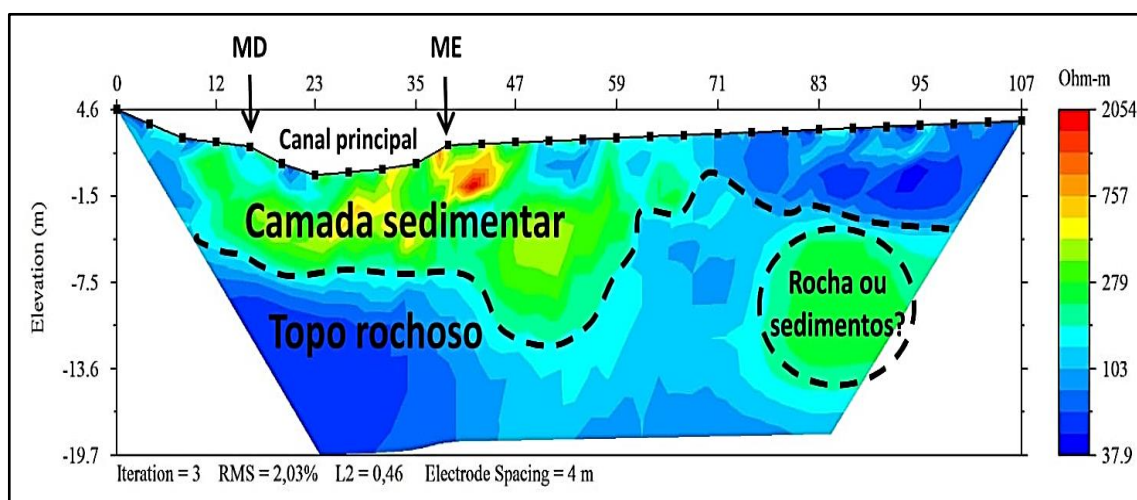


Figura 12 – Perfil elétrico ajustado interpretado.

O círculo tracejado na Figura (12) representa uma anomalia que pode ser originada por uma diferença na concentração de minerais contida na rocha do embasamento, provavelmente uma maior concentração de quartzo, conforme já visto em afloramentos durante os levantamentos de campo na região. Uma outra interpretação possível é que essa região anômala seja composta predominantemente por areias e indique um possível paleocanal do Córrego Bolas.

Para fins de identificação do topo rochoso e das possíveis camadas sedimentares, foram criados três perfis interpretativos com valores de resistividade aparente maiores que 200, 150 e 100Ωm. Neste procedimento, foram eliminadas interpretações que poderiam indicar uma camada rochosa na parte mais elevada da margem esquerda do Córrego Bolas. Estes são considerados fictícios, uma vez que nenhum afloramento foi identificado durante os trabalhos de campo.

No perfil interpretativo (Figura 13A), com valores de resistividade elétrica menores que 200Ωm (na cor azul), foi possível identificar a área de depósito

aluvionar na subsuperfície do leito do córrego, caracterizado por maiores resistividades elétrica em relação ao meio. Ao longo do perfil entre 75 e 95m também foi identificado um comportamento similar que se estende de 1,5 a 14m de profundidade, na qual pode representar um possível paleocanal ou a presença de diferentes minerais contidos na rocha.

As faixas de resistividade elétrica encontradas na literatura para a argila e para o xisto variam de 1 até 200 Ω m (WARD, 1990; TELFORD ET AL., 1990; VOGELSANG, 1995) não apresentando diferenças significativas entre elas, logo não é possível afirmar os locais de contato entre a argila e o embasamento xistoso.

No perfil interpretativo (Figura 13B), com valores de resistividade elétrica menores que 150 Ω m (na cor azul), também foi possível identificar a área de depósito aluvionar (na cor amarela) na subsuperfície do leito do córrego. Foram identificadas alterações significativas da profundidade do topo rochoso apenas na subsuperfície da margem esquerda. Na calha principal do córrego não se identificaram mudanças significativas de profundidade para o topo do embasamento. No perfil interpretativo (Figura 13C), com valores de resistividade elétrica menores que 100 Ω m (na cor azul) há uma alteração significativa da localização do topo rochoso, como também da distribuição do depósito sedimentar em profundidade e lateralmente. Esse perfil demonstra uma interconectividade entre o atual depósito aluvionar e o antigo (paleocanal).

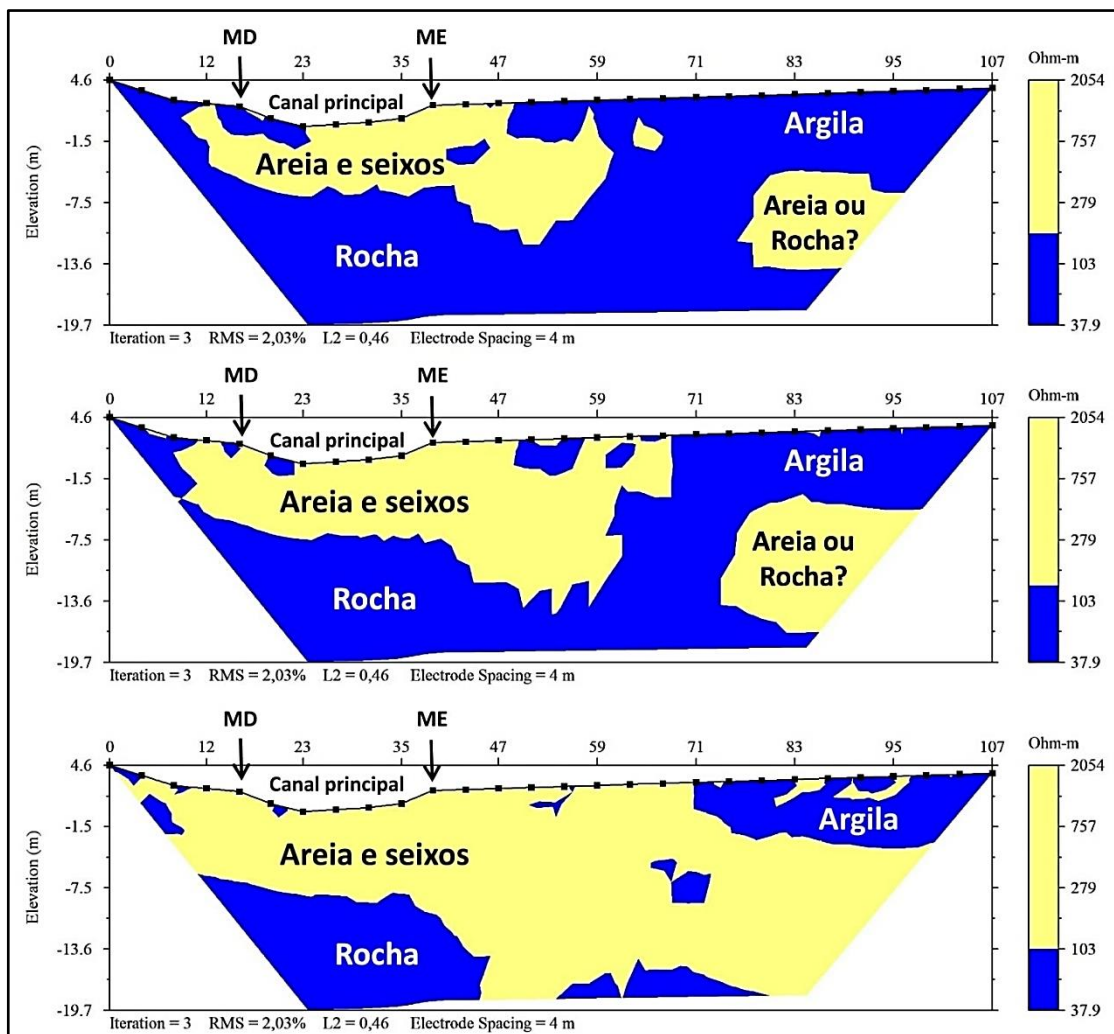


Figura 13 – Perfil interpretativo para três possíveis cenários.

Conclusões

Foi possível identificar e correlacionar os dados de resistividade elétrica da subsuperfície com as informações litológicas disponíveis. Os valores acima de 200 Ω m foram considerados como depósitos sedimentares não consolidados, um indicativo da areia aluvionar depositada no leito seco do Córrego Bolas. Verificou-se também a presença de seixos ao longo do Córrego.

Para a interpretação do perfil de resistividade elétrica foram criados três perfis interpretativos (cenários), na qual foram considerados os valores de resistividade aparente maiores que 200, 150 e 100 Ω m que são representativos de camadas arenosas. Os valores menores que estes foram considerados como argilas ou xistos.

O levantamento geolétrico conseguiu identificar nos dois primeiros cenários a profundidade do embasamento xistoso no leito do Córrego Bolas a cerca de 7,5 m podendo variar até cerca de 15 m de profundidade. Para o terceiro cenário interpretativo os dados essa profundidade pode alcançar até 20 m de profundidade nas margens. Os dois primeiros cenários apresentados nos perfis interpretativos são favoráveis à construção de uma barragem subterrânea no local de estudo. O terceiro cenário demanda um estudo mais detalhado do ponto de vista da Engenharia, pois com profundidades maiores que 10m, se faz necessário estudos de viabilidade geotécnica, mão-de-obra especializada e maquinário para escavações.

A presença de um embasamento impermeável identificado na região e a identificação de rios e córregos intermitentes (como o Córrego Bolas) favorecem a implementação de barragens subterrâneas não só na localidade de Martins no Município de Jenipapo de Minas, mas também em outros municípios dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

A utilização de barragens subterrâneas deverá considerar a identificação de zonas de carga e de recarga, as quais possibilitarão desenvolver projetos visando à sustentabilidade ambiental, identificando os locais onde a água infiltra no solo. A identificação destas áreas vai ampliar o conhecimento das reservas hídricas, melhores formas de irrigação de culturas, tipo de subsistência ao longo de todo o período seco, além da captação e consumo de água mais racional e sustentável. Desta forma, o uso de barragens subterrâneas para captação de água apresenta-se como um ambiente sustentável alternativo aos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Abstract: Access to water resources are of paramount importance for sustainable economic development in semiarid regions, such as those in the northeastern sector of the State of Minas Gerais. Large parts of such regions show low rainfall as well as high rates of regional evaporation. Impacts of such problems may be minimized by constructing underground dams along streambeds capable of impounding subsurface flows of meteoric waters for use during dry seasons. In the present work, we discuss details of geophysical studies carried out in the municipality of Jenipapo de Minas (MG). The sites chosen are located along the streambed of Corrego de Bolas, near the locality of Martins Farinheira. The results have led to identification of a surficial layer of low electrical resistivity ($<100 \Omega\text{m}$) underlain by a relatively high resistivity ($>200 \Omega\text{m}$) layer. The low resistivity layer has been identified as indicative of pockets of high porosity and high permeability in the top layer of the streambed. The underlying high resistivity ($>200 \Omega\text{m}$) layer has been identified as low permeability basement rocks. This lithologic stratification has been considered as favorable for construction of a set of underground dams distributed along the streambed. It is argued that such dams are capable of impounding considerable amounts of meteoric waters infiltrating into the top soil layer during rainy periods, allowing its exploitation during dry season.

Keywords: Underground dams, water resources, semiarid, Jenipapo de Minas.

Referências

ADVANCED GEOSCIENCES. Instruction Manual of AGI EarthImager 2D. Advanced Geosciences, Inc. 2008.

BAUR, M. T.; Gomes, J.L.S.; Gomes, P.S.; GOMES, A. J. L. Ações Antrópicas Acrescem Áreas de Risco Ambiental e Geológico nos Bairros Jardim São Paulo, Solidariedade e Funcionários em Teófilo Otoni. In: X Congresso Nacional de Meio Ambiente, Poços de Caldas, 2013.

BRAGA, A. C. O. Geofísica aplicada: métodos geelétricos em hidrogeologia. Oficina de Textos, São Paulo. 2016.

BRITO, L. T. L.; SILVA, D. A.; CAVALCANTI, N. B.; ANJOS, J. B.; REGO, M. M. Alternativa tecnológica para aumentar a disponibilidade de água no semi-árido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 3 (1): 111-115. 1999.

COGGON, J. H. Electromagnetic and electrical modeling by the finite element method. Geophysics, vol. 36, 132-155, 1971.

COSTA, W. D. Manual de barragens subterrâneas. Conceitos básicos, Aspectos Locacionais e Construtivos. Apostila com 43 páginas. Uso restrito. Recife, 1997.

COSTA, W. D.; CIRILO, J. A.; PONTES, M.; MAIA, A. Z.; PEREIRA SOBRINHO, O. Barragem subterrânea: uma forma eficiente de conviver com a seca. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, ABAS, 1998.

COSTA, W. D.; CIRILO, J. A.; ABREU, G. H. F. G. DE; COSTA, M. R. O aparente insucesso das barragens subterrâneas em Pernambuco. Anais do I Congresso Integrado de Águas Subterrâneas. CD-ROM, Fortaleza, CE. 2000.

COSTA, W. D.; LIMA, C. N. Barragens subterrâneas: uma opção para o semi-árido. Recife, PE: São Mamede. 2000.

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. Mapa Geológico da folha Jenipapo, Minas Gerais, Brasil. Folha SE.23-X-D-III. 2012.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diagnóstico do município de Jenipapo de Minas, MG. Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Vale do Jequitinhonha. 2005.

DE WIT, M. et al. Geological Map of Sectors of Gondwana, reconstructed to their disposition at about 150 Ma, scale 1:10.000.000. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, USA, and University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. 1988.

DEY. A., MORRISON, H. F. Resistivity modelling for arbitrarily shaped two - dimensional structures. Geophysical Prospecting, vol 27, 106-136, 1979.

DOBRIN, M.; SAVIT, C. H. 1988. Introduction to geophysical prospecting. 4ed. McGraw-Hill Book Co. 1988.

GOMES, J. L.; VIEIRA, F. P.; HAMZA, V. M. Sondagem elétrica vertical aplicada aos estudos para implantação de barragens subterrâneas no Município de Jenipapo de Minas. VII Simpósio Brasileiro de Geofísica da SBGf. Ouro Preto, 2016.

GOMES, J. L.; VIEIRA, F. P.; HAMZA, V. M. Use of geophysical surveys in selection of sites for underground dams in the municipality of Jenipapo de Minas. Congresso Internacional de Geofísica da SBGf. Rio de Janeiro, 2017.

HANSON, G.; NILSSON, A. Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries. Groundwater, V. 24, n. 4, 1986.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases cartográficas: limites municipais. 2015. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/ bases cartográficas contínuas /bc250/versao2015/Shapefile>. Acessado Jan. 22, 2017.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterrâneas no Nordeste: bacias dos Rios Piranhas – Açú RN e Jaguaribe CE. São Paulo, pp.56. Relatório 14887. 1981.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration. 3 ed. UK: Blackwell Publishing Company. 2002.

KIRSCH, Reinhard. Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology. 2nd. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009.

LOKE, M.H., ACWORTH, I., DAHLIN, T., A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34, 182–187, 2003.

LOWRIE, W. Fundamentals of geophysics. Second ed. Cambridge University Press, New York. 2007.

MILSOM, J. The Geological Field Guide Series. 3ed. John Wiley & Sons Ltd. 2003.

PEDROSA SOARES, A. C.; NOCE, C. N.; VIDAL, P.; MONTEIRO, R. I. B. P.; LEONARDOS, O. H. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) West Congolian (SW Africa) Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 6, n.1/2, pp. 33-47. 1992.

PONÇANO, W. L. Barragens Subterrâneas no Ceará e Rio Grande do Norte: Uma Alternativa Tecnológica para o Abastecimento de Água no Semiárido. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Itapema, ABGE, V.1, pp. 30-321, 1981.

RIJO, L. Modelling of electric and electromagnetic data, Ph. D. Thesis, University of Utah. 1977.

SANTOS, J. P. & FRANGIPANI, A. Barragens Submersas - Uma Alternativa para o Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, São Paulo, SP. ANAIS, ABGE, V. 1, 1978.

SILVA, D. A.; REGO NETO, J. Avaliação de barragens submersíveis para fins de exploração agrícola no semiárido. In: Congr. Nac. de Irrig, e Drenagem, Natal. 1992.

SILVA, F. F. Investigação e Modelamento do Fluxo Subterrâneo em Aquífero Aluvial no Semiárido da Paraíba, Laboratório de Hidráulica - DEC/CCT/UFPB, Dissertação, Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos, Campina Grande, 1998.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, X. Applied Geophysics. 2nd. Cambridge University Press, London. 1990.

TELMER, K.; BEST, M. Underground dams: a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions. *TERRÆ*, 1 (1): 63-65. 2004.

VOGELSANG, D. Environmental Geophysics: a practical guide. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1995.

Ward, S. H. Resistivity and polarization methods. In: WARD, S. H. Geotechnical and environmental geophysics. Tulsa, OK: SEG, v.1, 1990.

Apêndice

Sumário de dados geoeletricos obtidos a partir de processamento de medições efetuados em campo. Med - o número de medidas; X – distância a partir do ponto de partida; Z - a profundidade; RES - valores de resistividade elétrica aparente.

Med.	X (m)	Z (m)	RES. (Ωm)	Med.	X (m)	Z (m)	RES. (Ωm)	Med.	X (m)	Z (m)	RES. (Ωm)
1	6,00	-1,67	82,61	62	58,00	-3,84	184,30	123	52,00	-7,68	238,31
2	10,00	-1,67	184,48	63	62,00	-3,84	136,94	124	56,00	-7,68	184,46
3	14,00	-1,67	343,43	64	66,00	-3,84	142,28	125	60,00	-7,68	155,26
4	18,00	-1,67	119,47	65	70,00	-3,84	80,35	126	64,00	-7,68	124,86
5	22,00	-1,67	217,61	66	74,00	-3,84	122,52	127	68,00	-7,68	114,51
6	26,00	-1,67	204,88	67	78,00	-3,84	120,56	128	72,00	-7,68	132,84
7	30,00	-1,67	404,53	68	82,00	-3,84	81,72	129	76,00	-7,68	118,43
8	34,00	-1,67	235,65	69	86,00	-3,84	60,96	130	80,00	-7,68	130,59
9	38,00	-1,67	310,00	70	90,00	-3,84	85,24	131	84,00	-7,68	140,35
10	42,00	-1,67	866,01	71	94,00	-3,84	81,90	132	88,00	-7,68	126,50
11	46,00	-1,67	320,45	72	98,00	-3,84	78,53	133	24,00	-9,74	96,67
12	50,00	-1,67	176,57	73	12,00	-4,87	101,80	134	28,00	-9,74	101,99
13	54,00	-1,67	120,41	74	16,00	-4,87	167,87	135	32,00	-9,74	76,01
14	58,00	-1,67	105,77	75	20,00	-4,87	250,40	136	36,00	-9,74	91,16
15	62,00	-1,67	175,21	76	24,00	-4,87	264,05	137	40,00	-9,74	93,24
16	66,00	-1,67	115,34	77	28,00	-4,87	158,63	138	44,00	-9,74	114,68
17	70,00	-1,67	115,12	78	32,00	-4,87	102,72	139	48,00	-9,74	153,94
18	74,00	-1,67	77,92	79	36,00	-4,87	275,19	140	52,00	-9,74	163,27
19	78,00	-1,67	106,05	80	40,00	-4,87	214,57	141	56,00	-9,74	139,48
20	82,00	-1,67	85,56	81	44,00	-4,87	235,81	142	60,00	-9,74	133,58
21	86,00	-1,67	62,49	82	48,00	-4,87	283,92	143	64,00	-9,74	186,19
22	90,00	-1,67	92,74	83	52,00	-4,87	242,90	144	68,00	-9,74	166,47
23	94,00	-1,67	103,19	84	56,00	-4,87	296,00	145	72,00	-9,74	111,51
24	98,00	-1,67	57,32	85	60,00	-4,87	157,85	146	76,00	-9,74	127,62
25	102,00	-1,67	70,88	86	64,00	-4,87	105,91	147	80,00	-9,74	134,40
26	8,00	-2,78	112,74	87	68,00	-4,87	103,08	148	84,00	-9,74	149,31
27	12,00	-2,78	163,62	88	72,00	-4,87	106,02	149	30,00	-11,52	87,52
28	16,00	-2,78	167,94	89	76,00	-4,87	145,01	150	34,00	-11,52	82,77
29	20,00	-2,78	231,28	90	80,00	-4,87	107,45	151	38,00	-11,52	93,35
30	24,00	-2,78	297,03	91	84,00	-4,87	85,65	152	42,00	-11,52	83,05
31	28,00	-2,78	244,57	92	88,00	-4,87	78,38	153	46,00	-11,52	97,54
32	32,00	-2,78	229,13	93	92,00	-4,87	92,29	154	50,00	-11,52	100,25
33	36,00	-2,78	252,70	94	96,00	-4,87	104,02	155	54,00	-11,52	118,84
34	40,00	-2,78	511,71	95	16,00	-5,57	164,06	156	58,00	-11,52	139,80
35	44,00	-2,78	349,35	96	20,00	-5,57	219,23	157	62,00	-11,52	162,74

36	48,00	-2,78	201,12	97	24,00	-5,57	202,68	158	66,00	-11,52	181,40
37	52,00	-2,78	241,41	98	28,00	-5,57	132,64	159	70,00	-11,52	156,03
38	56,00	-2,78	151,08	99	32,00	-5,57	125,09	160	74,00	-11,52	137,58
39	60,00	-2,78	151,16	100	36,00	-5,57	189,67	161	78,00	-11,52	137,86
40	64,00	-2,78	176,24	101	40,00	-5,57	182,07	162	36,00	-14,62	93,82
41	68,00	-2,78	107,50	102	44,00	-5,57	230,45	163	40,00	-14,62	79,77
42	72,00	-2,78	90,94	103	48,00	-5,57	273,90	164	44,00	-14,62	69,84
43	76,00	-2,78	98,09	104	52,00	-5,57	251,37	165	48,00	-14,62	62,54
44	80,00	-2,78	94,19	105	56,00	-5,57	261,70	166	52,00	-14,62	74,78
45	84,00	-2,78	54,84	106	60,00	-5,57	172,95	167	56,00	-14,62	103,36
46	88,00	-2,78	62,77	107	64,00	-5,57	100,25	168	60,00	-14,62	135,89
47	92,00	-2,78	72,90	108	68,00	-5,57	104,43	169	64,00	-14,62	141,84
48	96,00	-2,78	62,93	109	72,00	-5,57	122,64	170	68,00	-14,62	148,63
49	100,00	-2,78	54,97	110	76,00	-5,57	131,02	171	72,00	-14,62	181,01
50	10,00	-3,84	138,14	111	80,00	-5,57	116,30	172	40,00	-15,36	80,86
51	14,00	-3,84	125,41	112	84,00	-5,57	102,44	173	44,00	-15,36	74,24
52	18,00	-3,84	243,10	113	88,00	-5,57	89,04	174	48,00	-15,36	66,11
53	22,00	-3,84	255,66	114	92,00	-5,57	96,41	175	52,00	-15,36	76,54
54	26,00	-3,84	336,47	115	20,00	-7,68	132,72	176	56,00	-15,36	99,07
55	30,00	-3,84	123,68	116	24,00	-7,68	93,26	177	60,00	-15,36	123,17
56	34,00	-3,84	210,02	117	28,00	-7,68	104,45	178	64,00	-15,36	133,46
57	38,00	-3,84	360,58	118	32,00	-7,68	125,25	179	68,00	-15,36	146,58
58	42,00	-3,84	302,78	119	36,00	-7,68	84,84	180	48,00	-19,49	91,01
59	46,00	-3,84	228,41	120	40,00	-7,68	119,00	181	52,00	-19,49	83,72
60	50,00	-3,84	253,97	121	44,00	-7,68	181,47	182	56,00	-19,49	73,55
61	54,00	-3,84	261,72	122	48,00	-7,68	225,31	183	60,00	-19,49	80,71

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 10/2017

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424
 Periódico Científico Eletrônico divulgado nos programas brasileiros *Stricto Sensu*
 (Mestrados e Doutorados) e em universidades de 38 países,
 em diversas áreas do conhecimento.