

O Uso do Arranjo Quadrático no Método de Eletorresistividade para a Determinação de Fraturas no Calcário de Sete Lagoas - MG

Débora Vasconcelos de Oliveira

UFOP, Ouro Preto, Brasil, deboravasconcelosdeoliveira@gmail.com

Luís de Almeida Prado Bacellar

UFOP, Ouro Preto, Brasil, luisapbacellar@gmail.com

RESUMO: No município de Sete Lagoas (MG) o estudo das discontinuidades faz-se necessário por enfrentar riscos cotidianos relacionados ao terreno cárstico, que, além de ser a fonte principal de abastecimento de água industrial e doméstica do município, está também relacionado com a ocorrência de abatimentos e colapsos. Propriedades gerais das fraturas são particularmente difíceis de serem quantificadas, uma vez que são funções do sistema de fratura como um todo e não são facilmente identificáveis em subsuperfície. Uma possível solução para estes problemas são os levantamentos azimutais de resistividade que podem ser colineares ou quadráticos. Neste projeto investiga-se a eficácia do levantamento com arranjo quadrático. A área escolhida para pesquisa encontra-se no município de Sete Lagoas/MG, onde afloram rochas carbonáticas e pelíticas pouco metamorizadas. Primeiramente realizou-se uma sondagem elétrica vertical (SEV) para detectar o nível de água. Depois realizou-se o levantamento azimutal de eletorresistividade com arranjo quadrático que consistiu em dispor quatro eletrodos nos vértices de um quadrado. A dimensão da aresta do quadrado adotada para este estudo foi de 11m. As resistividades aparentes foram medidas nas arestas, depois rotacionou-se em 15 graus no sentido horário em torno do ponto central para aquisição de novas medidas. Todos dados obtidos neste levantamento foram representados em um diagrama e posteriormente comparados com as medidas de fraturas dos afloramentos na área. Com a compilação dos dados observou-se que a possível direção preferencial de percolação de água é N80-90E. A partir desse estudo concluiu-se que a técnica de levantamento azimutal de eletorresistividade com arranjo quadrático de fato é bastante eficaz na determinação das direções preferenciais de fraturas onde ocorre percolação de água.

PALAVRAS-CHAVE: Fraturas, maciço rochoso, eletorresistividade, levantamento azimutal, arranjo quadrático.

1 INTRODUÇÃO

O comportamento dos sistemas de fraturas em hidrogeologia e em geotecnia tem recebido muita atenção por várias razões. Sistemas de fraturas fornecem significantes reservas de água em vários aquíferos rochosos. São também muito importantes na disposição de rejeitos, na proteção da água subterrânea, no transporte de contaminantes e em obras como barragens, escavações subterrâneas e taludes.

Especificamente no município de Sete Lagoas – MG o estudo das discontinuidades faz-se necessário pelos riscos cotidianos relacionados ao terreno cárstico, que, além de ser a fonte principal de abastecimento de água industrial e doméstica do município, está também relacionado com a ocorrência de abatimentos e colapsos.

No entanto propriedades gerais das fraturas, como orientação, continuidade, conectividade e abertura, são particularmente difíceis de serem

quantificadas, uma vez que são funções do sistema de fraturas como um todo e não são facilmente identificáveis em subsuperfície.

Uma possível solução para estes problemas são os levantamentos azimutais de resistividade, que são teoricamente vantajosos em relação aos convencionais, por serem de mais rápida aquisição e por apresentarem maior capacidade para identificação de anisotropias. Estes levantamentos podem ser colineares ou quadráticos. Neste estudo, investiga-se a eficácia do levantamento com arranjo quadrático objetivando detectar sistemas de fraturas hidraulicamente mais condutivos em maciços rochosos.

2 LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA DA ÁREA

A região de estudo encontra-se na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, mais precisamente no município de Sete Lagoas que fica a 70 km de Belo Horizonte (Figura 1).

Está inserida na área sul da Bacia do São Francisco, caracterizada por Alkim&Martins-Neto(2001) como a porção sul do Cráton do São Francisco sendo este definido como um núcleo estabilizado no final do Ciclo Transamazônico, margeado a oeste pela Faixa Brasília e a leste pela Faixa Araçuaí (Almeida, 1977).

A Bacia do São Francisco contém uma cobertura sedimentar de rochas neoproterozóicas (Supergrupo São Francisco), compreendendo uma unidade glacial basal (Conglomerado Carrancas/ Grupo Macaúbas/Formação Jequitai) coberta por uma espessa sucessão carbonática, Grupo Bambuí (Dardenne 1979, Karfunkel & Hoppe 1988, Uhlein *et al.*1999, Martins-Neto *et al.* 2001).

Na área de estudo afloram rochas carbonáticas e pelíticas, respectivamente, das formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, ambas pertencentes ao Grupo Bambuí (Figura 2). Essas rochas são afetadas por deformação fraca a moderada como resultado da atividade tectônica ao longo das faixas de dobramentos brasileiras marginais.

Na Figura 3 observa-se o perfil do poço de bombeamento que está localizado bem próximo a área de estudo. Ressalta-se que a camada de calcário tem aproximadamente 60 metros de

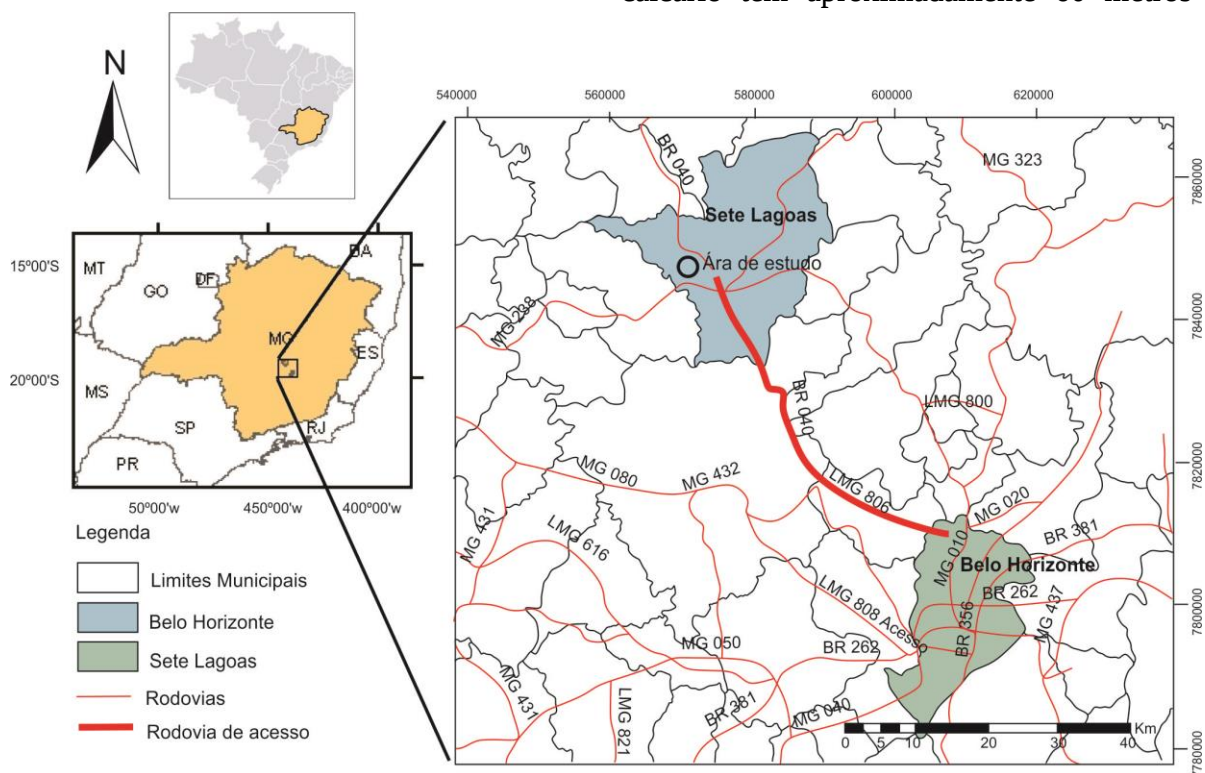


Figura 1: Localização e vias de acesso da área de estudo.

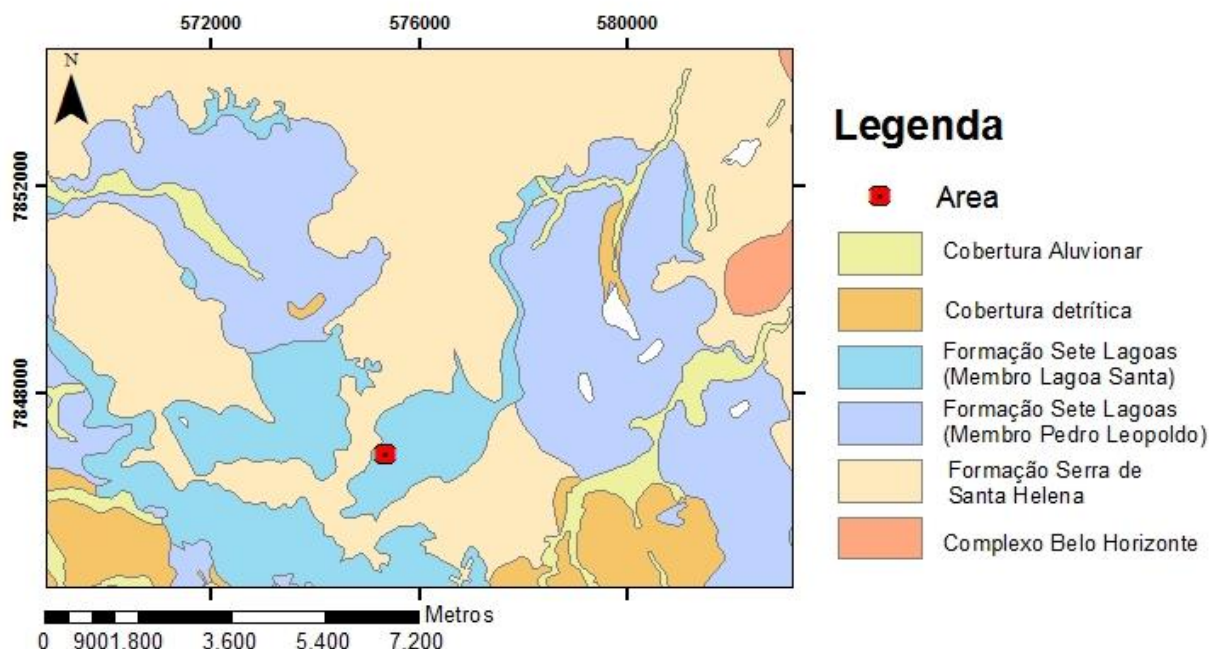


Figura 2: Mapa litológico da área de estudo. (Fonte: Modificado de Tuller, 2009).

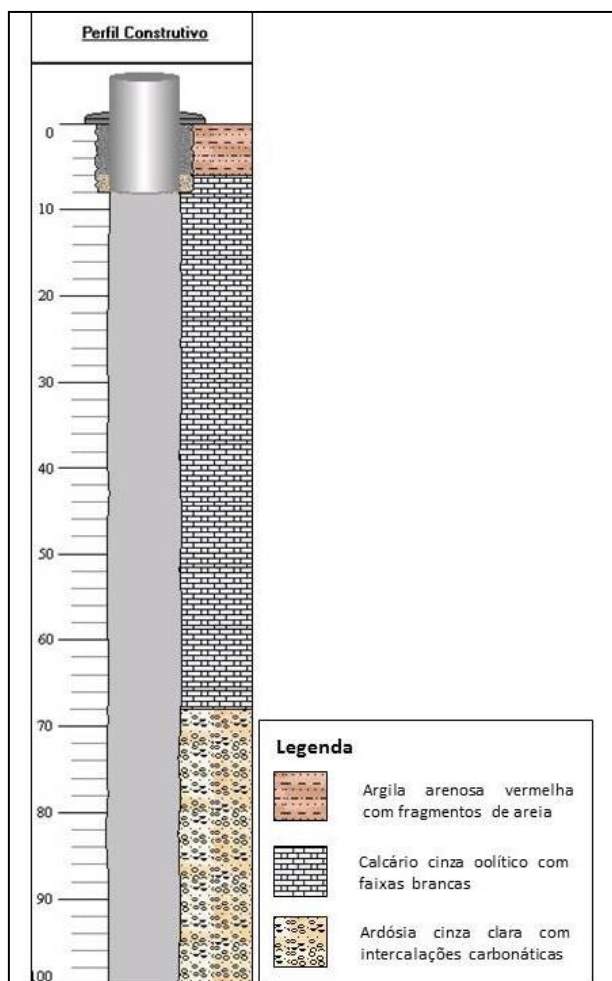


Figura 3: Perfil do poço de bombeamento de água próximo à área de estudo (Fonte: Modificado SIAGAS).

3 MÉTODO DE ELETORRESISTIVIDADE AZIMUTAL COM ARRANJO QUADRÁTICO

Um levantamento de resistividade azimutal utilizando o arranjo quadrático é conduzido de uma maneira similar ao tradicional arranjo colinear. A locação do levantamento é atribuída ao ponto central do quadrado. O espaçamento dos eletrodos é dado pelo comprimento do lado do quadrado. O método usa vários quadrados de mesmo tamanho rotacionados com incrementos angulares iguais ao redor do ponto central. Para cada quadrado, duas medidas perpendiculares são feitas - alfa, α e beta, β (Figura 4). Essas medidas fornecem informações da variação direcional da resistividade aparente na subsuperfície (pa).

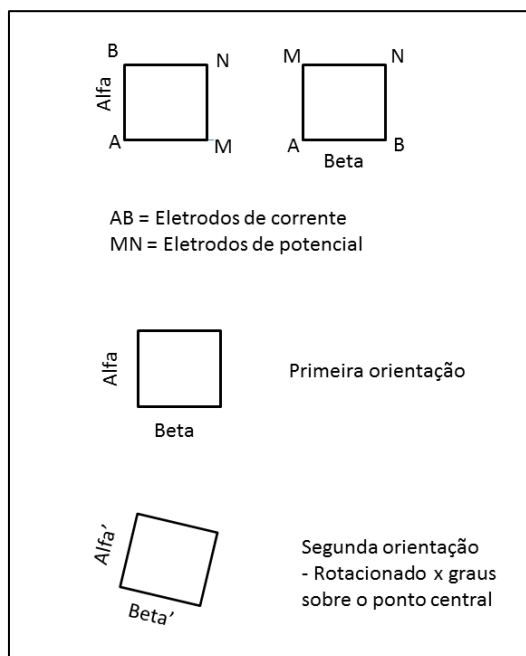


Figura 4: Posição dos eletrodos para medidas no arranjo quadrático (Fonte: modificado de Lane et al, 1995).

A resistividade aparente é determinada usando a equação:

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I \quad (01)$$

Onde K = fator geométrico para o arranjo, ΔV = diferença de potencial e I = magnitude da corrente, em Amperes.

Para o arranjo quadrático,

$$K = 2\pi A / (2 - 2^{\frac{1}{2}}) \quad (02)$$

(Habberjam e Watkins, 1967)

Onde A = tamanho da aresta do quadrado, em metros.

4 METODOLOGIA

Primeiramente realizou-se uma sondagem elétrica vertical (SEV) com o arranjo Schlumberger no intuito de descobrir o nível da água subterrânea encontrando-o a 5 metros, aproximadamente.

Depois realizou-se o levantamento azimuthal de eletrorresistividade com arranjo quadrático. A dimensão da aresta do quadrado adotada para este estudo foi de 11m, suficiente para alcançar a porção saturada do maciço rochoso. A

corrente elétrica (I) e a diferença de potencial (ΔV) foram medidas nas arestas do quadrado. A cada rotação em torno do ponto central, com ângulo de 15 graus no sentido horário, novas medidas foram adquiridas. No total foram realizadas 12 medidas em 6 quadrados rotacionados. Depois calculou-se o fator geométrico (k) para o tamanho da aresta do quadrado utilizado. Com o fator geométrico e as medidas de corrente e diferença de potencial, calculou-se a resistividade aparente para cada direção.

Posteriormente fizeram-se as medidas de direção e mergulho das fraturas em afloramentos próximos a área de levantamento geofísico. Ao total, foram medidas 45 fraturas.

Os dados obtidos no levantamento quadrático foram representados em um diagrama polar e posteriormente comparados com o diagrama de roseta das fraturas.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir do diagrama polar contendo as medidas de resistividade aparente observou-se que as direções de menores resistividades foram N45E, N15W e N60-75W (Figura 5).

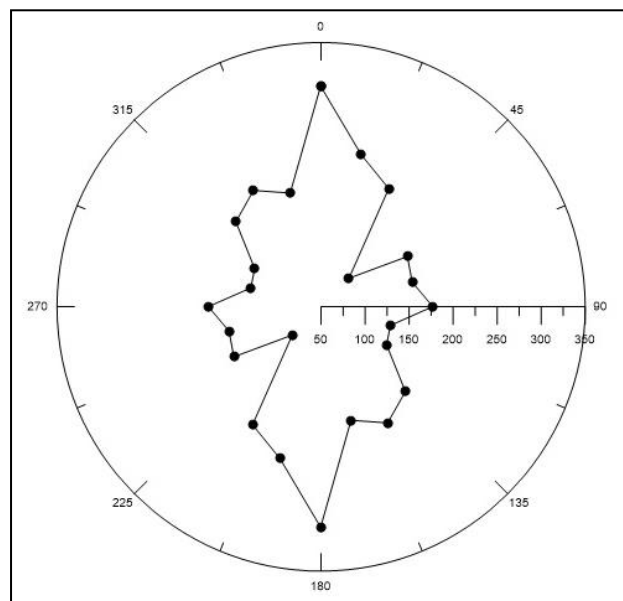


Figura 5: Diagrama polar com as medidas de resistividade.

No diagrama de roseta observou-se uma predominância das fraturas com direção N80-90E e também, com menor frequência, as de direção N60-70E (Figura 6).

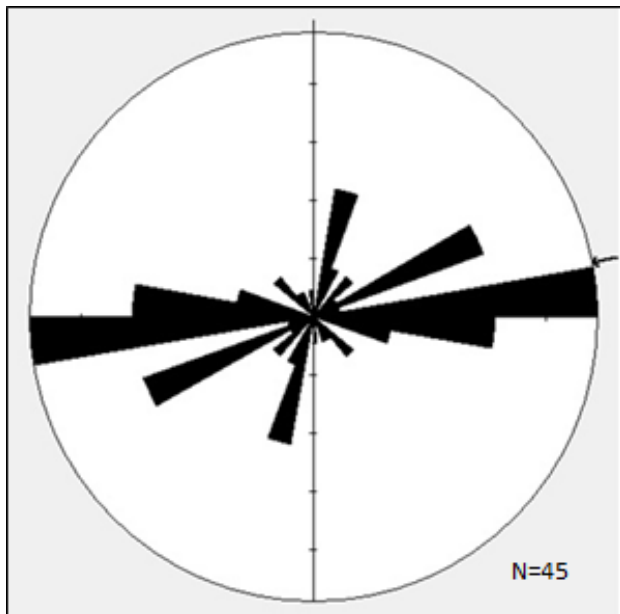


Figura 6: Diagrama de roseta para as fraturas da área de estudo (N=número de medidas).

Fazendo uma comparação entre os dois resultados obtidos percebe-se que as direções com menores valores de resistividade não coincidem exatamente com as direções predominantes das fraturas. Porém, traçando-se elipses nos contornos dos valores plotados nos diagramas verifica-se que o eixo maior da elipse do diagrama de fraturas (Figura 7) praticamente coincide com o eixo menor da elipse do diagrama polar (Figura 8) diferindo em menos de 10 graus. Possivelmente este resultado se deve ao fato da eletrorresistividade discriminar anomalias mais gerais na escala escolhida para o levantamento, não mostrando assim detalhes. Estudos com outros arranjos estão em andamento para comprovar a eficácia dos levantamentos azimutais.

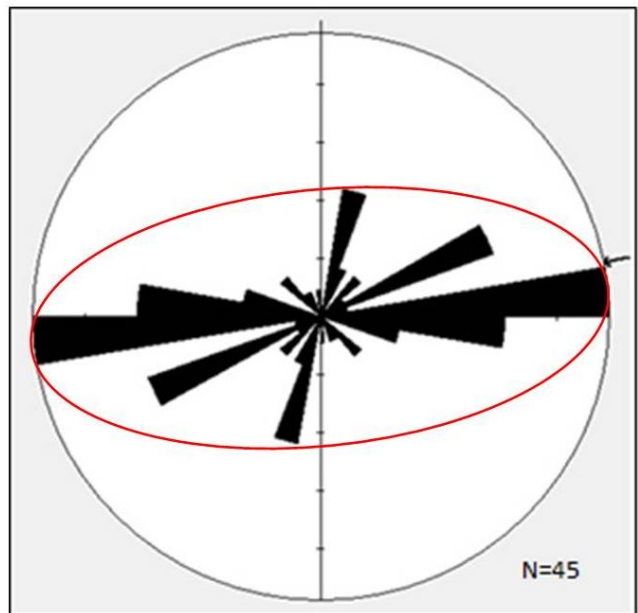


Figura 7: Diagrama polar com as medidas de fraturas englobadas pela elipse.

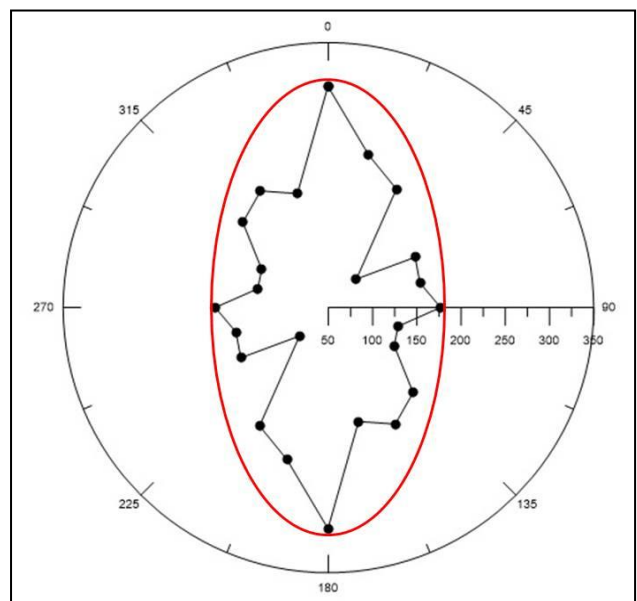


Figura 8: Diagrama polar com as medidas de resistividades englobadas pela elipse.

6 CONCLUSÃO

A partir dos levantamentos realizados na área estudada pode-se inferir que a percolação de água ocorre predominantemente nas discontinuidades de direção N80-90 E.

E assim conclui-se que a técnica de levantamento azimutal de eletrorresistividade com arranjo quadrático de fato é bastante eficaz na determinação das direções preferenciais de

fraturas com percolação de água em maciços rochosos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento aos alunos de graduação da UFMG que ajudaram nas atividades de campo, à UFOP, à Fapemig (Projeto Universal) e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- Alkmim, F.F. e Martins-Neto, M.A. (2001). A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos, In: Pinto, C.P.; Martins-Neto, M.A. (eds.) *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte, MG, Brasil: SBG-MG, 2001, p.9-30.
- Almeida, F.F.M. (1977). O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, SP, Vol. 7, n.4, p. 349-364.
- Dardenne, M.A. (1980). A estratigrafia dos Grupos Bambuí e Macaúbas no Brasil Central. In: *simpósio de geologia de Minas Gerais – Geologia do Espinhaço, 1, Diamantina. Atas do 1º Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, SBG, Belo Horizonte, MG, Brasil. Vol. 1, p. 43-53.
- Habberjam, G.M. (1967). The effects of anisotropy on square array resistivity measurements, *Geophysical Prospecting*, Vol. 20, p. 221-235.
- Karfunkel, J. e Hoppe. (1988). A. Late Proterozoic glaciations in central-eastern Brasil: synthesis and model, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, Vol. 65, p. 1-21.
- Lane, J.W., HAENI, Jr. F.P. e Watson, W.M. (1995). Use of a square-array direct-current resistivity method to detect fractures in crystalline bedrock in New Hampshire, *Ground Water*, Vol.33, n.33, p. 476-485.
- Martins-Neto, M.A.; Pedrosa-Soares, A.C. e Lima, S.A. (2001). Tectono-sedimentary evolution of sedimentary basins from Late Paleoproterozoic to Late Neoproterozoic in the São Francisco cráton and Araçuaí fold belt, eastern Brazil, *Sedimentary Geology*, Vol. 141/142, p. 343-370.
- Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Perfil Construtivo do poço. Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?pont_o=3100003320>, Acesso em 20 de mar de 2016.
- Tuller, M.P. (2009). Carta Geológico Folha SE-23-Z-C-II Sete Lagoas. Escala 1:100.000. CPRM. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Uhlein, A.; Trompette, e R.R.; Alvarenga, C.J.S. Neoproterozoic glacial and gravitational sedimentation on continental rifted margin: the Jequitai-Macaúbas sequence (Minas Gerais, Brazil), *Journal South America Earth Sciences*, Vol. 12, p. 435-451.
- Ingold, T.S. e Miller, K.S. (1983). Drained Axisymmetric Loading of Reinforced Clay, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 109, p. 883-898.
- Leshchinsky, D. e Perry, E.B. (1987) A Design Procedure for Geotextile Reinforced Walls, *Geosynthetics'87*, IFAI, New Orleans, LA, USA, Vol. 1, p. 95-107.
- Silva, A.R.L. (1995) *Análise de Estabilidade de Aterros Reforçados Sobre Solos Moles*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 183 p.
- Terzaghi, K. e Peck, R.B. (1987) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA, 685 p.