

TRANSMISSIVIDADE DE AQUÍFEROS SEM ENSAIO DE BOMBEAMENTO PELO MÉTODO DA ZONA DE CAPTURA

Paulo Galvão¹; Todd Halihan²; Ricardo Hirata³

Resumo – A transmissividade é um parâmetro hidráulico importante para se determinar a quantidade de água que flui horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. As técnicas para se quantificar esse parâmetro, como análises granulométricas ou testes de aquíferos, podem apresentar limitações de escala, de viabilidade, ou econômica. Uma técnica que pode ser utilizada, porém pouco adotada, é a análise de zona de captura. Nesta pesquisa, foram utilizadas equações analíticas de zona de captura para estimar a transmissividade do Aquífero Cárstico Sete Lagoas (Sete Lagoas/MG). O objetivo foi verificar a eficácia da metodologia como alternativa em situações onde outros métodos apresentam dificuldades de execução, por motivos econômicos, inviabilidade de infraestrutura, ou limitação de dados. O método mostrou ser uma ferramenta viável e econômica, que pode substituir ensaios de bombeamento em casos onde esses testes sejam inviáveis.

Palavras-Chave – Transmissividade; zona de captura; teste de aquífero.

Abstract – The transmissivity is an important hydraulic parameter to determine the amount of water passed horizontally across the saturated thickness of the aquifer. The techniques to quantify this parameter, such as grain size analyses or aquifer tests, can have limitations of scale, viability, or economically. One technique that can be used, but little adopted, is the capture zone analysis. In this research, capture zone analytical equations were used to estimate the transmissivity of the Sete Lagoas Karst Aquifer (Sete Lagoas/MG). The objective was to verify the effectiveness of the methodology as an alternative in situations where other methods present implementation difficulties, for economic reasons, infrastructure impracticability, or data limitation. The method showed to be a viable and economical tool that can replace pumping tests in cases where these tests are not feasible.

Keywords – Transmissivity; capture zone; aquifer test.

¹ Universidade Federal de Ouro Preto, DEGEO, Morro do Cruzeiro Campus, Ouro Preto/MG, BR, 35400-000 (hidropaulo@gmail.com)

² Oklahoma State University, School of Geology, 105 Noble Research Center, Stillwater/OK, 74078, USA (todd.halihan@okstate.edu)

³ Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS/USP), Rua do Lago 562, São Paulo/SP, BR, 05508-080 (rhirata@usp.br)

1 – INTRODUÇÃO

A transmissividade é um parâmetro hidráulico que corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero (Fetter, 1994). Seria a taxa de escoamento da água através de uma faixa vertical do aquífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário (Freeze e Cherry, 1979). A transmissividade depende do formato, quantidade e interconectividade de espaços vazios. Esse parâmetro, comumente, é quantificado via análises granulométricas, permeâmetros, testes de aquíferos, slug testes e modelos numéricos que geram valores tanto em escalas locais, como regionais.

Essas técnicas podem apresentar certas limitações, como em escala, viabilidade, ou até econômica. Por exemplo, testes de aquíferos podem ocasionar incômodos à população se feitos em regiões urbanas, pois as águas bombeadas durante o teste, geralmente, são descartadas, resultando em desperdício. Outros limitadores seriam os custos e mobilizações de campo, ou retirada momentânea do poço testado da rede de abastecimento público. Análises granulométricas, slug testes e o uso de permeâmetros apresentam limitações em escala, onde os valores calculados correspondem apenas aos trechos locais da rocha/aquífero analisado. Dependendo da composição litológica do aquífero, esses valores não devem ser estendidos a trechos maiores do aquífero.

Uma técnica que também pode ser utilizada para estimar a transmissividade de um aquífero, porém pouco adotada, é a análise de zona de captura, definida como a área de um aquífero em que toda a água será removida por um poço, ou poços de bombeamento, dentro de um determinado período de tempo (Todd, 1980; Grubb, 1993). As equações desenvolvidas para essa análise requerem valores de transmissividades ou de condutividades hidráulicas do aquífero. Dessa forma, com uma simples derivação dessas fórmulas, é possível estimar esses parâmetros hidráulicos indiretamente. Em alguns casos, as equações podem ser sobrepostas para calcular a zona de captura de múltiplos sistemas de poços (Javandel e Tsang, 1986).

Nesta pesquisa, foram utilizadas as equações analíticas de zona de captura para estimar a transmissividade de um trecho do Aquífero Cárstico Sete Lagoas (Pessoa, 1996; Galvão, 2015a), localizado dentro da zona urbana do município de Sete Lagoas/MG. O objetivo foi verificar a eficácia dessa metodologia como alternativa em situações onde outros métodos possam apresentar dificuldades de execução, por motivos econômicos, inviabilidade de infraestrutura, ou limitação de dados. A partir de um mapa de superfície potenciométrica, foi reconhecido um cone de rebaixamento de dimensões significativas onde as equações para zona de captura foram utilizadas. Os resultados obtidos dessas análises foram comparados com dados de testes de aquíferos realizados na mesma região, assim como foi feita uma análise de sensibilidade, para se verificar possíveis discrepâncias entre os dados analíticos e os de campo.

2 – ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na zona urbana do município de Sete Lagoas/MG, 70 km a noroeste de Belo Horizonte (Figura 1). Sete Lagoas possui em torno de 230.000 habitantes em uma área de 538 km² (IBGE, 2015), onde a maior densidade populacional situa-se nas zonas urbanas mais antigas do município, próximas da Serra de Santa Helena. O abastecimento de água é quase inteiramente subterrâneo via poços públicos e privados. Os poços de abastecimento público são geridos pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto). As maiores taxas de bombeamento estão localizados em áreas com maior densidade populacional (Figura 1).

A área está localizada no Cráton do São Francisco, onde sedimentos silicato-carbonáticos deram origem ao Grupo Bambuí (Branco e Costa, 1961; Oliveira, 1967; Schöll e Fogaça, 1973; Dardene, 1978; Schobbenhaus, 1984; Ribeiro et al., 2003; Tuller et al., 2010; Galvão et al., 2016). Na região, as unidades são distribuídas, a partir da porção basal, pelas seguintes formações neoproterozoicas: Sete Lagoas (sequência carbonática); Serra de Santa Helena (siltitos, filitos, ardósias e margas) e Lagoa do Jacaré (calcários oolíticos). A área de estudo encontra-se em um contexto de borda de bacia, onde o embasamento cristalino é representado por rochas gnáissicas associadas a granitóides e zonas migmatizadas do Complexo Belo Horizonte.

O Aquífero Cárstico Sete Lagoas é o mais importante da região, sendo que suas relações hidroestratigráficas e distribuição espacial podem ser vistas em Pessoa (1996) e em Galvão et al. (2015a). O aquífero possui, na área estudada, aproximadamente 75 m de espessura, e consiste de calcários neoproterozoicos divididos em dois membros: Pedro Leopoldo (na base) e Lagoa Santa (no topo), onde a porosidade primária e permeabilidade da matriz são baixíssimas (Moore, 1989; Galvão et al. 2015b). A porosidade secundária é majoritariamente preenchida por precipitação de calcita (Tonietto, 2010). Portanto, a água subterrânea se movimenta através de feições de dissolução cárstica via porosidade terciária (Galvão et al. 2015a).

Segundo Galvão et al. (2015a), a área urbana de Sete Lagoas (Figura 1) localiza-se em um baixo estrutural preenchido pelos calcários da Formação Sete Lagoas. Esses calcários são recobertos por sedimentos inconsolidados cenozoicos e, ocasionalmente, pelas rochas competentes da Formação Serra de Santa Helena. Devido à baixíssima porosidade primária nesses calcários, as principais discontinuidades por onde a carstificação atuou foram os planos de acamamentos. O resultado foi o surgimento de dois planos de acamamento dominantes carstificados de alta permeabilidade e capacidade de armazenamento: 1) zona de dissolução mais rasa e contínua de 1-8 m de espessura, perto do contato com os sedimentos inconsolidados subjacentes; e 2) 10-20 m abaixo, zona de dissolução contínua mais delgada de 20 cm a 1 m de espessura. Esses dois planos de acamamento carstificados tornam-se menos espessos para o nordeste do município.

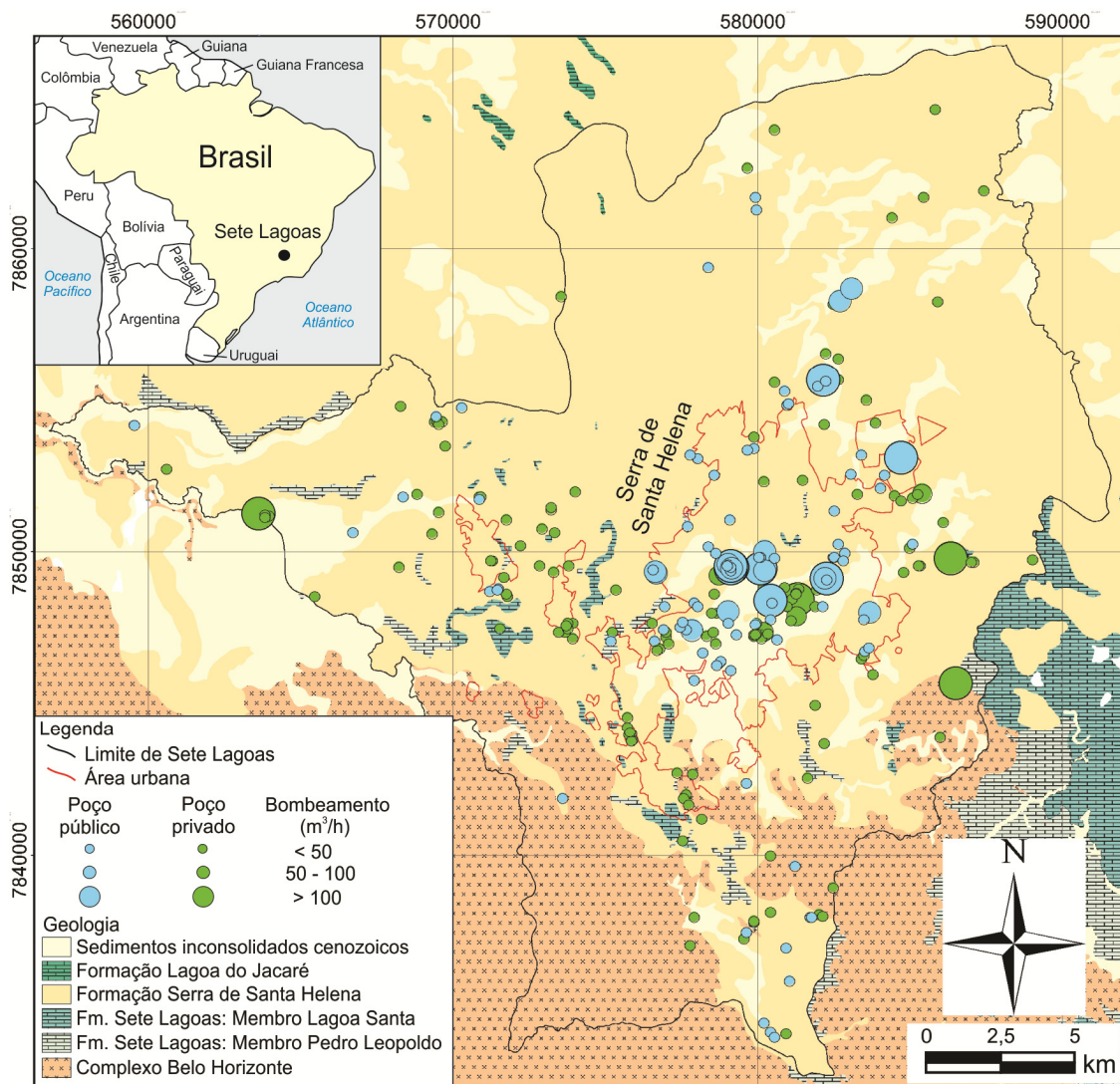


Figura 1 – Localização, em coordenadas UTM, de Sete Lagoas/MG mostrando o limite municipal e área urbana, os poços de abastecimento (públicos e privados) e a geologia. As maiores taxas de bombeamento estão localizadas nas áreas centrais, de maior densidade populacional.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Dados de superfície potenciométrica e análise de zona de captura

Para desenvolver o mapa de superfície potenciométrica, foram tomadas medidas do nível de água apenas em poços de abastecimento do SAAE que captavam águas do Aquífero Cárstico Sete Lagoas. Os dados de elevação dos poços foram adquiridos via imagem SRTM [*Shuttle Radar Topography Mission*]. A precisão na utilização destes dados é menor do que 5 m, o que faz o uso da imagem SRTM uma fonte viável e econômica (Demétrio et al., 2006).

A partir da potenciométrica, foi determinada a geometria da zona de captura, baseada nas feições das linhas de fluxo da superfície potenciométrica. Com base nessa geometria, foi estimada a

transmissividade do aquífero utilizando as equações analíticas (1) e (2) derivadas para aquíferos confinados que delimitam as bordas de uma zona de captura (Todd, 1980; Grubb, 1993):

$$T_x = -\frac{Q}{2\pi X_L i} \quad (1)$$

$$T_y = \pm \frac{Q}{2Y_L i} \quad (2)$$

Onde T_x e T_y [L^2/t] são valores de transmissividade em suas respectivas direções; Q [L^3/t] é a vazão de taxa de bombeamento global ou taxa global de descarga; X_L [L] é a distância a partir do poço de bombeamento para a borda da frente da zona de captura (ponto de estagnação); Y_L [L] é a metade da largura da zona de máxima captura; e i [adimensional] é o gradiente hidráulico.

O valor de Q foi estimado somando os dados de taxas de bombeamento dos poços de abastecimento público (cedidos pelo SAAE) e de poços privados (via bando de dados do SIAGAS) localizados dentro da zona de captura. O valor total estimado foi de 75.000 m^3/d .

O próximo passo foi estimar o valor de T com base no melhor ajuste empírico de zona de captura, para comparar com a zona de captura via mapa de potenciometrias, usando a equação (3) que descreve as bordas de uma zona de captura para aquífero confinado:

$$x = \frac{-y}{\tan\left[\frac{2\pi T i y}{Q}\right]} \quad (3)$$

Onde x [L] é a distância paralela ao gradiente hidráulico e y [L] é a distância perpendicular ao gradiente hidráulico (Todd, 1980; Grubb, 1993).

Uma análise de sensibilidade foi feita para avaliar a possível variabilidade desta abordagem ajustando intervalos dos valores de T estimados em testes de aquífero realizados na região.

3.2 – Testes de aquífero

Para efeito de comparação, sete testes de aquífero de longa duração (48 horas) (Tabela 1), todos em regime transiente, foram realizados para calcular, pelo método de Theis (1935), valores de T . Os ensaios consistiram em bombear um poço com vazão constante e o acompanhamento da evolução dos rebaixamentos produzidos em um (ou mais de um) poço de observação situado a uma distância r [L] qualquer do poço bombeado. Todos os poços testados foram os do SAAE,

localizados na porção central da zona urbana, captando apenas águas do Aquífero Cárstico Sete Lagoas. Vale ressaltar que resultados de teste de aquífero em regiões cársticas devem ser levados sempre com cautela, devido à heterogeneidade e anisotropias inerentes desses aquíferos. Entretanto, os testes realizados nesta pesquisa geraram curvas de rebaixamentos *versus* tempo plausíveis, portanto, coerentes para o uso do método de Theis.

Tabela 1 – Informações sobre os ensaios de bombeamentos de longa duração (48 horas) realizados em sete poços do SAAE. Todos os ensaios captaram águas do Aquífero Cárstico Sete Lagoas.

Poço bombeado	Vazão do ensaio (m ³ /h)	NE do poço bombeado (m)	Poços observados	Distâncias para o poço bombeado (m)	NE do poço observado (m)
PT-12	96,2	57,39	PT-11	70,1	57,02
PT-15	40,4	49,67	PT-14	200,7	55,48
PT-19	128,2	9,91	PT-21	72,4	9,74
PT-22	92,2	12,08	PT-25B	75,1	9,36
PT-40	61,5	0,76	PT-39	175,2	2,14
			PT-41	230,3	2,52
PT-64	194,1	22,45	PT-63	310,0	29,11
			PT-66	70,0	18,75
PT-105	47,1	29,72	PT-29	28,3	31,66

NE: Nível estático.

Por fim, todos os dados foram inseridos em ambiente georreferenciado, utilizando o software ArcGIS 10.1. O sistema de coordenadas foi UTM [*Universal Transverse Mercator*], Zona 23, datum SAD 69 e unidades em metros.

4 – RESULTADOS

4.1 – Mapa de superfície potenciométrica e zona de captura

De acordo com os dados de superfície potenciométrica e suas linhas de fluxo de água subterrânea (Figura 2a), a Serra de Santa Helena comporta-se como um divisor de águas entre duas bacias hidrográficas. Na porção oriental do mapa, a água subterrânea flui para o nordeste, enquanto que a porção ocidental tem a água subterrânea fluindo para o noroeste. Na porção central do mapa, existe uma convergência das linhas de fluxo, resultado de um cone de rebaixamento de 68 km², aproximadamente. Esse cone de depressão ocorre devido às altas taxas de bombeamento feitas por múltiplos poços nessa região.

4.2 – Análise da zona de captura e estimativa da transmissividade

Para estimar a transmissividade do aquífero, foi aplicado o método de zona de captura num sistema de múltiplos poços a partir do mapa de superfície potenciométrica. Utilizando as equações (1) e (2), com um ponto de estagnação, $X_L = - 2.000$ m; metade da largura da zona de máxima captura, $Y_L = \pm 4.000$ m; taxa global de descarga, $Q = 75.000$ m³/d (Figura 2b); e gradiente hidráulico, $i = 0,008$ (Figura 2a), as transmissividades foram estimadas:

$$T_x = - \frac{75.000}{2 * 3,1416 * (-2.000) * 0,008} \cong 750 \text{ m}^2/\text{d} (0,9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s})$$

$$T_y = \pm \frac{75.000}{2 * 4.000 * 0,008} \cong 1,170 \text{ m}^2/\text{d} (1,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s})$$

Assim, a transmissividade para o aquífero, via método analítico, pode variar entre 750 e 1.170 m²/d. Como a espessura do aquífero, nessa região, é de aproximadamente 75 m (Galvão et al. 2015a), é possível também calcular a condutividade hidráulica, K [L/t], do aquífero. Os valores de K podem variar entre 10 e 16 m/d ($1,2 \times 10^{-4} - 1,8 \times 10^{-4}$ m/s).

4.3 – Ensaio de bombeamento e valores de transmissividade

Os sete testes de aquífero indicaram valores de T entre 330 m²/d, na região nordeste, e de 3.360 m²/d, perto da Serra de Santa Helena. Os poços testados na porção central urbana também mostraram valores altos de transmissividade, em torno de 1.500 m²/d. Mais ao norte, esses valores foram da ordem de 600 m²/d (Figura 3). Fazendo-se uma média de todos os valores, $T_{\text{médio}}$ seria de aproximadamente 1.190 m²/d. Descartando o valor de T próximo à Serra de Santa Helena, que mostra-se atípico em comparação aos outros, o $T_{\text{médio}}$ da região ficaria em torno de 920 m²/d.

4.4 – Comparando o método de zona de captura com testes de bombeamento

Para avaliar a possível variabilidade usando a metodologia analítica da zona de captura, uma análise de sensibilidade foi feita ajustando intervalos dos valores de T estimados nos ensaios de bombeamento, vistos da Figura 3 ($T = 700, 800, 900, 1.000$ e 3.000 m²/d). Assim, foram geradas curvas empíricas simulando limites de zonas de capturas para cada um desses intervalos. O melhor ajuste da curva da zona de captura empírica foi encontrado com a transmissividade = 900 m²/d (ver linhas tracejadas e linha contínua pretas na Figura 2c). Com esse valor de T , a condutividade

hidráulica será de 12 m/d ($1,4 \times 10^{-4}$ m/s). Os cálculos para o melhor ajuste da zona de captura empírica ($T = 900$ m²/d) podem ser vistos abaixo:

Passo 1: metade da largura da zona de captura, X_L [L]:

$$Y_L = \pm \frac{75.000}{2 * 900 * 0,008} \pm 5.210 \text{ m}$$

Passo 2: distância do ponto de estagnação, X_L [L]:

$$X_L = -\frac{75.000}{2 * 3,1416 * 900 * 0.008} \cong -1.660 \text{ m}$$

Passo 3: formato da curva descrevendo a zona de captura, x [L]. Os valores que se seguem são para uma metade da zona de captura, que é simétrico em relação ao eixo x:

$$x = \frac{-y}{\tan \left[\frac{2 * 3,1416 * 900 * 0,008y}{75.000} \right]} = -y / \tan (0,000603y)$$

Portanto, o valor de $T = 900$ m²/d, a partir do melhor ajuste do método empírico, encontra-se na mesma ordem de grandeza dos valores estimados via método analítico, que variam entre 750 e 1.170 m²/d. Esses mesmos intervalos também apresentam mesma ordem de grandeza dos valores de $T_{\text{médio}}$ a partir dos ensaios de bombeamentos (1.190 e 920 m²/d).

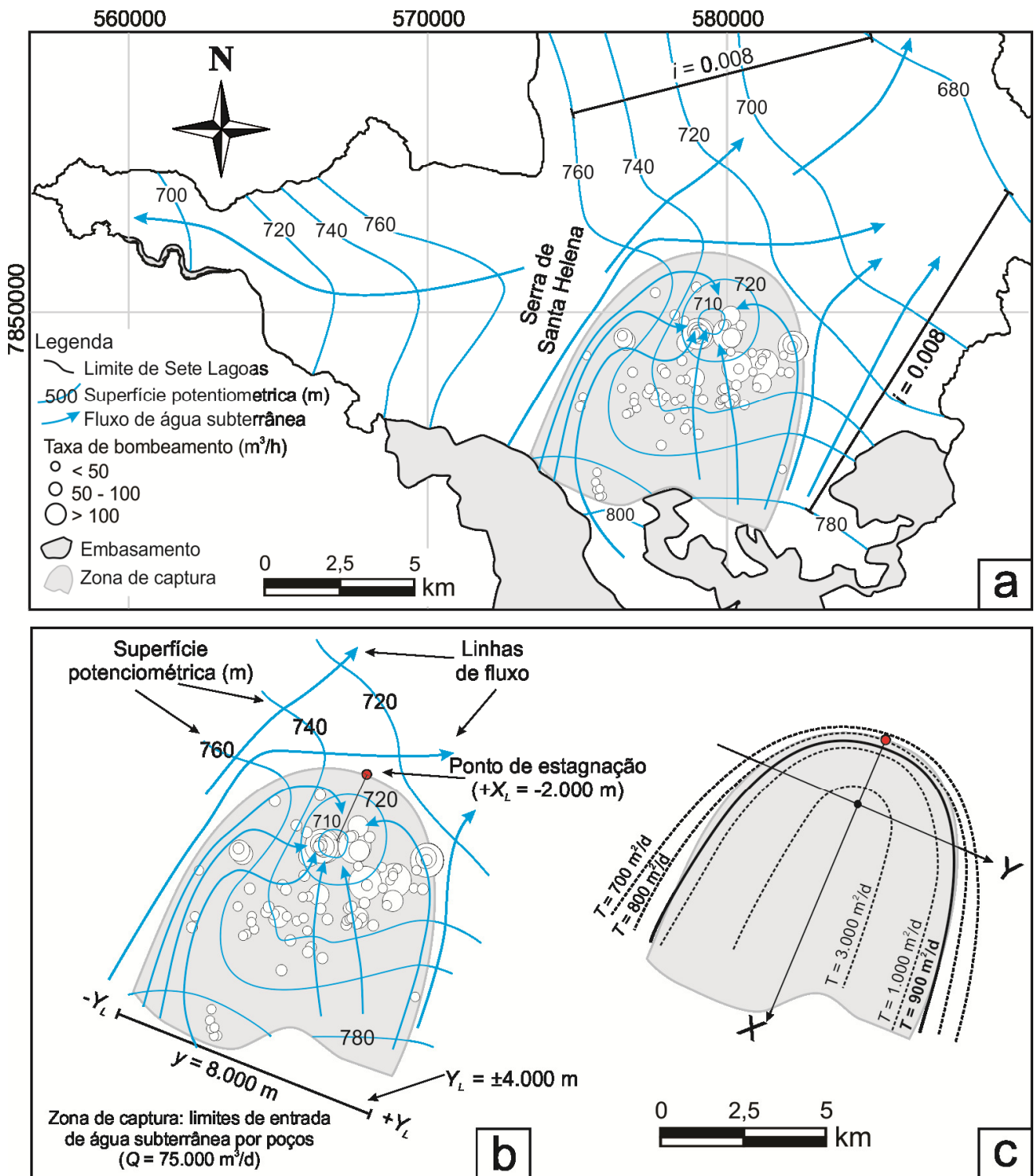


Figura 2 – Superfície potentiométrica do aquífero, onde é reconhecida uma zona de captura (a).

Descrição da geometria da zona de captura, seus parâmetros e respectivas variáveis (b).

Comparação entre os melhores ajustes das curvas empíricas de zonas de capturas (linhas tracejadas e contínua pretas) e a zona de captura potentiométrica (área cinza) (c).

confirmaram zonas mais carstificadas (Galvão, et al., 2015a). Nessa região central, os calcários são recobertos apenas por sedimentos inconsolidados cenozoicos, resultando em maior infiltração direta de águas mais ácidas (Galvão et al., 2016). Mais ao norte, onde os valores de T e K são menores, a Formação Sete Lagoas encontra-se em profundidades maiores, sendo coberta por rochas competentes e impermeáveis da Formação Serra de Santa Helena. Essa configuração resulta em zonas de carstificação menos intensas, devido à menor taxa de infiltração de águas ácidas que possam desequilibrar hidroquimicamente o sistema. A média da transmissividade dentro da zona de captura seria de aproximadamente 1.190 m²/d, ou de 920 m²/d, esta última descartando o valor de T mais acentuado próximo da Serra de Santa Helena.

Comparando os dados de T calculados analiticamente pela zona de captura (750 - 1.170 m²/d) e os valores médios encontrados nos ensaios de bombeamento (920 - 1.190 m²/d), percebe-se uma similaridade entre esses valores. Apesar dessas semelhanças, tal comparação deve ser ainda levada com cautela, podendo ser considerada até como uma coincidência. Para diminuir essas dúvidas e confirmar a relevância do método analítico aplicado, a análise de sensibilidade via curvas empíricas foi feita usando os intervalos de transmissividades medidos em campo (Figura 2c). Exatamente o valor de $T = 900$ m²/d resultou em uma curva empírica de melhor ajuste à zona de captura observada no mapa de superfície potenciométrica (ver linha preta contínua na Figura 2c). Essa análise corrobora com a efetividade do método analítico e, conseqüentemente, com a confiabilidade dos resultados calculados.

6 – CONCLUSÕES

A utilização das equações desenvolvidas para o método analítico de zona de captura mostrou-se uma ferramenta viável e econômica para estimativas de transmissividades e, conseqüentemente, de condutividade hidráulica. Portanto, essa metodologia pode substituir, eventualmente, a necessidade de ensaios de bombeamento em casos onde essa prática seja inviável.

Entretanto, para o uso da análise de zona de captura, são necessários, *a priori*, alguns requisitos mínimos: a confecção de um mapa de superfície potenciométrica confiável que possa ser reconhecida uma zona de captura com uma geometria que possibilite a identificação das variáveis necessárias para a utilização das equações analíticas.

Essa pesquisa foi desenvolvida em um aquífero cárstico, caracterizado por ser heterogêneo e anisotrópico. Isso poderia resultar em discrepâncias nos valores de transmissividades. Entretanto, os valores analíticos comparados com os de campo apresentaram similaridades, sendo esses confirmados por análise de sensibilidade. Dessa forma, pode-se imaginar que a metodologia de

zona de captura, satisfatória nessa região cárstica estudada, sendo aplicada em aquíferos porosos (onde a homogeneidade e isotropia são mais comuns), resultará em análises bem mais confiáveis.

O valor de transmissividade global para o trecho urbano estudado do Aquífero Cárstico Sete Lagoas pode ser considerado em torno de 900 m²/d (10⁻² m²/s) e condutividade hidráulica de 12 m/d (1,4 x 10⁻⁴ m/s).

Agradecimentos – Servmar Ambiental & Engenharia e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo 2012/12846-9).

7 – REFERÊNCIAS

- BRANCO, J. J. R. e Costa, M. T., 1961. Roteiro da excursão Belo Horizonte – Brasília. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 14, Brasília, 1960, Instituto de Pesquisas Radioativas, UFMG, Publicação 15, Belo Horizonte, 25 p.
- DARDENNE, M. A., 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, 1978, Recife. Anais Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, v.2, p.597-610.
- DEMÉTRIO, J. G. A., Correia, L. C., e Saraiva, A. L., 2006. Utilização de Imagens SRTM na Confecção de Mapas Potenciométricos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Resumos. Curitiba, ABAS, 176p.,
- FETTER, C. W., 1994. Applied Hydrogeology. New York: Macmillan, 691 p.
- FREEZE, A. R., e Cherry, J. A., 1979. Groundwater: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 604 p.
- GALVÃO, P., Halihan, T., e Hirata, R., 2015a. Evaluating karst geotechnical risk in the urbanized area of Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil. Hydrogeology Journal. Vol. 23, No. 7, 1499-1513.
- GALVÃO, P., Halihan, T., e Hirata, R., 2015b. The karst permeability scale effect of Sete Lagoas, MG, Brazil. Journal of Hydrology. v. 531, P. 85/15-105. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.11.026.
- GALVÃO, P., Hirata, R., Cordeiro, A., Osório, D. B., e Peñaranda, J., 2016. Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 88 (1), 35-53.
- GRUBB, S., 1993. Analytical model for estimation of steady-state capture zones of pumping wells in confined and unconfined aquifers. Ground Water, vol. 31, no. 1, p. 27-32.
- IBGE, 2015. Informações sobre os municípios brasileiros. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=316720&search=minas-geraissete-lagoas> Acessado em outubro de 2015.

- JAVANDEL, I. C., e Tsang, C. F., 1986. Capture zone types curves: A tool for aquifer cleanup. *Ground Water*. v. 24, no. 5, pp. 616-625.
- MOORE, C. H., 1989. Carbonate diagenesis and porosity. *Development in sedimentology* 46. Amsterdam: Elsevier, 338 p.
- OLIVEIRA, M. A. M., 1967. Contribuição à geologia da parte Sul da Bacia do São Francisco e áreas adjacentes. In: *Coletânea de Relatórios de Exploração*, 1. Rio de Janeiro: Petrobrás, n.3, p.71-105.
- PESSOA, P., 1996. Caracterização Hidrogeológica da Região de Sete Lagoas – MG: Potencialidades e Riscos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- RIBEIRO, J.H., Tuller, M.P., e Danderfer Filho, A., 2003. Geological mapping of the region of Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Morais, Confins and Funilândia, Minas Gerais State, Brazil (scale 1:50,000). 2nd edn. Belo Horizonte. 54 p
- SCHOBENHAUS, C., 1984. Geologia do Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. p. 275, 276, 277.
- SCHÖLL, W. U., e Fogaça, A. C. C., 1973. Estratigrafia da Serra do espinhaço na região de Diamantina. In: *Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 1. Atas. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/MG [Bol. 1]
- THEIS, C.V., 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Transactions of the American Geophysical Union*. v. 16, pp.519-524.
- TODD, D. K., 1980. *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons, NY. 535 pp.
- TONIETTO, S.N., 2010. Diagenesis and hydrothermal rocks in Proterozoic carbonates: Bambuí and Vazante Groups, São Francisco Basin. Master Thesis. Institute of Geosciences, University of Brasília. Federal District.
- TULLER, M. P., Ribeiro, J. H., Signorelli, N., Féboli, W. L., e Pinho, J. M. M., 2010. Projeto Sete Lagoas - Abaeté, Estado de Minas Gerais (CPRM) Orgs.- Belo Horizonte: CPRM-BH. 160p. 06 mapas geológicos, escala 1:100.000 (Série Programa Geologia do Brasil) versão impressa e em meio digital, textos e mapas.