

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE AQUIFERO FREÁTICO EM ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS, SP

Thiago Augusto Maziero¹; Pedro Henrique Carneiro² & Edson Cezar Wendland³

Resumo - O objetivo do presente trabalho foi a determinação da condutividade hidráulica do aquífero freático da região central do Município de São Carlos, Estado de São Paulo. A condutividade hidráulica foi determinada em 19 piezômetros que compõem a rede permanente de monitoramento de água subterrânea das sub-bacias adjacentes do Córrego do Gregório e do Córrego do Tijuco Preto. A técnica utilizada foi *slug test* e para analisar os dados obtidos empregou-se o método desenvolvido por Bouwer & Rice (1976). Os valores da condutividade hidráulica apresentaram-se no intervalo de $4,55 \cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $7,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Em um poço foram utilizadas 3 (três) diferentes metodologias de variação do nível d'água, e os resultados demonstraram valores de mesma ordem de grandeza para a condutividade hidráulica. Os valores encontrados para a condutividade hidráulica são compatíveis aos valores da bibliografia especializada para os respectivos solos da formação.

Abstract - Aim of this link was to determine the hydraulic conductivity of the free aquifer in central area of São Carlos, State of São Paulo. The hydraulic conductivity was determined in 19 piezometers that compose the groundwater monitoring permanent net work of Gregório's and Tijuco Preto's Stream sub-basins. The slug test technique was used and to analyze the acquired data the method developed by Bouwer & Rice (1976) was used. The hydraulic conductivity values were in the interval between $4,55 \cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and $7,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. In one of the wells 3 (three) different procedures of water table variation were used. The results showed hydraulic conductivity values of same order. The found hydraulic conductivity values are compatible to values for respective soils of the geologic formation presented in the specialized bibliography.

¹ Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; Departamento de Hidráulica e Saneamento; SHS-EESC-USP, Caixa Postal 359; 13560-970; São Carlos; SP; Brasil; (16) 3376-3007; (16) 3373-9550; tam@sc.usp.br

² Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; Departamento de Hidráulica e Saneamento; SHS-EESC-USP, Caixa Postal 359; 13560-970; São Carlos; SP; Brasil; (16) 3307-6394; (16) 3373-9550; pedro.carneiro@uol.com.br

³ Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; Departamento de Hidráulica e Saneamento; SHS-EESC-USP, Caixa Postal 359; 13560-970; São Carlos; SP; Brasil; (16) 3373-9541; (16) 3373-9550; ew@sc.usp.br

Palavras-Chave - água subterrânea; condutividade hidráulica; slug test.

INTRODUÇÃO

A Lei Federal 9 433, de 8 de janeiro de 1997, foi a maior expressão em legitimar o uso dos recursos hídricos. No entanto, esta só faz menção à água subterrânea em dois artigos: o Art. 12, que relata sobre os recursos hídricos passíveis de outorga e o Art. 49, que descreve o que constitui infração às normas de utilização dos recursos hídricos.

Após a Lei 9 433, algumas resoluções foram decretadas a fim de estabelecer diretrizes complementares aos aspectos falhos existentes e prover uma maior abrangência sobre as peculiaridades dos recursos subterrâneos.

A resolução nº 22 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de 24 de maio de 2002, refere-se, em seu Art. 4, ao monitoramento dos recursos subterrâneos, e relata que os Planos de Recursos Hídricos, elaborados por bacia hidrográfica, devem contemplar o monitoramento da quantidade e qualidade dos recursos dos aquíferos, com os resultados devidamente apresentados em mapa e a definição mínima de: I. Rede de monitoramento dos níveis d'água dos aquíferos e de sua qualidade; II. Densidade dos pontos de monitoramento; e III. Frequência de monitoramento dos parâmetros.

As maiores dificuldades na caracterização dos recursos subterrâneos não estão associadas à ausência de uma legislação, apesar da falta de uma conceituação mais realista das características intrínsecas destas, mas aos obstáculos enfrentados no cumprimento da mesma.

A determinação das propriedades hidráulicas de aquíferos é de fundamental importância para o entendimento e caracterização do fluxo de água subterrânea, e conseqüentemente para desenvolvimento de modelos que descrevam este fluxo e forneçam subsídios a uma compreensão condizente a este recurso.

No intuito de promover a aplicação das leis existentes, busca-se neste artigo contribuir para o monitoramento dos recursos subterrâneos, através da caracterização do aquífero freático, utilizando-se para isto a rede permanente de monitoramento, nas sub-bacias adjacentes do Córrego do Gregório e do Córrego do Tijuco Preto, do Município de São Carlos, Estado de São Paulo.

Partindo, assim, do objetivo claro de definir os parâmetros envolvidos na caracterização deste aquífero freático, foi determinada a condutividade hidráulica de 19 piezômetros localizados nessas sub-bacias. A condutividade hidráulica pode ser determinada em laboratório, em campo ou por formulações empíricas. Neste artigo optou-se por determinar a condutividade hidráulica em campo (*in situ*), com a técnica denominada *slug test* [1].

A classificação do clima do Município de São Carlos, pela sistemática Köppen é do tipo Cwa, descrito como clima sub-tropical mesotérmico úmido, com chuvas no verão e estiagem branda no inverno com pequena deficiência de água. A estação chuvosa (outubro a março) é de clima sub-tropical, super úmido. Já a estação seca (abril a setembro) é de clima temperado, sub-úmido. As temperaturas médias são de 26°C no verão e de 16°C no inverno [2].

O relevo de São Carlos, como de toda a região vizinha, tem um aspecto bem movimentado, constituído de mesas e morros isolados, resultado de intensa erosão provocada pelos rios, que partindo de zonas bem elevadas, entalham profundamente o planalto [3].

A geologia da área é formada, principalmente, pelos Sedimentos Cenozóicos. Os Sedimentos Cenozóicos são originados a partir do retrabalhamento dos materiais do Grupo Bauru e das Formações Serra Geral e Botucatu, por meio do intemperismo, da erosão e de um pequeno transporte em meio aquoso [3], [4]. As características geotécnicas dos Sedimentos Cenozóicos se apresentam mal selecionadas, pouco coerentes, com estruturas incipientes, constituindo depósitos superficiais de grande extensão [5].

O leito dos Córregos do Gregório e Tijuco Preto estão sobre os materiais da Formação Serra Geral e do Sedimento Cenozóico Argiloso, com uma pequena mancha do Sedimento Cenozóico Aluvionar no Córrego do Gregório [3], [4].

Os córregos do Gregório e do Tijuco Preto têm transcurso SE-NW. Esses córregos possuem pequena vazão, perfis estabilizados, drenagem dendrítica e não têm controle estrutural exercido pelas formações geológicas locais [6].

Poços de monitoramento do lençol freático

Os piezômetros utilizados fazem parte da rede permanente de monitoramento de água subterrânea das sub-bacias do Córrego do Gregório e do Córrego do Tijuco Preto. Os piezômetros estão dispostos ao longo das margens dos córregos, e perpendiculares a estas, em distâncias que variam de 50 m a 200 m. As profundidades dos piezômetros variam de 4,31 m a 13,32 m.

A distribuição espacial dos poços considera fatores como a existência de áreas livres da impermeabilização, facilidade de acesso e priorização das áreas públicas, além da necessidade de amostrar toda sua extensão.

Os furos foram executados com a técnica de perfuração de estaca do tipo Strauss (com revestimento da camisa), considerada ser uma técnica de baixo custo e que evitaria desmoronamentos durante a execução. O diâmetro do furo é de 9”.

Os piezômetros são de tubo de *PVC* branco de 4” de diâmetro, revestidos na porção inferior (altura de 1,5 m) com geotêxtil que atua como filtro. O pré-filtro (altura de 1,5 m) utilizado foi areia grossa. O restante do furo foi preenchido com o próprio material escavado. Os tubos de *PVC*,

possuem tampas (*caps*) em ambas as extremidades, evitando a entrada de material sólido. Na extremidade superior do tubo de *PVC*, ou seja, na superfície do terreno, existe um bloco de concreto com a finalidade de proteção.

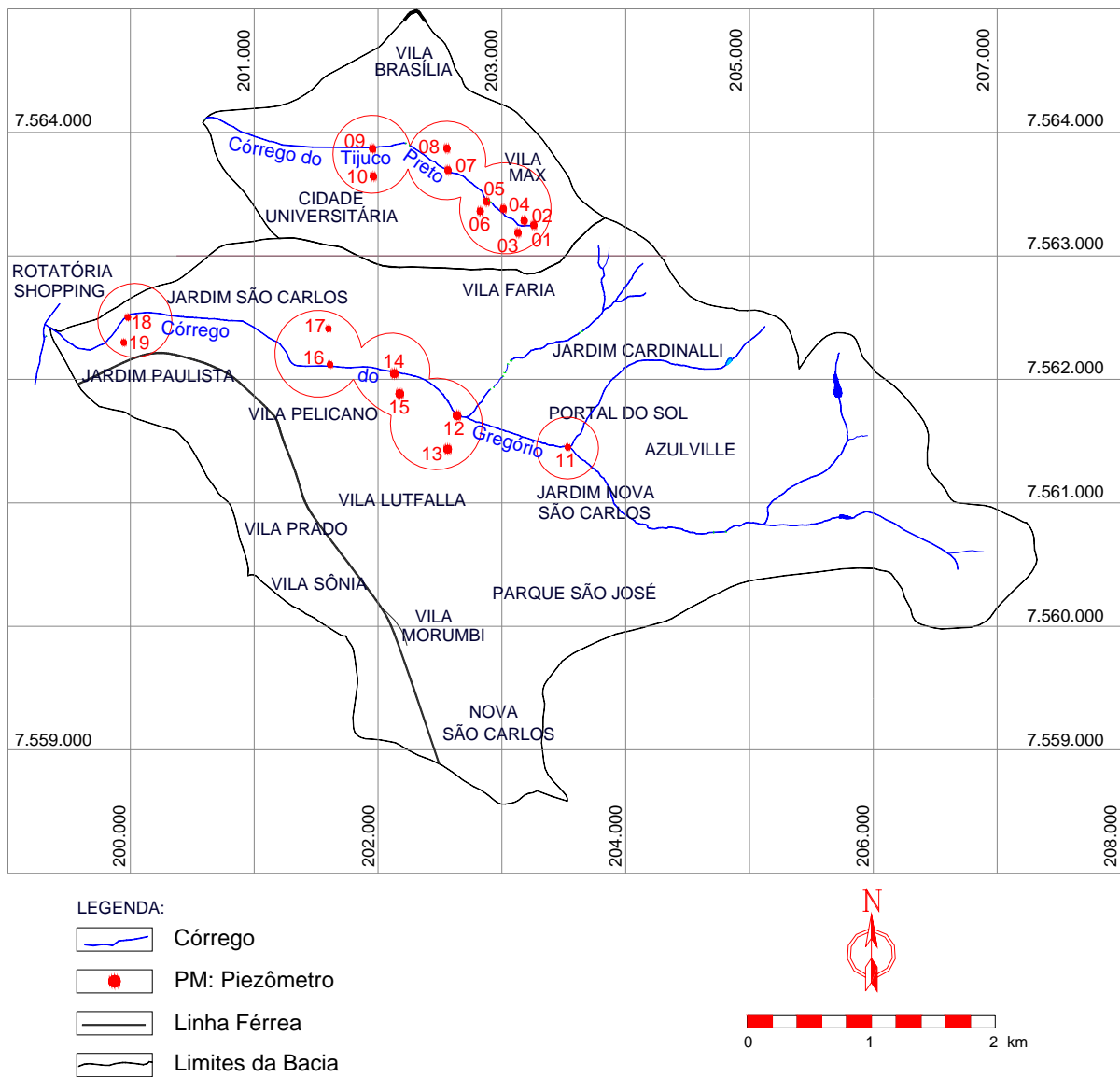


Figura 2 – Localização dos Piezômetros

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA – *SLUG TEST*

A condutividade hidráulica constitui a mais importante propriedade que governa o movimento da água nos solos e pode ser definida como sendo a maior ou menor facilidade com que a água pode fluir em um determinado solo através de seus vazios.

A condutividade hidráulica em solos saturados pode ser obtida por meio de métodos diretos ou indiretos. Nos métodos diretos a condutividade hidráulica é medida em laboratório ou em campo

(*in situ*). Nos métodos indiretos a condutividade hidráulica é determinada por intermédio de correlações empíricas.

Vários modelos do tipo empírico foram propostos para determinar a condutividade hidráulica, a partir, somente do conhecimento de propriedades de fácil determinação dos solos. Dentre as formulações empíricas pode-se citar a de Hazen ([7] *apud* [8]) que desenvolveu uma equação para prever a condutividade hidráulica de areias com diâmetro efetivo dos grãos, D_{10} , entre 0,1 e 3,0 mm e a de Kozeny-Carmen ([9] *apud* [10]) que desenvolveu uma equação para solos heterogêneos, incorporando a porosidade.

Para determinação da condutividade hidráulica em laboratório existe o inconveniente que é o pequeno tamanho da amostra que, geralmente, não apresenta representatividade das condições médias do aquífero. Outra condição desfavorável é, na maioria dos casos, a dificuldade de se conseguir amostras indeformadas que representem as condições naturais do aquífero. Desse modo, é conveniente e plausível, a determinação do parâmetro condutividade hidráulica em campo, devido à maior representatividade das condições hidrogeológicas locais.

Há uma diversidade de opções de ensaios de campo para determinação da condutividade hidráulica dos solos. No entanto, todo ensaio de condutividade hidráulica é baseado nos princípios da Lei de Darcy (1856) para o movimento da água no solo. De acordo com a Lei de Darcy [11], a velocidade de percolação da água no solo é proporcional ao gradiente hidráulico através de um fator de proporcionalidade, denominado de condutividade hidráulica.

$$q = -K \cdot i \tag{1}$$

Onde:

q : velocidade de Darcy;

K : constante de proporcionalidade ou condutividade hidráulica;

i : gradiente hidráulico, $\left(i = \frac{dh}{dl}\right)$.

Nas últimas duas décadas, várias técnicas foram desenvolvidas e utilizadas para estimativa da condutividade hidráulica em campo. Dentre estas, uma técnica conhecida como *slug test* está sendo extensamente utilizada, principalmente, nos estudos relacionados à contaminação da água subterrânea [1].

O *slug test* tem como grande vantagem, ser de simples execução, de baixo custo, rápido e representar as condições reais observadas em campo. Segundo Butler [1], inicia-se um *slug test* com uma variação repentina do nível d'água no poço. Esta variação pode ser provocada por adição de um objeto sólido (por isso o termo *slug*) ou por adição (ou remoção) de um volume conhecido de água no poço, causando um brusco acréscimo (ou decréscimo) no nível d'água. Após essa mudança

brusca, mede-se, ao longo do tempo, a variação do nível d'água até o retorno das condições estáticas iniciais.

Há vários métodos usados na estimativa do valor da condutividade hidráulica através do *slug test*. O método apropriado depende das características do aquífero no qual o *slug test* será executado. No entanto, algumas das características que devem ser examinadas são se o aquífero é confinado, semi-confinado ou não-confinado (freático), se o poço é completamente ou parcialmente penetrante no aquífero e se a coluna d'água no poço é menor ou maior que o comprimento do filtro.

A maioria dos *slug tests* executados em formações não-confinadas (freáticas) são analisados com uma das seguintes três técnicas [12]: método de Bouwer & Rice [13], método de Dagan [14] e método baseado na variante irrestrita do modelo da KGS*.

O método de Bouwer & Rice [13] pode ser utilizado para análise dos dados de *slug test* em poços completamente ou parcialmente penetrantes em aquíferos não-confinados. De acordo com Fetter [15], este método também pode ser usado em aquíferos confinados, desde que a base da camada confinante fique a alguma distância acima da área de filtro do poço.

Método de Bouwer & Rice

O método de Bouwer & Rice é baseado na solução analítica de Thiem [16]. O método assume desprezível o rebaixamento da linha d'água na vizinhança do poço. A condutividade hidráulica é dada por:

$$K = \frac{r_c^2 \cdot \ln(R_e / R)}{2 \cdot L_e \cdot t} \cdot \ln\left(\frac{H_t}{H_0}\right) \quad (2)$$

Onde:

K : condutividade hidráulica;

r_c : raio do poço;

R_e : distância radial efetiva do poço para efeito de determinação de K ;

R : distância radial entre o centro do poço e o aquífero não perturbado;

L_e : comprimento do filtro por onde entra água subterrânea;

t : tempo desde H_0 até H_t ;

H_0 : nível d'água no tempo inicial;

H_t : nível d'água no tempo t .

* *Kansas Geological Survey*, Agência de Pesquisa Geológica do Estado do Kansas (EUA).

Para determinar o valor de $\ln(R_e/R)$ na equação (2), o método apresenta as seguintes soluções, dependendo do poço ser completamente ou parcialmente penetrante:

- Poço parcialmente penetrante ($L_w < h$):

$$\ln(R_e/R) = \left\{ \frac{1,1}{\ln(L_w/R)} + \frac{A + B \ln[(h - L_w)/R]}{L_e/R} \right\}^{-1} \quad (3)$$

- Poço completamente penetrante ($L_w = h$):

$$\ln(R_e/R) = \left[\frac{1,1}{\ln(L_w/R)} + \frac{C}{L_e/R} \right]^{-1} \quad (4)$$

Onde:

L_w : altura d'água no poço;

h : espessura saturada do aquífero.

As constantes A , B e C são encontradas graficamente em função de L_e/R (Figura 4).

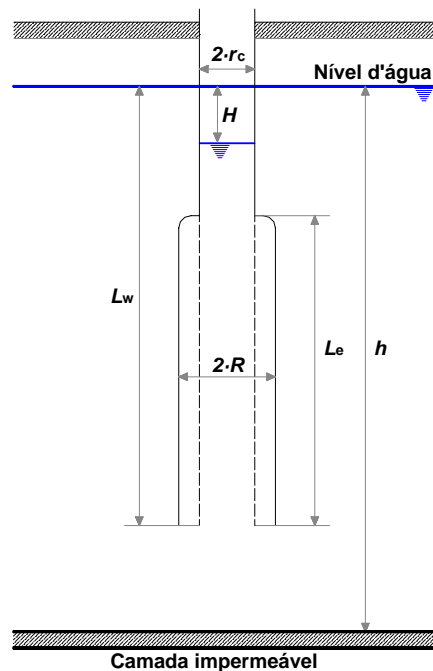


Figura 3 – Geometria do poço parcialmente penetrante em aquífero livre – Método de Bouwer & Rice (Adaptado de [15])

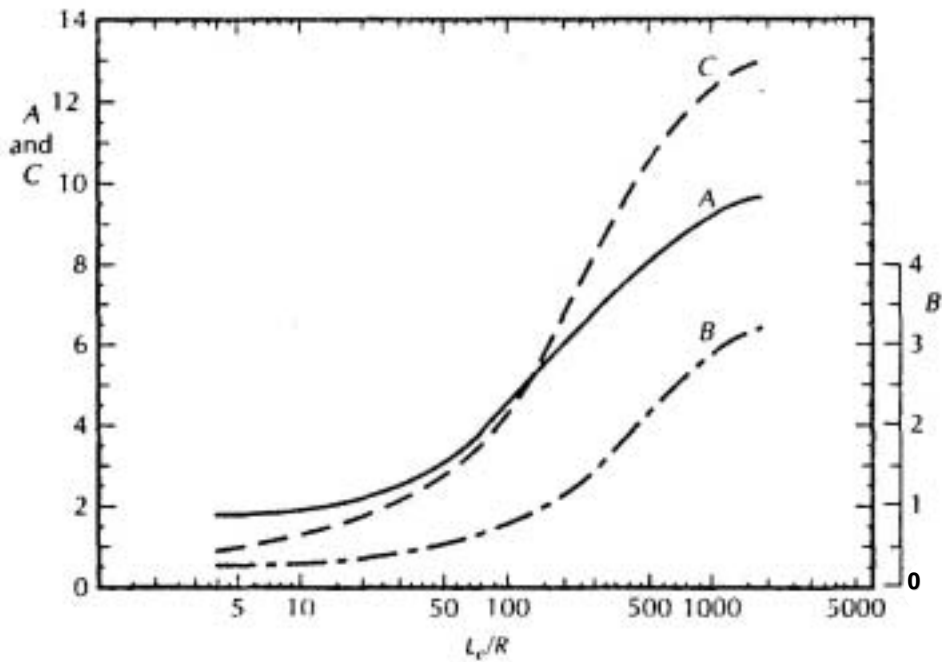


Figura 4 – Determinação dos parâmetros adimensionais A, B e C [15]

Uma consideração importante a ser feita é quando o nível d'água está na seção do filtro do poço durante o *slug test*, ou seja, quando a coluna d'água no poço é menor que o comprimento de filtro ($L_w < L_c$). Neste caso, deve-se levar em consideração o fato da condutividade hidráulica da zona do filtro ser diferente da do aquífero. O valor de r_c da equação (2) deve ser substituído por r_{eq} que é calculado como:

$$r_{eq} = \left[r_c^2 + n(R^2 - r_c^2) \right]^{0.5} \quad (5)$$

Onde:

n : porosidade do material do filtro ao redor do poço;

A USGS* [17], desenvolveu diversas planilhas eletrônicas, em *Microsoft Excel* (versão 9.0), para análise de dados de testes de aquíferos. Dentre as diversas planilhas, uma (Figura 5) utiliza o método de Bouwer & Rice para análise dos dados de *slug test*.

* *United States Geological Survey*, Agência de Pesquisa Geológica dos EUA.

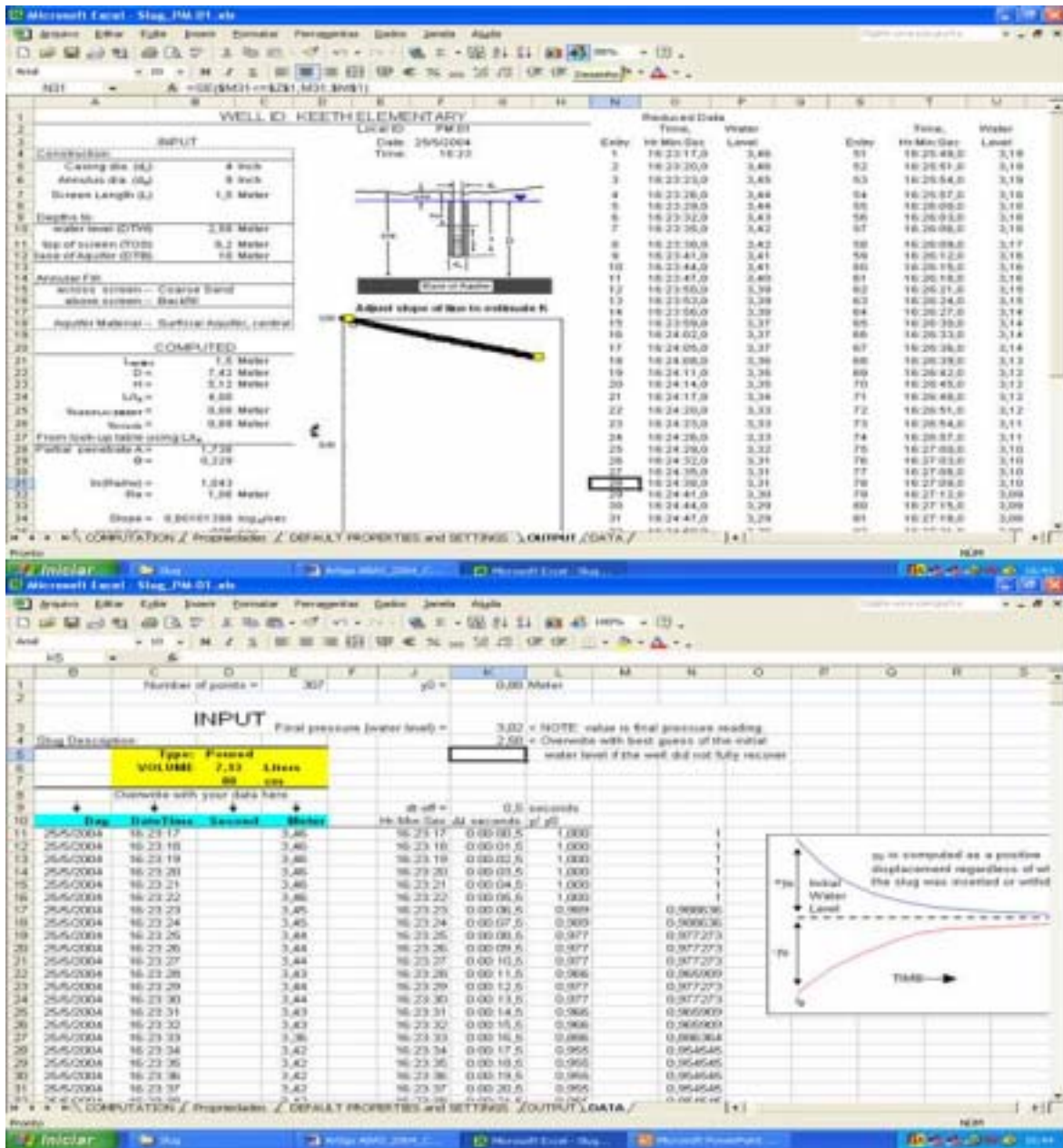


Figura 5 – Planilhas do método Bouwer-Rice [17]

Na sub-planilha *Data* são necessários o tipo de metodologia empregada (*Bailer*: objeto sólido ou adição de água; *Poured*: remoção de água; e ainda, *Air*: ar pressurizado), o volume deslocado e a variação de altura atingida ou o comprimento e o diâmetro do objeto sólido inserido (dependendo do tipo de operação efetuada) e os dados da variação de nível do poço ao longo do tempo.

Na sub-planilha *Output* são necessários o diâmetro do poço, o diâmetro do furo do poço (perfuração), distância da superfície do terreno ao topo do filtro, profundidade do nível d'água inicial, profundidade da base do aquífero, material do filtro, material preenchido acima do filtro (furo da perfuração) e material representativo do aquífero.

Nas sub-planilhas *Computation* e *Default Properties and Settings* são feitos os cálculos para determinação da condutividade e ajuste de unidades de comprimento, tempo e de números significativos, fator de penetração do poço em relação ao aquífero e discrepância do método.

A partir da utilização dos dados de entrada, é retornado na sub-planilha *Output* o valor da condutividade hidráulica.

Equipamento de campo

O ensaio de condutividade hidráulica consiste, basicamente, em registrar a variação, brusca e repentina, do nível d'água no poço. Para essa variação brusca e repentina foram adotadas três diferentes metodologias (Figura 6), de acordo com a coluna d'água observada no poço.



Figura 6 – Metodologias utilizadas para realização do *slug test*

a) objeto sólido (tubo de PVC) b) adição de volume d'água c) retirada de volume d'água

1. Adição de um objeto sólido: o objeto sólido é um tubo de *PVC* branco (Figura 6.a), de 3” de diâmetro e 1,5 m de comprimento, com ambas extremidades fechadas com *caps* e preenchido com brita nº 1. Esse tubo foi dimensionado a fim de deslocar, aproximadamente, um volume de 6,85 L e provocar uma variação de 85 cm no interior do piezômetro de 4”.

2. Adição de um volume de água: foi calculado, aproximadamente, um volume de água a ser adicionado, através de um recipiente plástico (Figura 6.b) de 6,85 L, para que tal volume também provocasse uma elevação de 85 cm no interior do piezômetro.

3. Remoção de um volume de água: foi dimensionado um tubo de PVC branco (Figura 6.c), de 1½” e 3,0 m de comprimento, com uma válvula de pé com crivo (“cebolinha”) na extremidade inferior. Após duas rápidas imersões e retirada de água, essa operação permite, aproximadamente, uma remoção de volume de 6,85 L e conseqüente variação de altura de 85 cm no interior do piezômetro de 4”.

O equipamento utilizado (Figura 7) para coleta dos dados de variação de nível consiste em um transdutor de pressão nível/profundidade, de um indicador digital para observação visual da variação do nível ao longo do tempo e de um *data-logger* para armazenamento dos dados (com incrementos de tempo pré-determinados). Os incrementos de tempo (1,0 s) foram definidos em função da resposta esperada devido ao conhecimento prévio do material inerente ao poço.



Figura 7 – Equipamentos para medição e armazenamento dos dados de nível d’água no poço

RESULTADOS

Foram ensaiados 19 poços de monitoramento que perfazem a rede permanente de monitoramento de água subterrânea das sub-bacias citadas. Os valores médios de condutividade hidráulica K (Tabela 1), de acordo com o material no poço, foram de $7,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para areia média siltosa, de $1,07 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para areia fina siltosa, de $1,43 \cdot 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para areia fina argilosa e de $5,62 \cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para argila fina siltosa.

Tabela 1 – Resultados de condutividade hidráulica através de *slug test*

Material do Aquífero	Poço	Profundidade (m)	Bacia (Córrego)	Metodologia	Condutividade Hidráulica (m/s)	K médio (m/s)
areia média siltosa	PM 13	9,10	Gregório	2	6,55E-05	7,12E-05
	PM 18	8,30	Gregório	1	7,69E-05	
areia fina siltosa	PM 01	8,36	Tijuco Preto	1	7,04E-06	1,07E-05
	PM 03	6,21	Tijuco Preto	3	7,54E-06	
	PM 05	4,93	Tijuco Preto	3	7,06E-06	
	PM 06	6,16	Tijuco Preto	1	1,54E-05	
	PM 07	5,83	Tijuco Preto	1	2,10E-05	
	PM 08	7,56	Tijuco Preto	3	1,05E-05	
	PM 10	8,48	Tijuco Preto	1	7,83E-06	
	PM 11	7,93	Gregório	1	1,26E-05	
	PM 12	6,11	Gregório	1	1,71E-05	
	PM 15	6,60	Gregório	2	6,51E-06	
	PM 16	5,36	Gregório	1	9,72E-06	
	PM 16	5,36	Gregório	2	7,43E-06	
PM 16	5,36	Gregório	3	9,11E-06		
areia fina argilosa	PM 02	4,31	Tijuco Preto	3	8,96E-07	1,43E-06
	PM 04	7,57	Tijuco Preto	3	2,07E-06	
	PM 17	13,27	Gregório	1	6,36E-07	
	PM 19	13,32	Gregório	1	2,11E-06	
argila fina siltosa	PM 09	4,40	Tijuco Preto	2	4,55E-08	5,62E-08
	PM 14	4,41	Gregório	1	6,69E-08	

1	Objeto Sólido
2	Adição de água
3	Retirada de água

Os poços PM 09 e PM 14 (ordem de $10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) apresentaram os menores valores de condutividade hidráulica, devido à presença de uma argila fina de baixa permeabilidade. Já os poços PM 13 e PM 18 (média de $7,12 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), ambos localizados na Bacia do Córrego do Gregório, apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica.

Os equipamentos para coleta de dados permitiram a verificação da variação de nível estimada com a obtida no piezômetro. Além disso, permitiram ajustar os incrementos de tempo na coleta de dados, de acordo com as características geológicas do material do poço.

No PM 16, para efeito de comparação de tipos de metodologias utilizadas, foram feitos três ensaios, o primeiro com adição do objeto sólido, o segundo com adição de um volume d'água e o terceiro com retirada de um volume d'água. Os dois primeiros ensaios produzem um fluxo do poço para o aquífero, já o terceiro ensaio produz o inverso, ou seja, produz um fluxo do aquífero para o poço. Os resultados foram coerentes apresentando a mesma ordem de grandeza, devendo-se a pequena discrepância entre os valores obtidos à duração do processo oscilatório do nível d'água no caso da metodologia adotada (adição de água).

CONCLUSÕES

Foi determinada a condutividade de 19 piezômetros, em aquífero freático, que compõem a rede permanente de monitoramento de água subterrânea nas sub-bacias adjacentes do Gregório e do Tijuco Preto, região central do Município de São Carlos, SP. Para avaliação da condutividade hidráulica foi utilizado o método de Bouwer & Rice com os dados obtidos através do *slug test*.

A determinação dos parâmetros hidrogeológicos contribui para um maior entendimento dos conceitos relacionados à água subterrânea. Os parâmetros dos aquíferos são alvo do cumprimento das leis atualmente existentes sobre recursos hídricos, e especificamente sobre o recurso subterrâneo.

Os valores encontrados para a condutividade hidráulica, em todos os poços, são compatíveis com os valores da bibliografia especializada para os solos presentes. No entanto, alguma cautela deve ser prevista, principalmente devido ao tipo de construção, desenvolvimento e materiais dos poços de monitoramento.

Os três ensaios realizados no poço PM 16 foram considerados satisfatórios, visto que apresentam a mesma ordem de grandeza, não existindo um erro expressivo quanto à utilização das metodologias propostas.

Os valores de condutividade hidráulica não obedecem a um padrão definido, indicando a presença de heterogeneidades. Isso se deve ao fato que o solo superficial (Sedimento Cenozóico) é resultante de diferentes formações (Formação Bauru, Serra Geral, Botucatu) e passíveis de diversos processos (intemperismo, erosão, transporte aquoso).

Como a extensão horizontal do aquífero ensaiada é limitada, a condutividade hidráulica determinada no teste é um valor pontual que não deve ser estendido além das proximidades do piezômetro. Assim, os valores da condutividade hidráulica devem ser usados com precaução quando extrapolados regionalmente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, da Prefeitura Municipal de São Carlos, do Projeto FINEP-CT-HIDRO (2003) e aos alunos de graduação em Engenharia Civil (EESC-USP) Henrique de Oliveira Lino Franchi e de doutorado do Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC-USP) Giovanni Chaves Penner.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BUTLER, J.J., Jr., 1997. *The Design, Performance and Analysis of Slug Tests*, Lewis Publisher, Washington, D.C., 252 p.
- [2] VILAR, O.M.; BORTOLUCCI, A.A.; RODRIGUES, J.E. (1985). *Geotechnical Characteristics of Tropical Cenozoic Sediment from São Carlos Region (Brazil)*. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soil. “Tropicals85”, 1, Brasília, ABMS, 1, 461-470.
- [3] BORTOLUCCI, A.A., 1983. *Caracterização Geológico-Geotécnico da Região Urbana de São Carlos-SP, a partir de Sondagens de Simples Reconhecimento*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 67 p (Dissertação de Mestrado).
- [4] VILAR, O.M., 1979. *Estudo da Compressão Unidirecional do Sedimento Moderno (Solo Superficial) da cidade de São Carlos*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Volumes 1 e 2. 110 p (Dissertação de Mestrado).
- [5] ZUQUETTE, L.V., 1981. *Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Volumes 1 e 2. 86 p (Dissertação de Mestrado).
- [6] TOLENTINO, M.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B., 1968. *Estudo Morfométrico das Bacias Hidrográficas do Planalto de São Carlos (São Paulo)*. Revista Brasileira de Geografia, ano 30, nº4, pp.42-50.
- [7] BOWLES, J.E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw-Hill, New York, NY, 570 p.
- [8] DAWSON, K.J. & ISTOK, J.D., 1991. *Aquifer Testing: Design and Analysis of Pumping and Slug Tests*, Lewis Publishers, Florida, 344 p.
- [9] BEAR, J., 1972. *Dynamics of Fluids in Porous Media*, American Elsevier, Environmental Science Series, New York, NY, 764p.
- [10] FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604 p.

- [11] DARCY, H., 1856. *Les Fontaines publiques de la ville de Dijon*. Victor Dalmont, Paris.
- [12] HYDER, Z., BUTLER, J.J., Jr., McELWEE, C.D., LIU, W.Z., 1994. *Slug tests in partially penetrating wells*, Water Resources Research, 30 (11), 2945.
- [13] BOUWER, H. & RICE, R.C., 1976. *A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*, Water Resources Research, 12(3), p.423-428.
- [14] DAGAN, G., 1978. *A note on packer, slug and recovery tests in unconfined aquifers*, Water Resources Research, 14(5), 929.
- [15] FETTER, C.W., 1994. *Applied Hydrogeology*, McMillan., NY, 3rd ed., 691 p.
- [16] THIEM, G., 1906. *Hydrologische Methodern*. Leipzig, Geghardt, 56 p.
- [17] USGS, 2002. *Documentation of Spreadsheets for the Analysis of Aquifer-Test and Slug Test Data*. By Keith J. Halford and Eve L. Kuniandy. Open-File Report 02-197. Carson City, NV, USA.