

A INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO NA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA: APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO DE BASE

Carlos Eduardo A. G. Barreto¹, Edson Wendland², Luís H. Gomes³ & Francisco F. N. Marcussi⁴

Resumo: A quantificação do escoamento de base é uma importante etapa para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos em grande parte dos rios. Este trabalho apresenta a aplicação de uma técnica que relaciona o nível do aquífero com o escoamento de base. Através de medições do nível do aquífero em poços de monitoramento e medições de vazão com uso de um molinete hidrométrico, no ano de 2005, aplicou-se equações empíricas para relacionar essas variáveis em uma bacia hidrográfica. A área de estudo foi a bacia do Ribeirão da Onça, que possui uma rede de monitoramento hidrogeológica e onde dados de vazão são coletados quinzenalmente. Os resultados apontam que, nessa bacia, a relação entre o nível de água nos poços e o escoamento de base pode ser representada por uma função linear. A quantificação do escoamento básico com o uso de funções que representem a interação rio-aquífero mostra-se uma importante ferramenta para uso em rios onde há problemas na realização de medidas contínuas de vazão.

Abstract: The base flow estimation is important for the management and planning of the water resources to the most of rivers. This work presents the application of one technique that correlates the level of the aquifer with the base flow. Through level measurements of the aquifer in monitoring wells and the measurements of outflow with use of propeller-type current meter, in the year of 2005, were applied empirical equations to correlate these variables in a water basin. The study area was in the water basin of the Ribeirão da Onça, which has a hydrogeologic monitoring devices net, where given of outflow they are collected biweekly. The results show that, in this water basin, the relation between the water level in the wells and the base flow can be represented by a linear function. The base flow quantification, with the use of functions that represent the river-aquifer interaction, it's an important tool for use in rivers where it has problems in the accomplishment of continues measures of outflow.

Palavras-chave: águas subterrâneas, monitoramento hidrogeológico, hidrometria.

¹ Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Rua: Antônio Augusto de Almeida, 1347, Barão Geraldo, Campinas, SP; (19) 3289-8598, ramal 34; agbarreto@gmail.com.

^{2, 3, 4} Departamento de Hidráulica e Saneamento; SHS-EESC-USP, Caixa Postal 359; 13560-970; São Carlos; SP; Brasil; (16) 3373-9541; (16) 3373-9550; ² ew@sc.usp.br. ³ gomeslh@yahoo.com.br. ⁴ marcussi@sc.usp.br.

1. INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO

Aquíferos e águas superficiais não são componentes isoladas do ciclo hidrológico, mas interagem em uma grande variedade de casos, dependendo da fisiografia, geologia, fatores bióticos e da climatologia. Sendo assim, a preservação ou a contaminação de um afeta diretamente o outro. O entendimento básico da interação entre as águas subterrâneas e superficiais é necessário para um bom gerenciamento dos recursos hídricos (Sophocleous, 2002).

De maneira geral, a interação pode ocorrer com passagem de água tanto do aquífero para a superfície livre como da superfície livre para o aquífero, sendo que em uma mesma seção podem ocorrer os dois fenômenos conjuntamente no tempo (Figura 1).

A distribuição espacial do sistema de fluxo (local ou regional) influencia a intensidade da descarga subterrânea natural. O rio principal de uma bacia pode receber água subterrânea de áreas próximas e possivelmente de áreas mais distantes (Sophocleous, 2002).

Existem diversas técnicas para estimativa da descarga de aquíferos em rios, no entanto é muito mais fácil estimar as perdas de transmissão (água que deixa o rio por fluxo descendente). De modo geral, as conexões da água subterrânea com a água superficial têm sido verificadas por medidas dos níveis de água em poços de monitoramento e por comparação das características químicas da água subterrânea e do rio (Woessner, 2000).

Diversos métodos são utilizados para se determinar o escoamento de base. Os métodos mais comumente aplicados para estimar o fluxo subterrâneo para corpos d'água superficiais são o método do balanço hídrico, particularmente o método do balanço hídrico do canal, uso de infiltrômetros, mini-piezômetros, lisímetros de fundo de rio, traçadores e os modelos hidrométricos (aplicação da Lei de Darcy) em escala da bacia hidrográfica. Os métodos diferem, principalmente, quanto à escala de avaliação das trocas de água. A análise de hidrogramas (ou hidrógrafas) para estimativa da descarga subterrânea também pode ser um método razoável (Lerner, 2003).

Para sistemas rio-aquífero hidraulicamente conectados, a mudança no fluxo é função da diferença entre o nível do rio e o nível superficial do aquífero. Esse mecanismo, baseado na lei de Darcy, pode ser expresso pela seguinte função (Sophocleous, 2002):

$$q = \alpha \Delta h \quad (1)$$

em que Δh é a diferença entre o nível superficial do rio e o nível do aquífero e α é uma constante que representa o coeficiente de drenança do leito do rio.

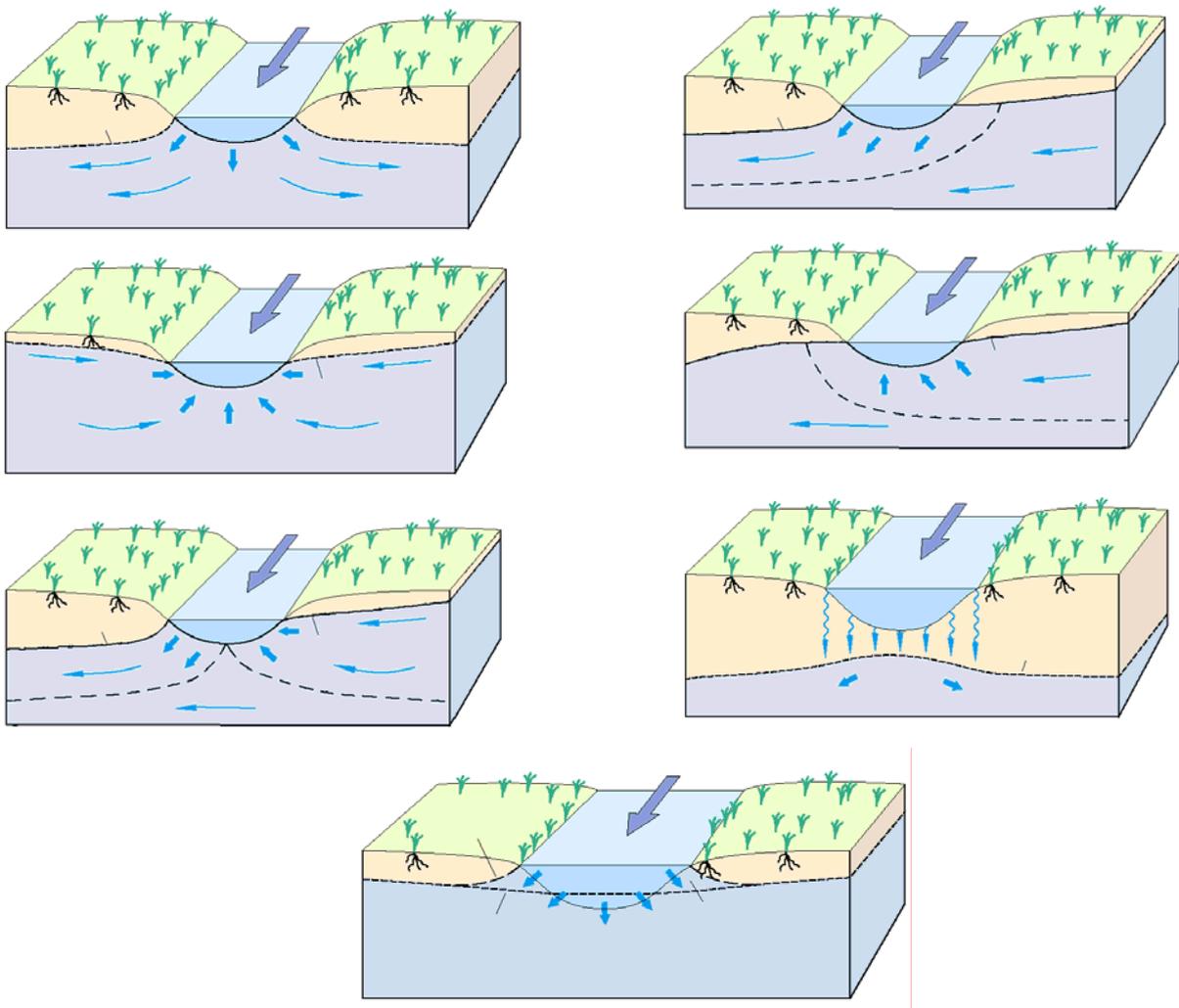


Figura 1: Possibilidades de interação rio-aquífero

Fonte: Winter *et al.* (1998)

Segundo Sophocleous (2002), assumir que a relação entre a vazão nos corpos d'água e o nível no aquífero é linear é muito simplista. A recessão da vazão de base do rio é independente do coeficiente α . No período de ascensão da vazão de base, o método pode apresentar valores, para a vazão, mais altos do que os reais.

Rushton e Tomlinson (1979) propuseram uma relação não-linear para representar essas variáveis, que pode ser escrita como:

$$q = k_1(1 - e^{-k_2\Delta h}) \quad (2)$$

em que k_1 e k_2 são constantes. Esta relação impõe limites para a vazão de base. Quando Δh tende a zero o valor de q também tende a zero. Quando Δh tende ao infinito, q tende ao valor de k_1 . Isso

implica que, quanto mais próximo dos valores extremos da vazão de base, mais lentamente o modelo reage a variações na superfície do aquífero.

A relação linear e a não-linear têm diferentes vantagens (Sophocleous, 2002). Para casos em que não existe uma relação de máxima vazão possível, Rhuston e Tomlinson (1979) propõem a combinação das duas relações. A função então é dada por:

$$q = k_1 \cdot \Delta h + k_2 \cdot (1 - e^{-k_3 \cdot \Delta h}) \quad (3)$$

em que k_1 , k_2 , e k_3 são constantes.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. A Bacia do Ribeirão da Onça

2.1.1. Localização

A bacia do Ribeirão da Onça localiza-se na região do município de Brotas-SP, ao centro-leste do estado de São Paulo, entre os paralelos 22°10' e 22°15' de latitude sul e entre os meridianos 47°55' e 48°00' de longitude oeste. O Ribeirão do Onça é um dos formadores do Rio Jacaré-Guaçú, afluente do Rio Tietê pela margem direita, conforme desenho esquemático apresentado na Figura 2.

Uma característica importante desta bacia é situar-se quase inteiramente em uma das regiões de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), podendo fornecer elementos de interesse para o aprofundamento dos conhecimentos sobre o comportamento desse sistema.

A Bacia do Ribeirão da Onça não tem proteção ambiental garantida por legislação, apesar de situar-se próxima a uma Área de Proteção Ambiental (APA) bem mais ampla que engloba o Ribeirão do Lobo, Represa do Lobo e o Córrego do Feijão. Dessa forma, a Bacia-Piloto está sujeita a todo tipo de utilização econômica, estando exposta a mecanismos potenciais de contaminação decorrente de atividades agrícolas (aplicação de fertilizantes, herbicidas, pesticidas, etc.).

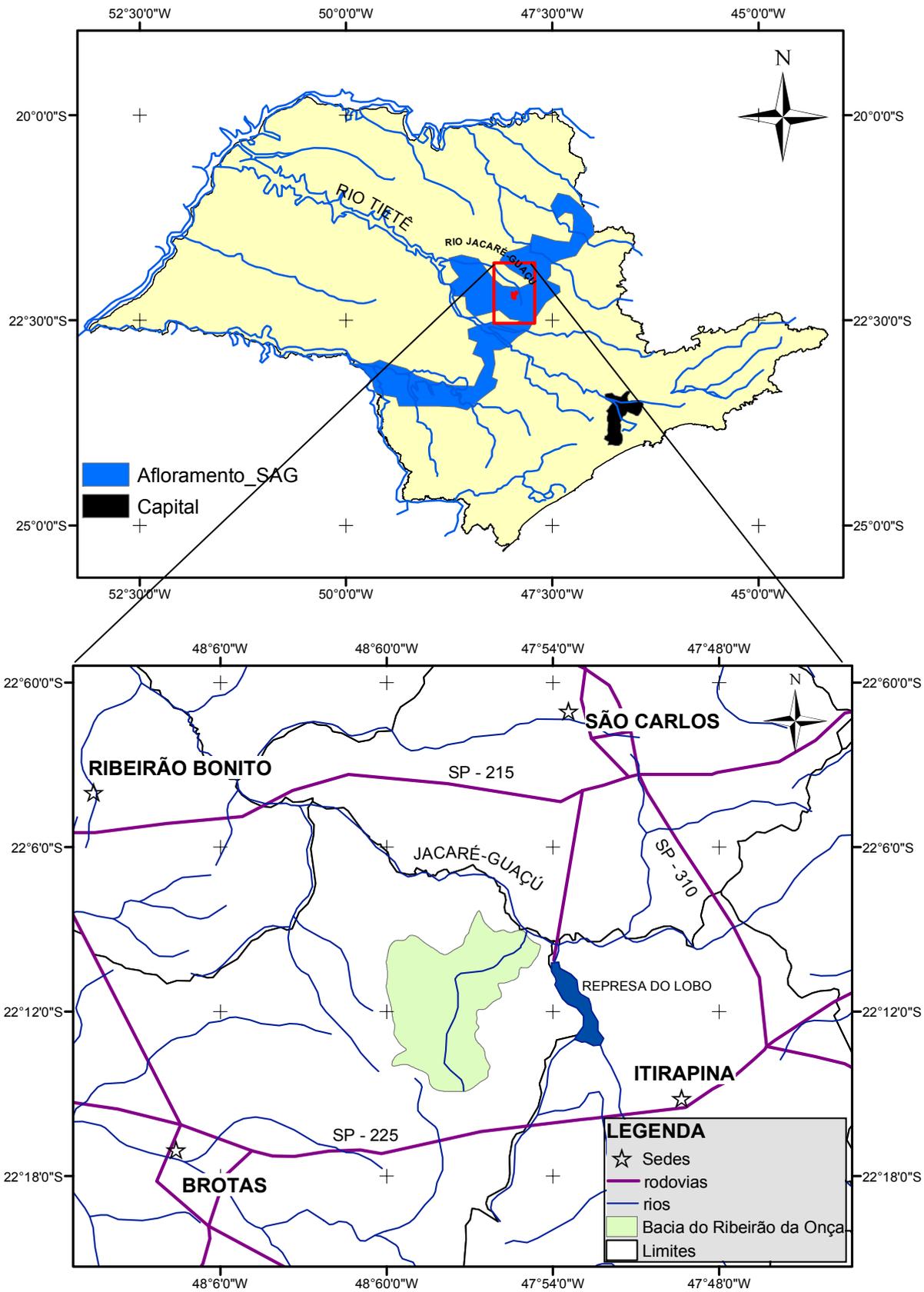


Figura 2: Localização da bacia do Ribeirão da Onça

2.1.2. Características físicas

A caracterização fisiográfica da Bacia do Ribeirão da Onça foi elaborada por Mattos et al. (1984)⁽¹⁾ e Preto Filho (1985)⁽²⁾ *apud* Pompêo (1990) sobre mapas em escala 1:10.000, sendo obtidos os elementos:

Área de drenagem	65 km ²
Perímetro	42 km
Comprimento axial	11 km
Extensão do curso d'água principal	16 km
Comprimento total dos cursos d'água	55 km
Altitude máxima	840 m
Altitude mínima	640 m
Declividade média	7,6m/km

A distribuição de áreas e cotas, que caracteriza o relevo da bacia, é apresentada na curva hipsométrica (Figura 3). O mapa de cotas é apresentado na Figura 4.

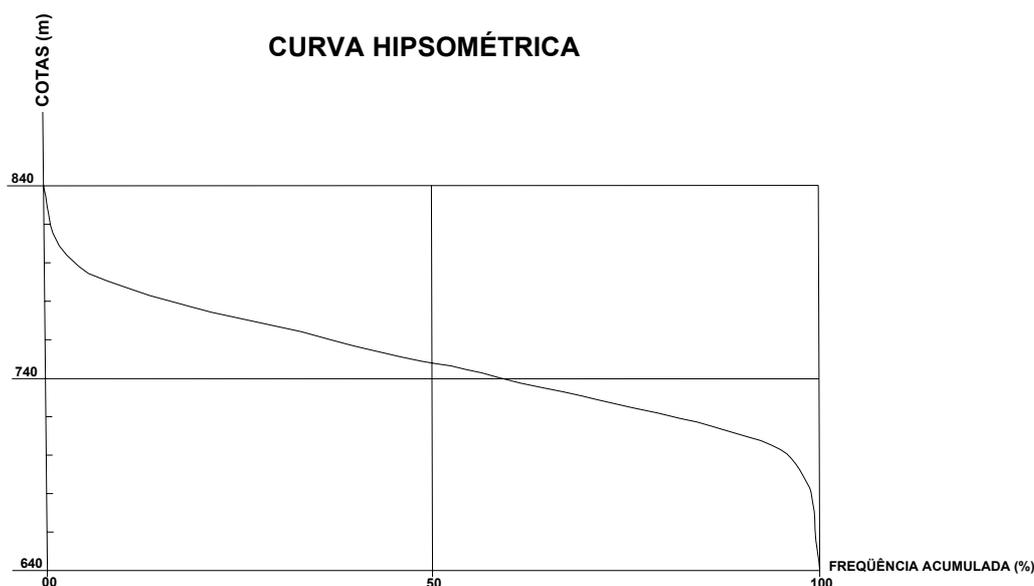


Figura 3: Curva hipsométrica da bacia do Ribeirão da Onça

(Fonte: CONTIN NETO, 1987)

⁽¹⁾MATTOS, A., RIGHETTO, A.M., CONTIN NETO, D. e POMPÊO, C.A. (1984) - Relações Hidrológicas e Hidrometeorológicas em Bacia Experimental na Região de Afloramento do Aquífero Botucatu. Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC-USP. Relatório apresentado à FAPESP. São Carlos.

⁽²⁾PRETO FILHO, V.O. (1985) - Implantação de uma Bacia Experimental para Estudos Hidrogeológicos e Hidrometeorológicos. Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC-USP. Primeiro relatório semestral jan.-ago., apresentado à FAPESP. 16p.. São Carlos.

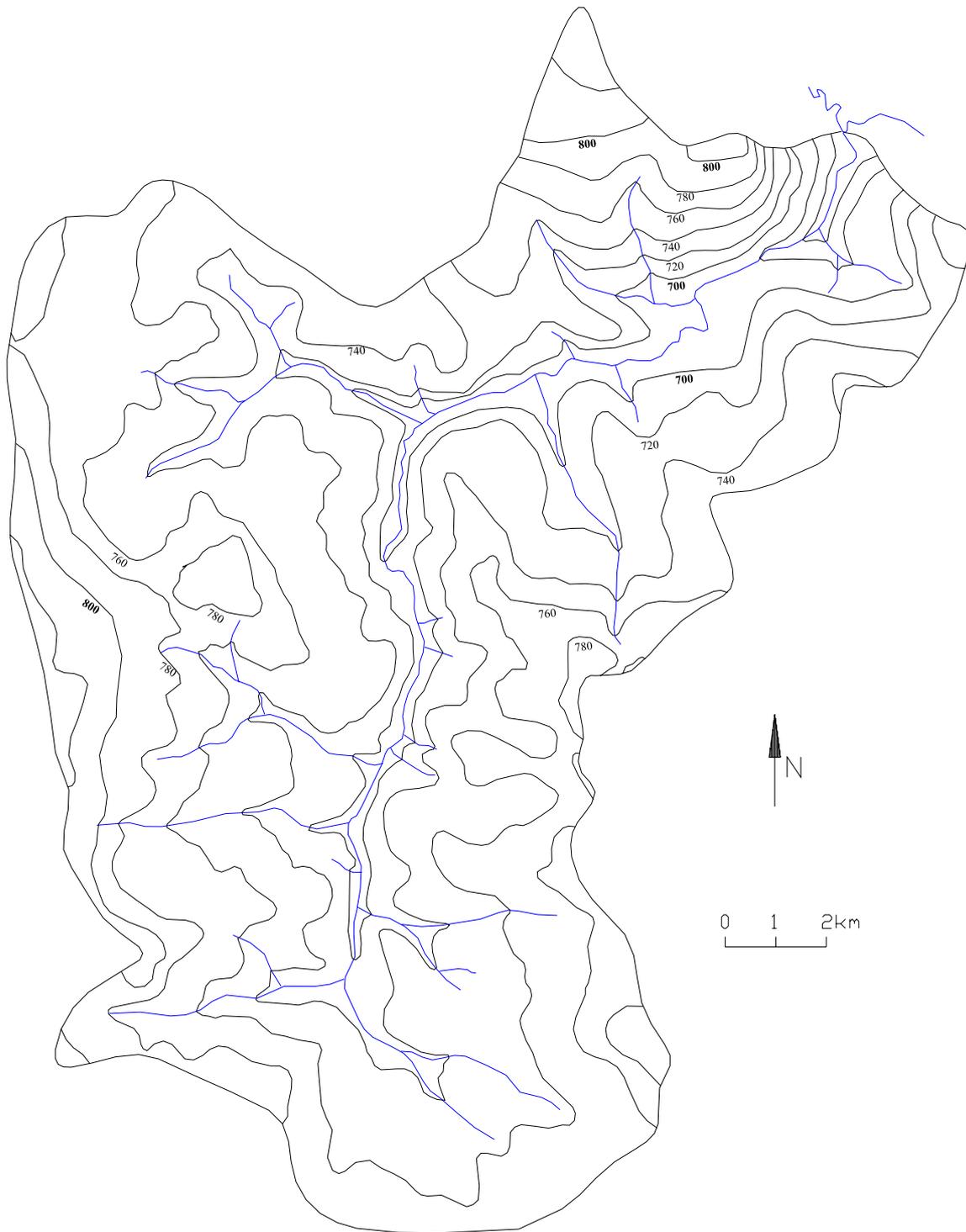


Figura 4: Altimetria da bacia do Ribeirão da Onça

Queiroz (1991) afirma que as características físicas e hidráulicas do Ribeirão da Onça são próprias de um rio de pequeno porte.

Com relação à forma da bacia, a razão entre seu perímetro e a circunferência de área equivalente à área da bacia, denominada de coeficiente de compacidade (k_c) tem o valor de 1,55. O coeficiente de compacidade, utilizado para comparações entre bacias, indica maior sujeição a enchentes quanto mais próximo da unidade for seu valor, correspondendo no limite a uma área circular. Para o valor obtido $k_c = 1,55$ depreende-se que a Bacia do Ribeirão da Onça não é sujeita a enchente (Pompêo, 1990).

O desenvolvimento do sistema de drenagem é analisado pelo índice de densidade de drenagem (D_d), dado pela razão entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem. Os valores limites são $0,75 \text{ km/km}^2$ para drenagem pobre e $1,5 \text{ km/km}^2$ para drenagem rica. A Bacia do Ribeirão da Onça cujo índice é $D_d = 0,95 \text{ km/km}^2$ apresenta desenvolvimento mediano em seu sistema de drenagem (Pompêo, 1990).

2.1.3. Geologia

O Ribeirão da Onça se desenvolve na maior parte do seu percurso sobre um pacote de arenito Botucatu, solos oriundos do intemperismo da Formação Botucatu e próximo ao exutório da bacia sobre o complexo Botucatu-diabásio. Ambas as unidades fazendo parte do Grupo São Bento, de idade mesozóica. Na maior parte da bacia a Formação Pirambóia se encontra dezenas de metros abaixo da superfície do solo. A geologia foi descrita por Preto Filho (1985)⁽³⁾ e foi comprovada em perfurações feitas pelo DAEE (Departamento de águas e Energia Elétrica) em conjunto com a CPRM (Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Recursos Minerais). Porém, há indícios que a formação Pirambóia esteja aflorante próximo ao ribeirão no centro da bacia.

2.1.4. Solos e vegetação

Os solos da bacia do Ribeirão da Onça, provenientes de arenito desagregado, apresentam composição homogênea, não havendo presença relevante de argilas, com exceção da região próxima ao exutório da bacia.

A bacia pode ser considerada rural apresentando grupos pequenos e isolados de povoamento e é exclusivamente de uso agrário e pecuário, não sendo observadas áreas consideradas de pavimentação e nenhuma área industrial

⁽³⁾PRETO FILHO, V.O. (1985) - Implantação de uma Bacia Experimental para Estudos Hidrogeológicos e Hidrometeorológicos. Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC-USP. Primeiro relatório semestral jan.-ago., apresentado à FAPESP. 16p.. São Carlos.

2.1.5. Instrumentos e coleta de dados

A bacia do Ribeirão da Onça conta com 23 poços de monitoramento, um pluviômetro, um linígrafo e uma régua linimétrica, instalados dentro da bacia e em suas proximidades. A localização dos aparelhos pode ser visualizada na Figura 6.

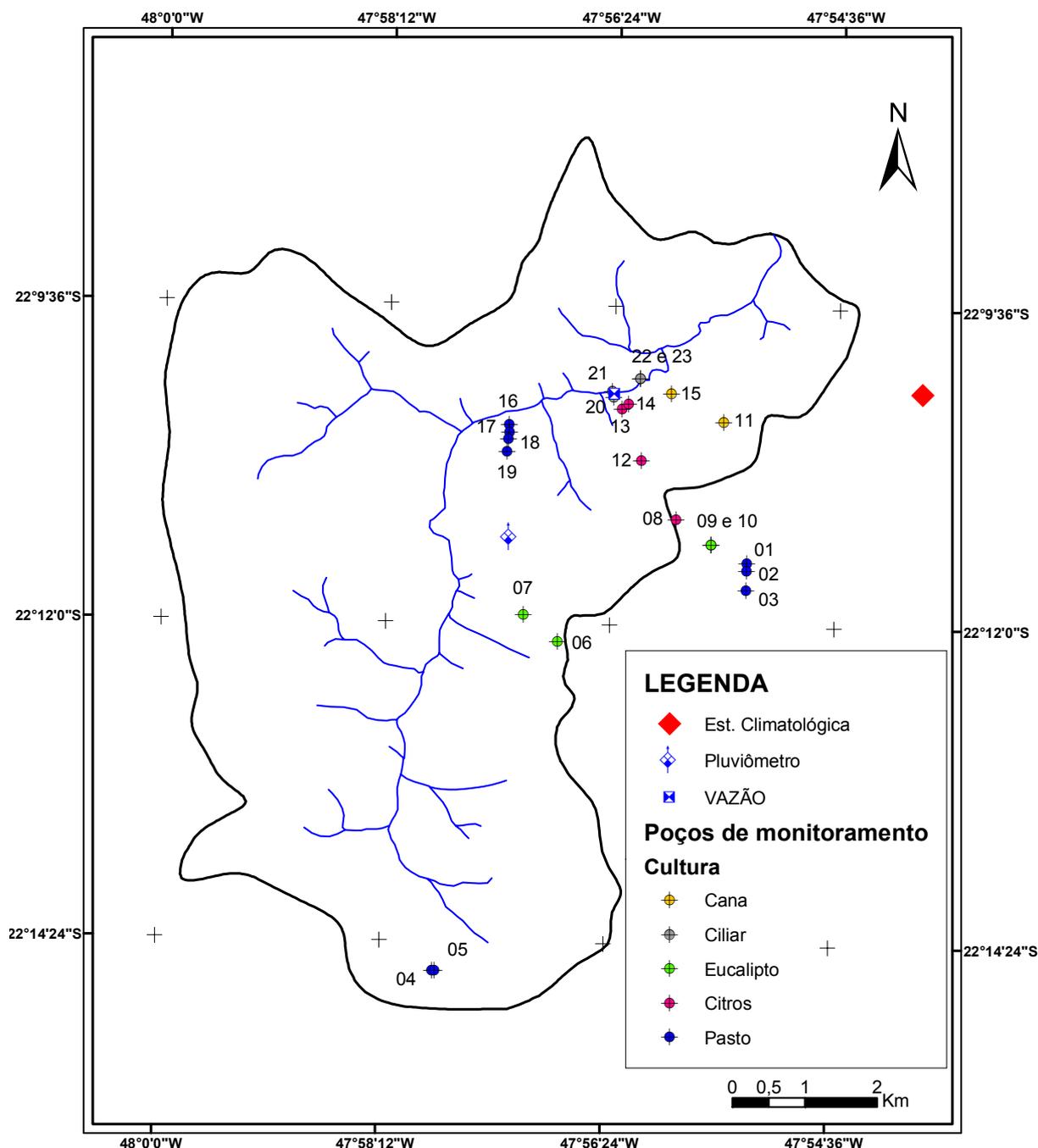


Figura 5: localização dos instrumentos de monitoramento instalados na área de estudo

As medições de nível do aquífero nos poços de monitoramento são realizadas quinzenalmente em 17 (Poço, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 10, 11, 12, 14, 17, 20, 21, 22, 23) poços e duas vezes por dia em 6 poços (Poço 09, 13, 15, 16, 18 e 19), utilizando aparelhos de medição automática equipados com *data logger*.

As medidas de vazão líquida na seção de controle foram realizadas através de um molinete hidrométrico associado ao método da seção média. A seção de controle de vazão pode ser visualizada na Figura 5. Para medida da velocidade média na vertical utilizou-se um ponto a uma distância de 0,6 da profundidade da vertical a partir da superfície e um tempo de 50 segundos para contagem dos giros da hélice. Foi adotado o valor de 0,5m para a largura entre as verticais. A medição foi realizada a vau.

3. INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO NA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA

Na bacia do Ribeirão da Onça o fluxo na interação rio-aquífero se dá do aquífero para o rio.

Contin Neto (1981) estudou a interação rio-aquífero na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas-SP. Baseado na equação de Darcy, o autor verificou que o nível em um poço de monitoramento estava relacionado com o fluxo de base do rio. Concluiu-se que somente através de um maior número de poços de monitoramento em várias seções ao longo do rio pode-se encontrar uma relação que descreva de maneira satisfatória a interação rio-aquífero.

Contin Neto (1987), ainda em estudos sobre a interação rio-aquífero na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas-SP, separou o escoamento básico do escoamento superficial direto através da análise do hidrograma do rio (Figura 6).

Arantes (2003), também na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas-SP, utilizou a separação do hidrograma do rio para encontrar os valores da vazão de base. A vazão de base encontrada ficou na faixa de 0,5m³/s a 1,0m³/s.

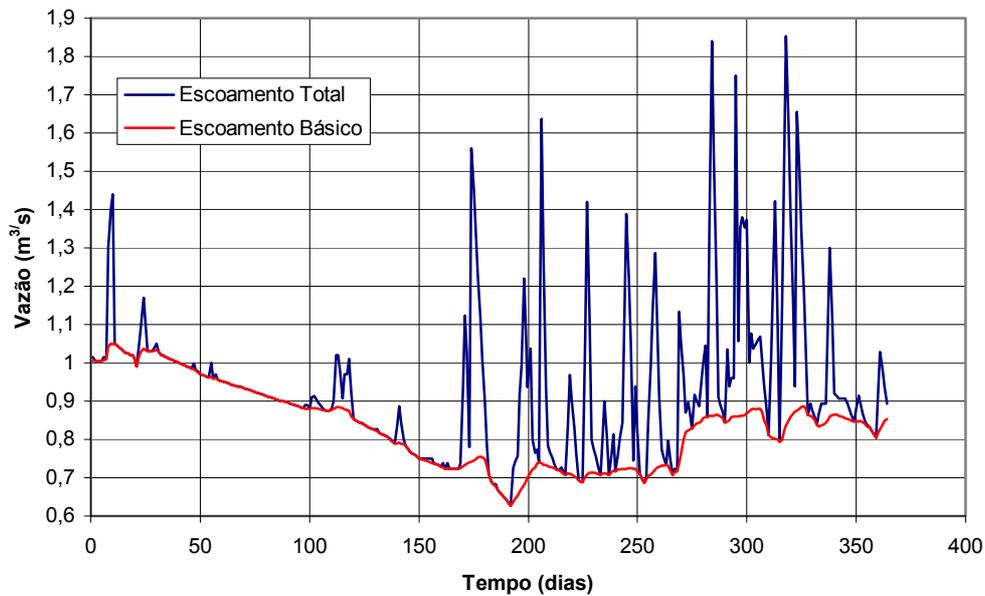


Figura 6: Separação do escoamento de base no Ribeirão da Onça, Brotas-SP, 1985-1986.

(Fonte: CONTIN NETO, 1987, modificado por ARANTES, 2003).

4. ESTIMATIVA DA VAZÃO DE BASE PELA CORRELAÇÃO COM O NÍVEL DO AQÜÍFERO

A quantificação do escoamento de base através da associação com níveis potenciométricos é baseada no trabalho e nas funções apresentadas por Rushton e Tomlinson (1979).

Esse método assume que quando há um acréscimo no nível do aquífero há, também, um acréscimo no escoamento de base. Isto pode ser explicado pela lei de Darcy, já que, quando se tem um aumento no nível do aquífero, tem-se um aumento no gradiente hidráulico do aquífero para o curso de água. O inverso acontece quando se tem um decréscimo no nível do aquífero.

Então, pode-se afirmar que existe uma correlação entre os valores da descarga no curso de água e o nível do aquífero.

A hipótese simplificadora que é feita nesse trabalho é que a variação do nível do aquífero ocorre de forma homogênea, sendo assim, o nível do aquífero pode ser representado pelo nível de água em poços de monitoramento.

As equações 2 e 3 podem ser utilizadas de diversas formas.

Uma das formas de utilização das equações 2 e 3 é definir que cada nível de água em um poço de monitoramento está associado a uma determinada quantidade da vazão de base em um rio (Figura 7).

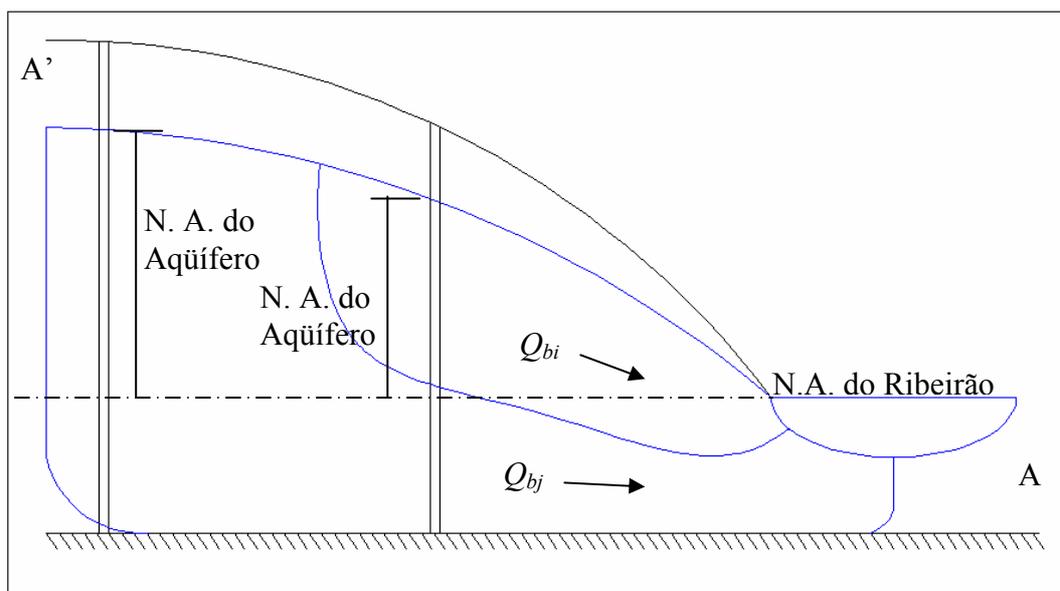


Figura 7: Corte esquemático representativo do fluxo entre um aquífero e um rio

O nível do aquífero é referenciado em relação à cota do nível superficial do curso de água. Traça-se uma perpendicular ao curso de água passando pelo poço de monitoramento, mede-se a diferença entre a cota do nível superficial do curso de água, no ponto por onde passa a perpendicular, e o nível do aquífero. Essa prática é utilizada para dar sentido físico à correlação, já que, para um caso mais simples, as linhas de fluxo, que partem de um ponto da superfície do aquífero livre, seguem uma reta que descarrega perpendicularmente ao curso de água (Figura 8). No entanto, qualquer referência para o nível do aquífero é válida, já que é a variação do nível do aquífero que influencia a variação do escoamento básico em um curso de água.

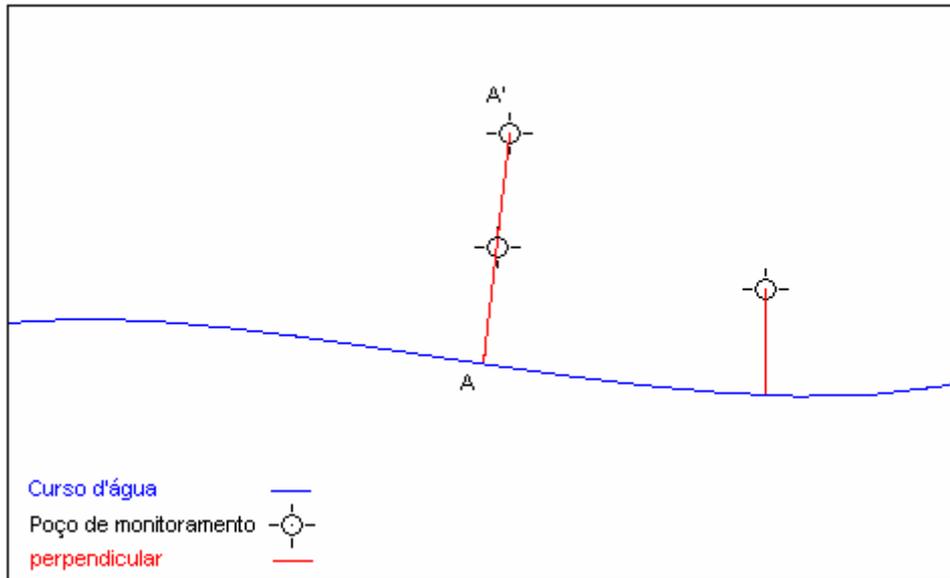


Figura 8: Esquema para determinação do ponto do curso d'água que deve ser considerado como referência para determinação do valor do nível do aquífero

As equações 2 e 3, utilizando essa hipótese, são:

$$Q_b = b_1 \cdot (1 - e^{-c_1 \cdot \Delta h_1}) + b_2 \cdot (1 - e^{-c_2 \cdot \Delta h_2}) + \dots + b_n \cdot (1 - e^{-c_n \cdot \Delta h_n}) \quad (4)$$

$$Q_b = a_1 \cdot \Delta h_1 + b_1 \cdot (1 - e^{-c_1 \cdot \Delta h_1}) + a_2 \cdot \Delta h_2 + b_2 \cdot (1 - e^{-c_2 \cdot \Delta h_2}) + \dots + a_n \cdot \Delta h_n + b_n \cdot (1 - e^{-c_n \cdot \Delta h_n}) \quad (5)$$

em que Q_b é a vazão de base, b_n e c_n são os parâmetros da equação e Δh_n é a variação do nível de água no poço de monitoramento em um determinado intervalo de tempo.

Outra forma de utilizar as equações 2 e 3 é assumir a hipótese de que uma unidade de variação no nível de água, em qualquer poço de monitoramento, causa a mesma variação no escoamento de base de um rio. As equações 2 e 3 assumem as seguintes formas:

$$Q_b = b_n \cdot (1 - e^{-c_1 \cdot \Sigma \Delta h_n}) \quad (6)$$

$$Q_b = a_n \cdot \Sigma \Delta h_n + b_n \cdot (1 - e^{-c_1 \cdot \Sigma \Delta h_n}) \quad (7)$$

em que $\Sigma \Delta h_n$ é a soma da variação do nível de água em poços de monitoramento em um determinado intervalo de tempo.

Para calibração dos parâmetros das equações foram escolhidas, dentre as vazões obtidas através de medições com o molinete, as que representassem a vazão de base, que estivessem distantes de eventos de chuva (Tabela 1).

Tabela 1: Vazões medidas representativas da vazão de base

DATA	VAZÃO (m ³ /s)	DATA	VAZÃO (m ³ /s)	DATA	VAZÃO (m ³ /s)
28/10/04	0,71	03/08/05	0,70	14/10/05	0,56
29/04/05	0,90	19/08/05	0,70	11/11/05	0,50
03/06/05	0,69	02/09/05	0,83	22/12/05	0,51
01/07/05	0,76	15/09/05	0,53	13/01/06	0,51

Foram escolhidos os poços 13 e 08 para utilização nos modelos, por estarem próximos à linha imaginária da seção que corta a bacia, perpendicularmente ao ribeirão, no ponto da seção de controle, e por terem suas cotas, em relação ao ribeirão, conhecidas.

Para relacionar a vazão de base com dois poços simultaneamente, adotou-se que existe uma correlação entre o escoamento de base e a soma dos níveis do aquífero nos poços de monitoramento

$$Q_b = k_1 \cdot (1 - e^{-(h_8 + h_{13}) \cdot k_2}) \quad (8)$$

$$Q_b = k_1 \cdot (h_8 + h_{13}) + k_2 (1 - e^{-(h_8 + h_{13}) \cdot k_3}) \quad (9)$$

em que k_1, k_2, k_3 , são os parâmetros, Q_b é a vazão de base h_i é o nível do aquífero no poço “i”, referente ao nível superficial do ribeirão (metros).

Com os níveis do aquífero nos poços de observação, relativos ao nível de água no ribeirão, e os dados de vazão de base, estimaram-se os parâmetros através do método dos mínimos quadrados.

A escolha da melhor função para descrever a interação rio-aquífero foi realizada quantificando, entre as vazões calculadas e medidas, o viés, o erro médio, o coeficiente de correlação e a vazão de pico.

A equação 7 foi a que melhor se ajustou aos valores observados, utilizando os níveis de água nos poços 05, 08, 13, 15, 16, 18, 19 (Gráfico 1 e Gráfico 2). Os parâmetros estatísticos encontrados entre a vazão simulada e a vazão observada foram: viés igual a zero, erro médio igual a 0,02, coeficiente de correlação igual a 0,92 e vazão de pico simulada foi 0,87m³/s.

Os parâmetros encontrados para a equação foram: $\alpha = 0,0143$, $b = 2,2600$ e $c = -8,2819$.

O volume anual do escoamento de base foi estimado em 22.115.035m³, o que corresponde a um fluxo total escoado de 419mm no ano de 2005. O Gráfico 3 apresenta os valores encontrados para o período de um mês.

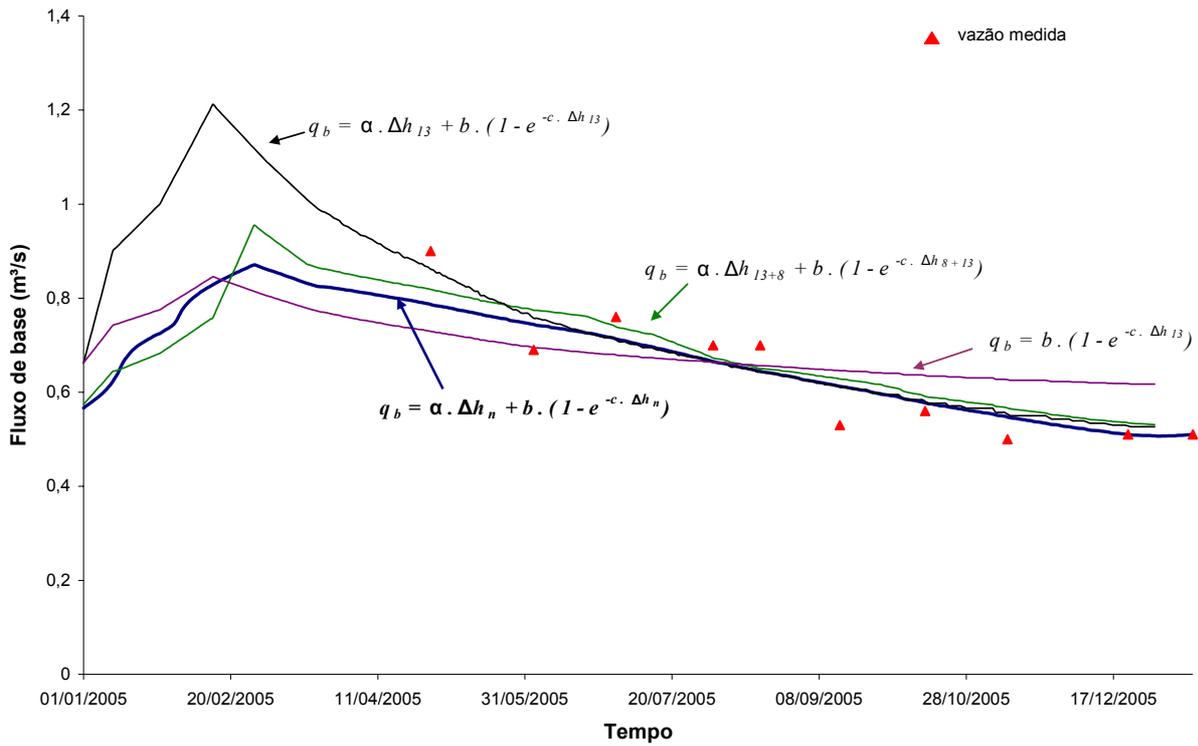


Gráfico 1: Vazão de base simulada através de equação de interação rio-aquífero

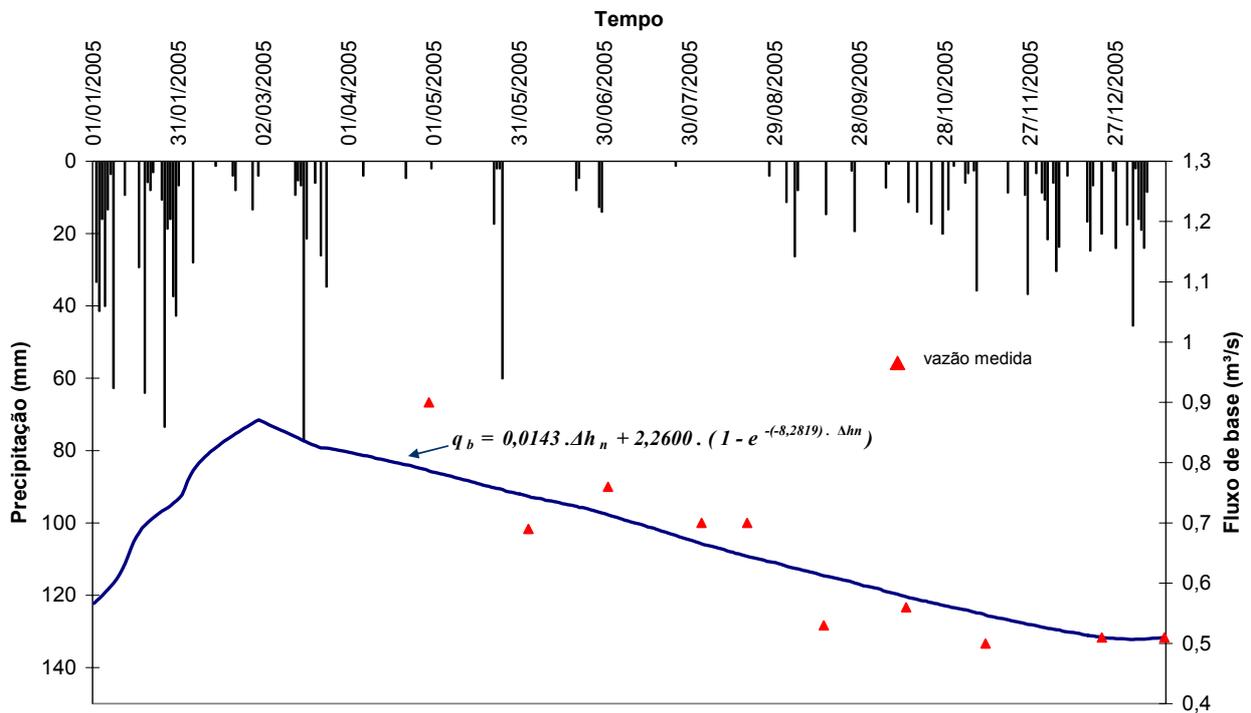


Gráfico 2: função de melhor ajuste para o fluxo de base

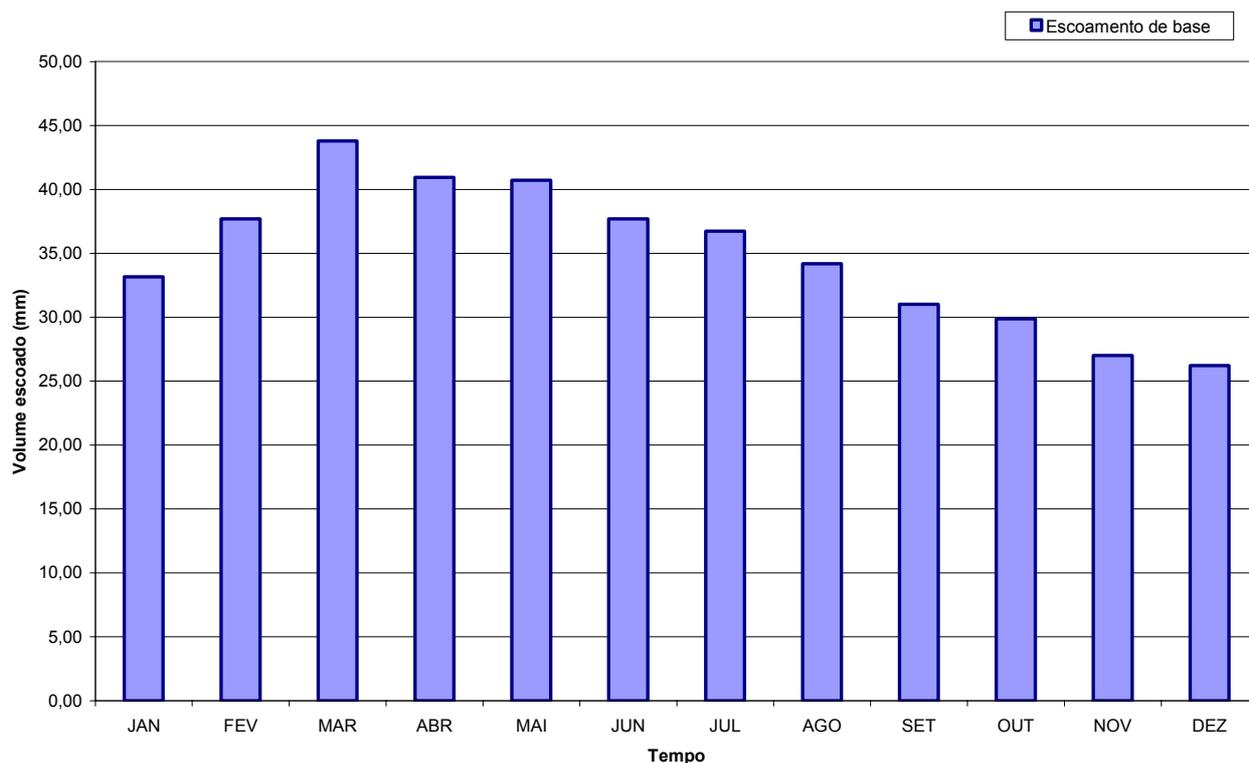


Gráfico 3: Estimativa mensal do escoamento básico no Ribeirão da Onça para o ano de 2005, utilizando a altura equivalente de água relativa à área de drenagem.

Para a situação em que o aquífero alimenta os rios, as áreas do aquífero próximas ao curso d'água sofrem uma maior variação da sua cota potenciométrica (Figura 9). Esse fenômeno causa uma deformação na superfície do aquífero. Observa-se a ação desse fenômeno pelo acréscimo na vazão de base observada no hidrograma de um rio após um evento de chuva. Esta variação, porém, pode representar uma pequena parte do escoamento em relação aos volumes anuais.

A Figura 10 mostra um hidrograma característico de um rio após um evento de chuva. O ponto A indica o início do escoamento superficial direto e o ponto B o término do escoamento superficial direto. No ponto B a vazão é maior que no ponto A, o que indica que após um evento de chuva o escoamento de base aumenta. Para que isso ocorra, o nível do aquífero deve aumentar quando a vazão de base aumenta, o que é condizente com a lei de Darcy. Esse aumento no nível do aquífero se dá primeiro nas partes mais próximas do rio e é a causa da deformação na superfície freática. Em muitos casos a linha representativa da fronteira entre o escoamento de base e o superficial direto pode é admitida como uma reta.

Sendo assim, para uma boa representação da interação rio-aquífero faz-se necessária a utilização de poços de observação próximos aos cursos d'água como também a distâncias maiores.

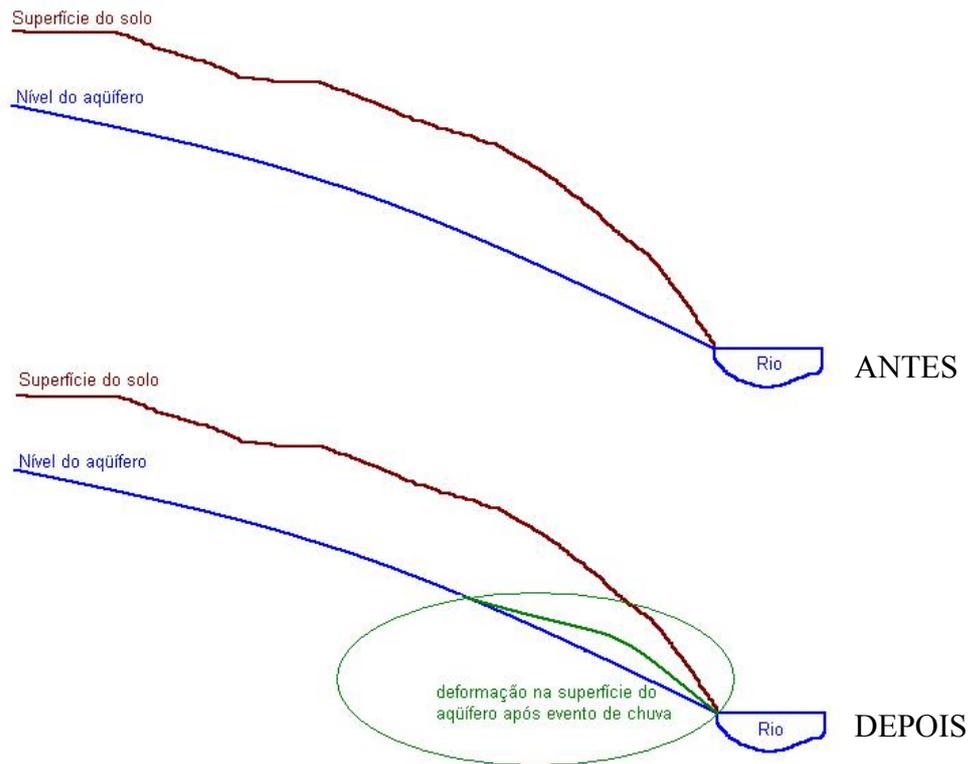


Figura 9: Esquema de deformação na superfície do aquífero após evento de chuva

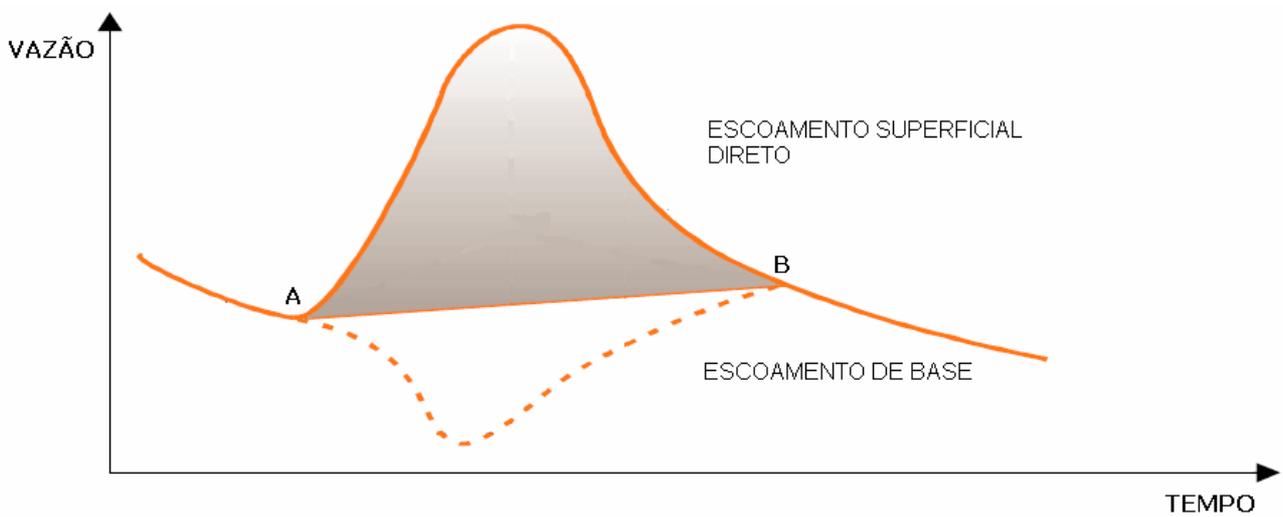


Figura 10: Hidrograma característico de escoamento em canal após um evento de chuva isolado

Os poços de observação mais próximos do Ribeirão da Onça foram descartados desse estudo de interação rio-aquífero por não haver dados coletados durante todo o ano de 2005. Além do mais, as coletas de dados quinzenais estão aquém das necessidades de acompanhamento dos níveis nesses poços (Gráfico 4).

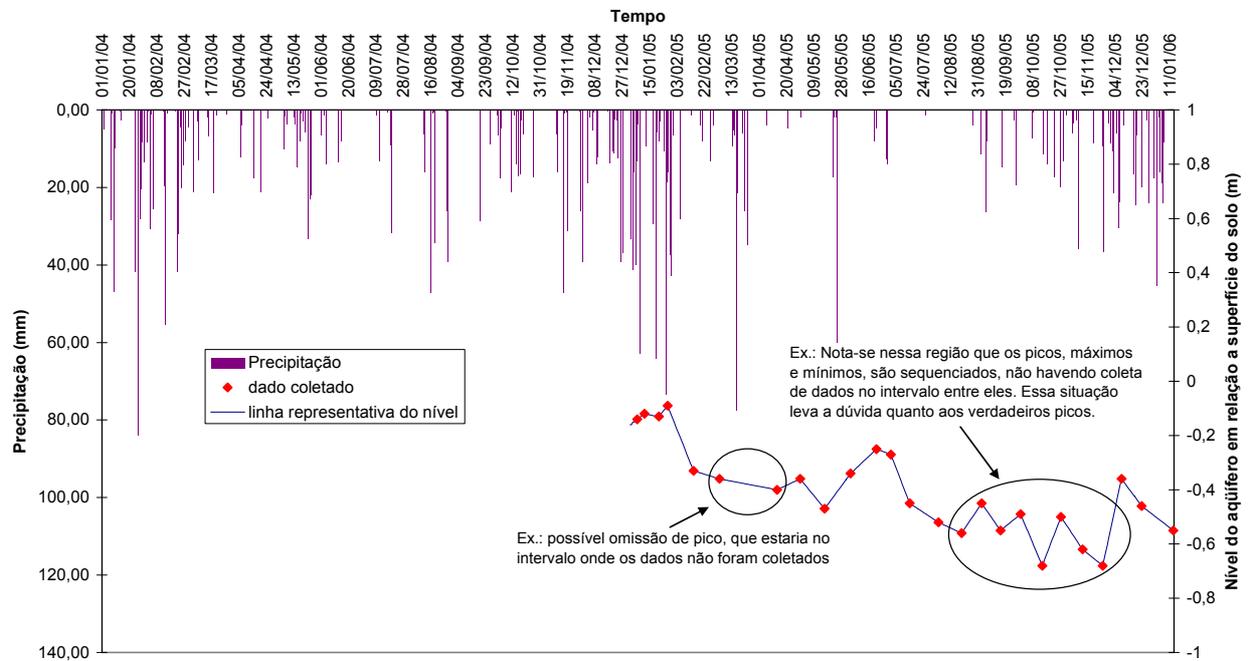


Gráfico 4: Nível do aquífero em relação ao solo no poço 21, locado próximo ao ribeirão

5. CONCLUSÃO

Analisando os parâmetros estatísticos e tendo em vista os objetivos do estudo pode-se concluir que o uso de uma função relacionando o nível do aquífero e o escoamento de base é uma forma viável de estimativa. Pretende-se verificar a validade desta função utilizando-a para estimar o escoamento básico no ano de 2006.

A possibilidade do uso de uma função linear para representar a interação rio-aquífero mostra que a bacia obedece a um padrão homogêneo de escoamento subterrâneo, o que significa que a permeabilidade do solo deve ser homogênea na bacia.

A utilização das equações da forma da equação 4 e da equação 6 não foram adequadas para representar a interação. Essas equações restringiram os valores extremos, dificultando uma aproximação entre uma vazão máxima e uma vazão mínima aceitáveis, além de gerar um erro relativamente grande, quando comparado com os erros gerados pelas outras equações.

Equações com a mesma forma da equação 5 podem ter um grande número de parâmetros, sendo necessários um maior número de dados para ajustá-las e gerando dúvidas quanto a seu sentido físico.

Para rios de pequeno porte, os modelos de interação rio-aquífero só devem ser usados em, para quantificar o escoamento de base, em casos onde a obtenção de dados contínuos de vazão é difícil de ser realizada, como seções de controle com leito móvel ou com vários controles. O uso desses modelos deve ser acompanhado, sempre que possível, de uma verificação.

Para um melhor ajuste das funções, níveis de água em poços de monitoramento próximos aos cursos d'água tem que ser utilizados ou devem ter sua significância analisada.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do Fundo de Universidades do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, através da SG/OEA e ao CNPq, pela concessão de bolsa de mestrado

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, E. J. (2003). *Emprego de Infiltrômetros na caracterização da Interação Rio e Aquífero*. Dissertação de Mestrado. SHS-EESC-USP São Carlos, SP.

BARRETO, C. E. A. G. (2006). *Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani através de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa*. Dissertação de Mestrado. SHS-EESC-USP, São Carlos, SP.

CONTIN NETO, D. (1981). *Interação rio-aquífero: Relatório Final*, Convênio DNAEE/EESC-010/81. São Carlos, SP.

CONTIN NETO, D. (1987)– *Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica situada em Região de Recarga do Aquífero Botucatu*. Tese de Doutorado. São Carlos, SHS-EESC-USP.

LERNER, D.N. (2003). *Surface water – groundwater interactions in the context of groundwater resources*. In: XU, Y.; BEEKMAN, H.E. (Org) (2003). *Groundwater recharge estimation in Southern Africa*. UNESCO IHP. Series n. 64, UNESCO, Paris.

POMPÊO, C. A. (1990). *Balanço Hídrico da Zona Não-Saturada do Solo na Bacia do Ribeirão do Onça (SP)*. Tese de Doutorado. São Carlos, SHS-EESC-USP.

QUEIROZ, O. M. (1991). *Propagação de cheias: aplicação do modelo de onda cinemática ao Ribeirão da Onça – SP*. Dissertação de Mestrado. SHS-EESC-USP, São Carlos, SP.

RUSHTON, K. R.; TOMLINSON, L. M. (1979). *Possible mechanisms for leakage between aquifers and rivers*. Journal of Hydrology, v.40, p. 49-65.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

SOPHOCLEOUS, M. (2002) *Interaction between groundwater and surface water; the state of the science*. Hydrogeology Journal, v. 10, n. 1, p. 52-67.

WINTER, T. C.; HARVEY J. W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. (1998). *Ground Water and Surface Water. A Single Resource*. U. S. Geological Survey, Circular 1139. 79 p.

WOESSNER, W.W. (2000). *Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydro geologic thought*. Ground Water, v. 38, p.423-429.