

CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE RIO E AQUÍFERO COM O USO DE INFILTRÔMETROS

CHARACTERIZATION OF THE INTERACTION BETWEEN RIVER AND AQUIFER USING INFILTRMETERS

Eudes José Arantes¹, Fazal Hussain Chaudhry² e Francisco F. N. Marcussi²

Recebido em: 20/03/2006; aceito em: 18/10/2006

RESUMO O objetivo deste estudo foi quantificar o escoamento de água na interação entre rio e aquífero, na proximidade do Ribeirão da Onça na cidade de Brotas no estado de São Paulo, através da utilização de infiltrômetros e de poços de observação do nível freático. A bacia hidrográfica em questão foi escolhida pela sua importância na área de recarga do Aquífero Guarani. O estudo da interação entre rio e aquífero foi realizado através de infiltrômetros colocados no fundo do rio em três seções. Analisando-se o comportamento da interação ao longo de um período de sete meses, verificou-se que a taxa média de surgimento foi de 300 mm dia⁻¹ na área de afloramento do nível freático. Observou-se, ainda, a influência da chuva e da pressão atmosférica nos valores do surgimento, sendo que a última, ocorreu de forma inversa. Em vista dos resultados satisfatórios dos experimentos, pode-se afirmar que a utilização de infiltrômetros para determinação da taxa de troca entre rio e aquífero representa um procedimento adequado, desde que se tomem cuidados contínuos para obterem-se resultados consistentes.

Palavras chave: interação rio-aquífero, aquífero guarani, escoamento básico, água subterrânea, recarga

ABSTRACT The purpose of this study was to quantify the river-aquifer interaction in a hydrographic basin using the infiltrometer for seepage meter and observation wells situated on the riverbanks. The Onça stream (São Paulo State, Brazil) was chosen for this study because its location in the recharge area of the Guarany Aquifer Region. Infiltrometers were placed in three sections at the bed of Onça stream. Analyzing the behavior of the river-aquifer interaction during seven months, it was found that the average exfiltration rate was of the order of 300 mm.dia⁻¹ in the seepage area. Further, the seepage rate was influenced by rainfall events, atmospheric pressure and rate of rise or fall of river stage. In view of the satisfactory experimental results obtained in this study, the use of infiltrometers for the determination of the river-aquifer interaction represents procedure if criterion was taken in its installation in the river bed.

Key words: river-aquifer interaction, Guarany Aquifer, drainage, groundwater, recharge

INTRODUÇÃO

O entendimento da interação da água subterrânea e superficial é essencial ao estudo em recursos hídricos tendo em vista o fato que ela representa um elo do ciclo hidrológico sendo importante para o estudo tanto de recargas em aquíferos como na regularização de vazões do escoamento superficial. O planejamento de apenas uma componente do sistema hidrológico, como os escoamentos superficiais ou subterrâneos, normalmente, é só eficaz em parte, porque cada componente hidrológica está em contínua interação com outras componentes.

A quantificação da interação entre o rio e o aquífero pode ser realizada de diversas maneiras, utilizando-se, por exemplo, infiltrômetros, minipiezômetros, traçadores, lisímetros de fundo de rio, cálculos de diferença entre vazões em um trecho do rio e, também, através do balanço hídrico.

Medidas da infiltração são realizadas desde meados de 1940 e foram desenvolvidas devido à necessidade de calcular a quantidade de perdas de canais pela infiltração (ISRAELSON; REEVE,

1944; *apud* KALERIS, 1998). Essas medidas são muito utilizadas hoje no estudo da troca de água superficial e subterrânea (CEY *et al.*, 1998 e WROBLICKY *et al.*, 1998; *apud* KALERIS, 1998). Um estudo extenso de referências relacionadas à medida da infiltração foi apresentado por Carr e Winter (1980).

O infiltrômetro desenvolvido por Lee (1977) teve grande utilização. Um outro dispositivo apropriado para pequenos rios foi apresentado por Traub (1982) e Kaleris (1986) (SAEP - Agência Estatal de Proteção Ambiental de Baden - *Württemberg* na Alemanha - infiltrometer). Chekauer e Mcbride (1988) apresentaram um infiltrômetro para corpos de água com grandes superfícies.

A taxa de troca hídrica entre rio e aquífero varia no espaço e no tempo. Variações temporais não são apenas devido a flutuações do nível de água no rio e no aquífero, mas também, devido às variações temporais da resistência hidráulica da camada semipermeável (GELDNER, 1980 e KALERIS, 1986; *apud* Kaleris, 1998).

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (*eudesarantes@gmail.com*)

²Universidade de São Paulo (Campus São Carlos) (*fazal@sc.usp.br*), (*marcussi@sc.usp.br*)

Kaleris (1998) realizou ensaio com um infiltrômetro produzido pela SAEP e comparou com ensaios com lisímetros no fundo do rio também desenvolvido pela SAEP. Além disso, ele determinou a taxa de infiltração do rio através da diferença da vazão no início e no fim de um trecho do rio em que não havia outras contribuições externas. Concluiu que as medidas da taxa de troca obtidas por infiltrômetro comparam-se favoravelmente às medidas obtidas através da diferença de vazão em um trecho, na ausência de contribuição externa. Com relação à comparação entre o lisímetro e o infiltrômetro, a média da infiltração nos dois métodos foi similar, mas o infiltrômetro pode conter erros quando não se garante que, no fundo do equipamento, haja entrada de água subterrânea.

Kaleris (1998), ainda, comenta sobre a utilização de traçadores para determinação da taxa de troca, que segundo Castro e Hornberger (1991) e Harvey *et al.* (1996), tem uma eficácia boa dependendo da aplicação do método que requer investimentos elevados.

A bacia do Ribeirão da Onça foi escolhida para a realização desse estudo. Esse pequeno rio é um afluente do rio Jacaré-Guaçu localizado no município de Brotas no Estado de São Paulo. Esta área, segundo Contin Neto (1987), pertencente à importante área de recarga do Aquífero Guarani.

O objetivo deste estudo foi a quantificação do escoamento de água na interação entre o rio e o aquífero em uma bacia de estudos, através da utilização de infiltrômetros e de poços de observação do nível freático na proximidade do rio. Assim, ensaios em diversas seções do rio foram realizados para caracterizar a existência de infiltração ou surgimento e a taxa de troca.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo da taxa de troca entre o aquífero e o rio foi realizado no Ribeirão da Onça, localizado no município de Brotas nas proximidades do CRHEA – USP (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos-SP, Brasil).

Bacia do Ribeirão da Onça

A bacia do Ribeirão da Onça localiza-se na região do município de Brotas, ao centro-norte 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 da Onça é um dos formadores do Rio Jacaré-Guaçu, afluente do Rio Tietê pela margem direita.

A Bacia do Ribeirão da Onça faz parte da região de afloramento do Aquífero Guarani e situa-se próximo a uma Área de Proteção Ambiental (APA) bem mais ampla que engloba o Ribeirão do Lobo, Represa do Brôa e o Córrego do Feijão, este responsável por parte do abastecimento urbano da cidade de São Carlos.

Para determinação da recarga, foi realizado o balanço hídrico na superfície da bacia, região não saturada e na parte saturada do aquífero freático.

Dados hidrometeorológicos

As quantificações da taxa de troca entre o rio e o aquífero foram realizadas em três seções do Ribeirão da Onça. A localização destas seções é apresentada na Figura 1.

A variação da vazão na seção S₂ para o período de estudo também foi determinada com base na construção de uma curva-chave. Nas seções de estudo S₁ e S₂ determinaram-se os níveis freáticos próximo às margens do rio.

Os dados de pressão atmosférica e precipitação foram obtidos da estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da USP, que se localiza próxima à bacia em estudo.

Fluviometria

As vazões na seção de controle do Ribeirão da Onça foram obtidas através das medidas do nível da água e a construção de uma curva-chave utilizando medidas de vazão determinadas através de um molinete hidrométrico. No total, foram realizadas cinco medidas de vazão. Apesar de haver uma mudança na batimetria da seção de controle ao longo do tempo (Figura 2), conforme observado por Contin Neto (1987), Pompeo (1990) e Arantes (2003), essas variações ocorrem fortemente nos períodos chuvosos, sendo que no período seco a geometria da seção mantém certa constância. Baseado na constância da seção geométrica pode-se construir o gráfico da cota versus descarga e associar as vazões às medidas de cota da superfície do rio (Figura 2). A partir das vazões observadas, uma equação do tipo:

$$Q = a.h^b,$$

foi ajustada com a=0,996 e b=3,03 (Figura 3).

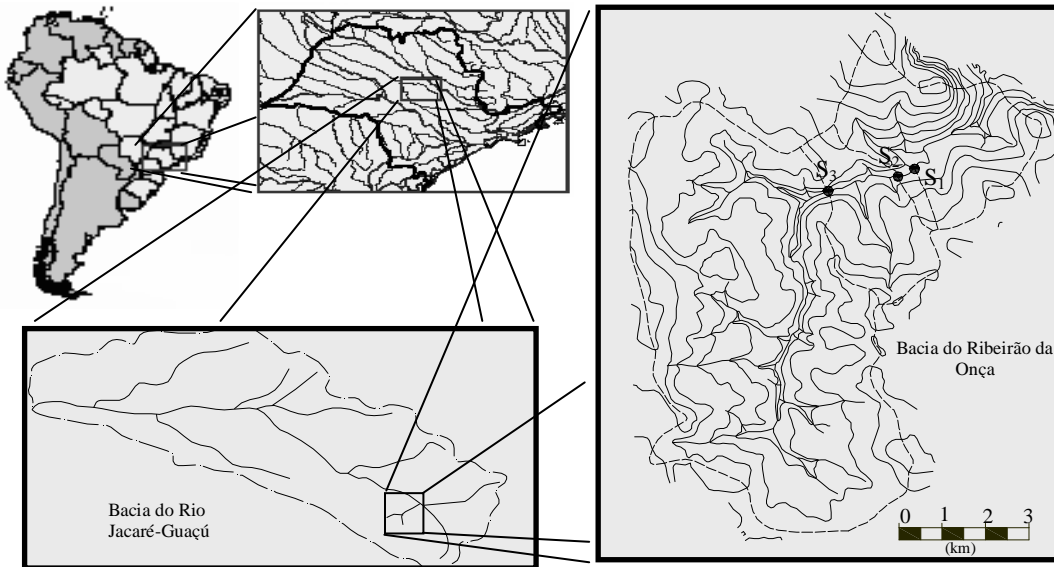


Figura 1. Localização da bacia do Ribeirão da Onça e as seções de estudo
 Figura 1. Localização da bacia do Ribeirão da Onça e as seções de estudo

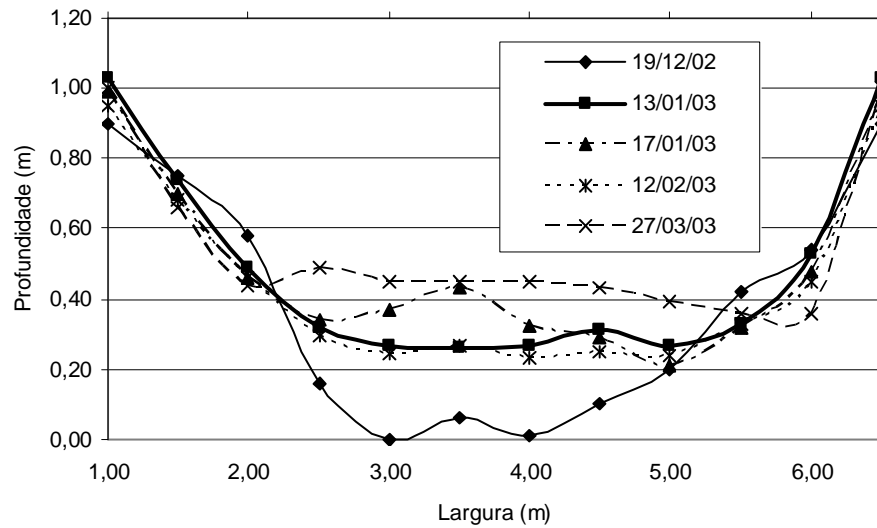


Figura 2 – Evolução do formato da calha (batimetria).
 Figura 2 – Evolução do formato da calha (batimetria).

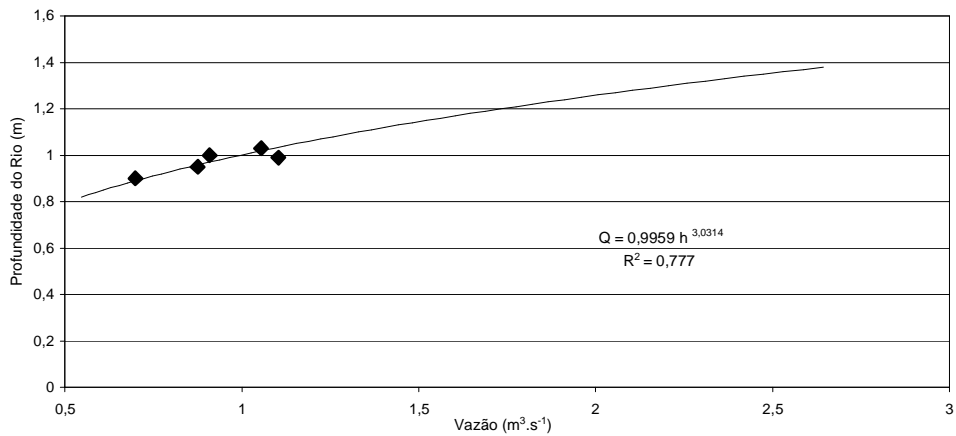


Figura 3 – Curva-chave para a seção de estudo do Ribeirão da Onça utilizada para o cálculo da vazão.
 Figura 3 – Curva-chave para a seção de estudo do Ribeirão da Onça para região utilizada para o cálculo da vazão

Descrição dos infiltrômetros

Com base no estudo de alternativas para a quantificação de trocas no fundo do Ribeirão da Onça, decidiu-se construir um equipamento simples semelhante ao apresentado por Lee (1977). A instalação deste infiltrômetro requer cuidados especiais para evitar perturbação excessiva do material de fundo do rio e, ainda,

assegurar um contato seguro entre o cilindro inferior e o fundo.

Os experimentos pilotos indicaram que a interação rio-aquífero, nesta área em estudo, sempre se deu na forma de surgimento. Os infiltrômetros utilizaram tambores comerciais com o volume de 200 litros recortados à altura desejada (Figura 4).

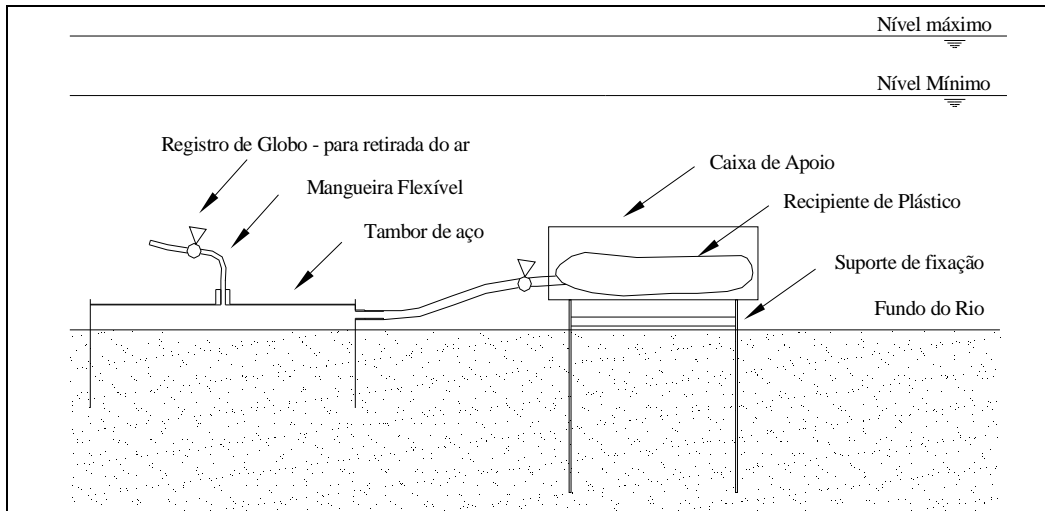


Figura 4 – Representação Esquemática dos infiltrômetros

Figura 4 – Representação Esquemática dos infiltrômetros

Foi soldado um espigão de 20 mm com saída para mangueira 20 mm na lateral do tambor para coleta de água durante a interação entre o rio e o aquífero. Um outro espigão de 13 mm com saída 10 mm para mangueira foi soldado no centro superior do tambor com a função da retirada de gás de origem orgânica que, por ventura, se liberar das águas surgentes.

Para a coleta da água de surgimento empregaram-se recipientes plásticos na forma de travesseiros de água quente em PVC de dimensões 60 por 40 cm adquiridos de estabelecimentos de materiais cirúrgicos. No bocal de enchimento desse recipiente plástico, acoplou-se uma mangueira de 13 mm, vedando-se com cola. Para uma melhor proteção do recipiente plástico, utilizou-se uma caixa de apoio tipo “engradado” tampado a qual foi encravado no fundo do rio conforme ilustrado na figura 4.

O tambor do infiltrômetro foi encravado no fundo do rio, permanecendo ali a menos que surgissem ocasiões para a sua refixação, quais sejam, depois de cheias extremas, quando o tambor era submetido a depósitos de sedimentos ou era deslocado devido à erosão. Inicialmente, o recipiente plástico era conectado ao espigão lateral do tambor e deixado no local por vinte e quatro horas. Isto produziu dados incoerentes sobre a taxa de surgimento tendo em vista altos

valores desta taxa para coleta no recipiente de volume limitado. Após tentativas, verificou-se que a permanência dos recipientes ligados ao tambor durante uma hora era suficiente para quantificação da taxa de surgimento.

Em geral, realizaram-se entre três ou quatro medidas por semana no período compreendido entre 16 de julho de 2002 e 14 de fevereiro de 2003 que cobriu épocas secas e de cheias no Ribeirão da Onça. Em algumas seções ficou muito difícil realizar as medidas devido à impossibilidade de fixação adequada do tambor e do recipiente plástico de coleta de águas de surgimento. O tipo de interação (infiltração ou surgimento) entre o aquífero freático e o Ribeirão da Onça foi caracterizado realizando-se medidas da interação ao longo do canal principal, para as quais, três locais foram escolhidos. Foram confeccionados e empregados três infiltrômetros para assegurar medidas simultâneas nas três seções escolhidas. Para melhor compreender o tipo de interação, foram feitas medidas adicionais do nível freático com auxílio de observação.

Poços de observação dos níveis freáticos

Procurou-se caracterizar o padrão transversal da variação do nível freático nos dias de ensaios taxa de surgimento através da observação dos níveis de água em poços de observação colocados nas seções S₁ e S₂. O espaçamento destes poços

de observação nas margens dependeu do relevo existente para caracterizar o perfil da superfície freática. Os poços foram construídos com tubos de PVC de 2 m de comprimento e 50 mm de diâmetro. O comprimento inferior de 1,5 m do tubo foi perfurado em sua circunferência com furos de 5 mm e enrolado por uma manta de geotêxtil para impedir a entrada de solo no tubo, funcionando como um filtro. O solo foi perfurado com auxílio de um trado de 75 mm de diâmetro onde se colocava um tubo auxiliar de 75 mm. O tubo de revestimento do poço com o filtro, foi colocado no tubo maior antes da retirada do tubo auxiliar. O espaço ao redor do poço de observação era preenchido com parte do solo resultante da perfuração inicial. Nota-se que os poços de observação caracterizam-se pela existência de filtro em toda a região de variação dos níveis freáticos, determinando-se as cargas hidráulicas da superfície, diferentemente dos piezômetros.

No total foram construídos seis poços de observação dos níveis freáticos, sendo dois na seção S_1 mais a jusante e quatro na seção S_2 . Foi providenciado o levantamento da topografia para localização dos poços e determinação de suas cotas em relação ao rio.

Mini-piezômetros

A quantificação da taxa de surgimento de água no fundo do de água rio permite a caracterização da propriedade hidrogeológica dos estratos que compõem o substrato abaixo do fundo do rio pela aplicação da Lei de Darcy nos moldes do trabalho de Lee e Cherry (1978). Estes autores apresentaram um mini-piezômetro para ser colocado no leito do rio com o intuito de medir a carga hidráulica responsável pelo escoamento de água na camada logo abaixo do leito do rio. As diversas etapas para instalação de mini-piezômetros estão ilustradas na figura 3.

O mini-piezômetro é construído introduzindo-se um tubo de ferro de 20 mm com a extremidade inferior tampada e inserida no fundo do rio. O tubo foi cravado a uma profundidade de aproximadamente 1 m do fundo do rio. O tubo possuía furos com um filtro de geotêxtil próximo de sua extremidade para a medida de diferencial de carga hidráulica. O pedaço de geotêxtil que foi colocado na altura desses furos, internamente ao tubo, serve para impedir a entrada de material granular. A espessura do meio poroso utilizada para o cálculo da condutividade hidráulica é a distância entre a linha dos furos e o fundo do rio. Uma mangueira acoplada ao tubo através de um espigão permitia observação do nível de água no mini-piezômetro.

Utilizou-se uma régua para observar a carga hidráulica como a diferença entre o nível de água no mini-piezômetro e no rio (Figura 5).

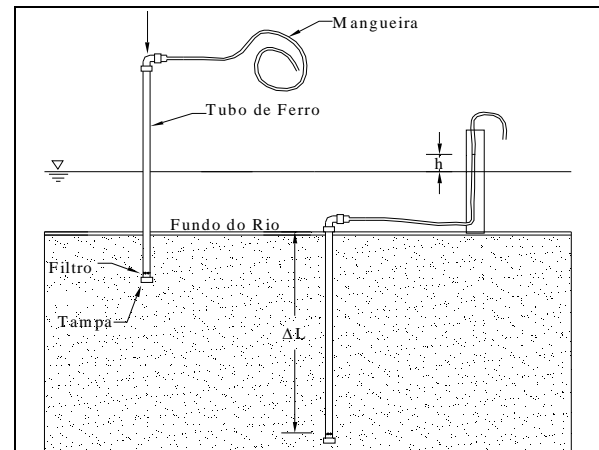


Figura 5 – Mini-piezômetro
Figura 5 – Mini-piezômetro

RESULTADOS E DISCUSSÃO

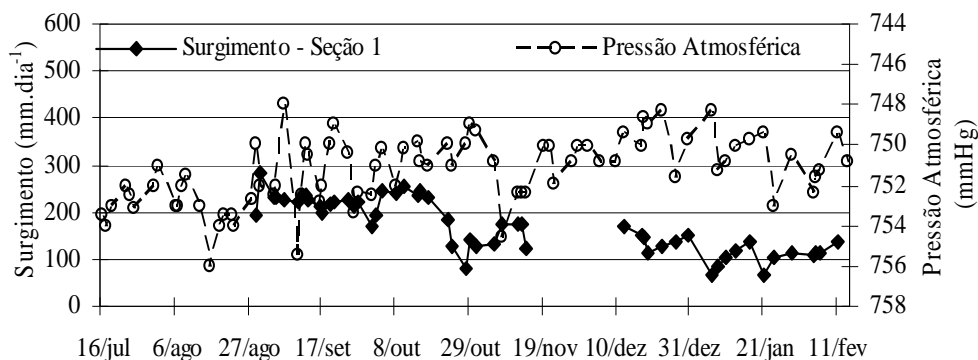
Medidas da interação entre o rio e o aquífero

Os valores observados do surgimento como resultado da interação rio-aquíferos são representados graficamente para o período em estudo para as três seções (Figuras 6, 7 e 8). As lacunas de observação nas seções S_1 (Figura 6) e S_3 (Figura 8) devem-se às dificuldades da permanência adequada do infiltrômetro no fundo do rio. Nas três seções de estudo, verificou-se que o fluxo ocorre do aquífero para o rio, o que caracteriza o Ribeirão da Onça como um rio efluente no trecho estudado. Dada a topografia acidentada da bacia hidrográfica e o fato de que o rio se localiza sempre abaixo de sua superfície, acredita-se que o aquífero freático aflora em toda a extensão do rio.

Verifica-se que existe uma oscilação nos valores da vazão de surgimento nos dias consecutivos, mesmo no período seco. Buscou-se, então, uma justificativa para essa variação com base na bibliografia sobre as características das superfícies piezométricas dos aquíferos (JACOB, 1940; PECK, 1960; TURK, 1975; FREEZE E CHERRY, 1979 E HARE; MORSE, 1997). Tais autores informaram que a variação da pressão atmosférica poderia influenciar na quantificação da interação. Procedeu-se à comparação dos valores encontrados de taxa de surgimento (mm/dia) com a pressão atmosférica nos horários dos ensaios para as três seções de estudo. Observa-se uma relação inversa entre a pressão e vazão de surgimento da comparação da variação da pressão com aquela da taxa de surgimento nas figuras 6, 7 e 8. Esta relação é mais nítida nos períodos de 15 de julho a 15 de

agosto e 23 de agosto a 13 de setembro, nos quais não houve precipitação. O restante do período de observação é marcado por chuvas ocasionais, fato

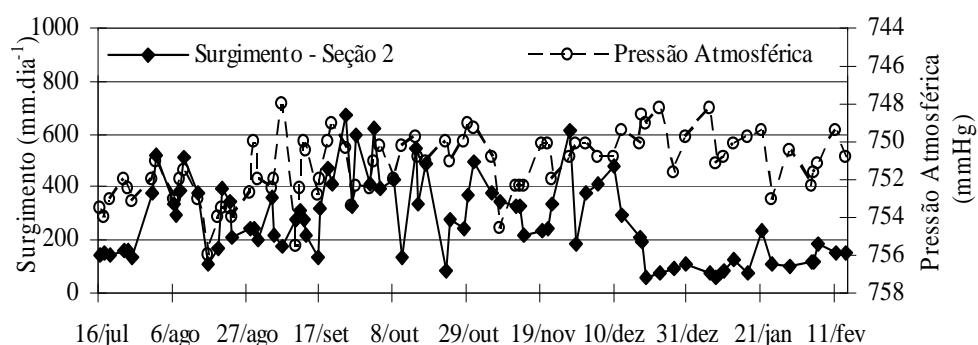
este que dificulta o estudo da variabilidade da taxa de surgimento apenas em termos de variação de pressão.



16/jul 6/ago 27/ago 17/set 8/out 29/out 19/nov 10/dez 31/dez 21/jan 11/fev

Figura 6 – Interação rio-aquífero nas seções 1 e variação da pressão.

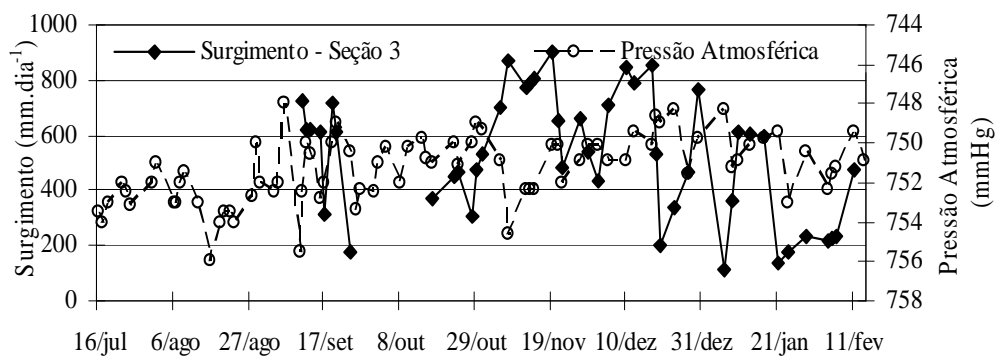
Figura 6 – Interação rio-aquífero nas seções 1 e variação da pressão.



16/jul 6/ago 27/ago 17/set 8/out 29/out 19/nov 10/dez 31/dez 21/jan 11/fev

Figura 7 – Interação rio-aquífero nas seções 2 e variação da pressão.

Figura 7 – Interação rio-aquífero nas seções 2 e variação da pressão.



16/jul 6/ago 27/ago 17/set 8/out 29/out 19/nov 10/dez 31/dez 21/jan 11/fev

Figura 8 – Interação rio-aquífero nas seções 2 e variação da pressão.

Figura 8 – Interação rio-aquífero nas seções 2 e variação da pressão.

A influência de variação da pressão atmosférica na taxa de surgimento é analisada nos períodos de estiagem na seção S₂ deste estudo na figura 9, identificando os períodos secos como os sem chuva ou com precipitações diárias inferiores a 5 mm. Apesar da dispersão excessiva nos dados observados, em diversas épocas, depreende-se um decréscimo na taxa de surgimento com um aumento na pressão atmosférica na segunda seção, durante a época de pouca chuva.

Na figura 10 verifica-se a taxa de surgimento em função do nível do rio. Observa-se que a

subida do nível da água na época chuvosa causou uma diminuição na taxa de surgimento. Esse fenômeno se deve às diferentes taxas de aumento nos níveis do rio e do aquífero. O aumento mais rápido do nível do rio provoca uma diminuição do diferencial de carga hidráulica entre o aquífero e o rio.

Para visualização da influência da precipitação na taxa de surgimento, apresentam-se na figura 11 os valores de precipitação diária no período de estudo.

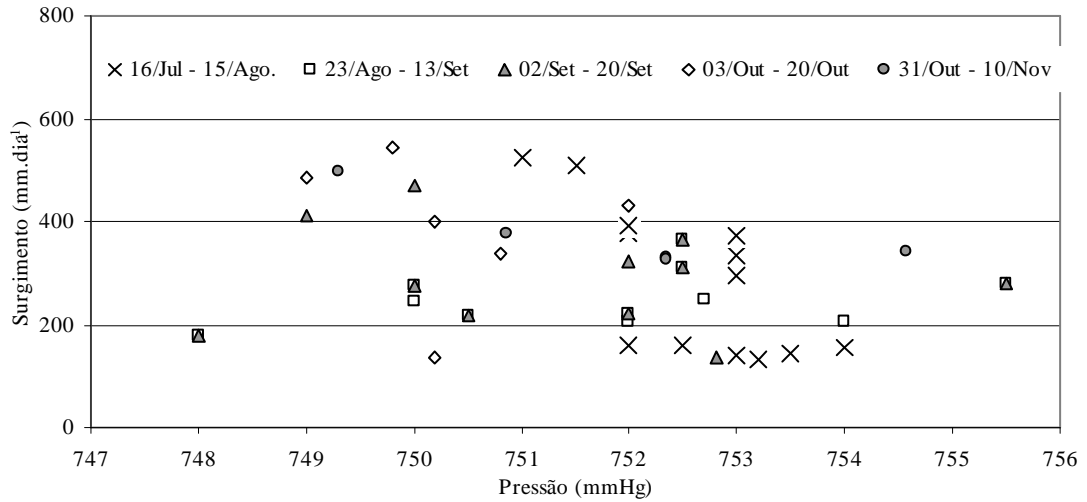


Figura 9 – Valores do surgimento e da pressão atmosférica na hora do ensaio na seção S₂.
 Figura 9 – Valores do surgimento e da pressão atmosférica na hora do ensaio na seção S₂.

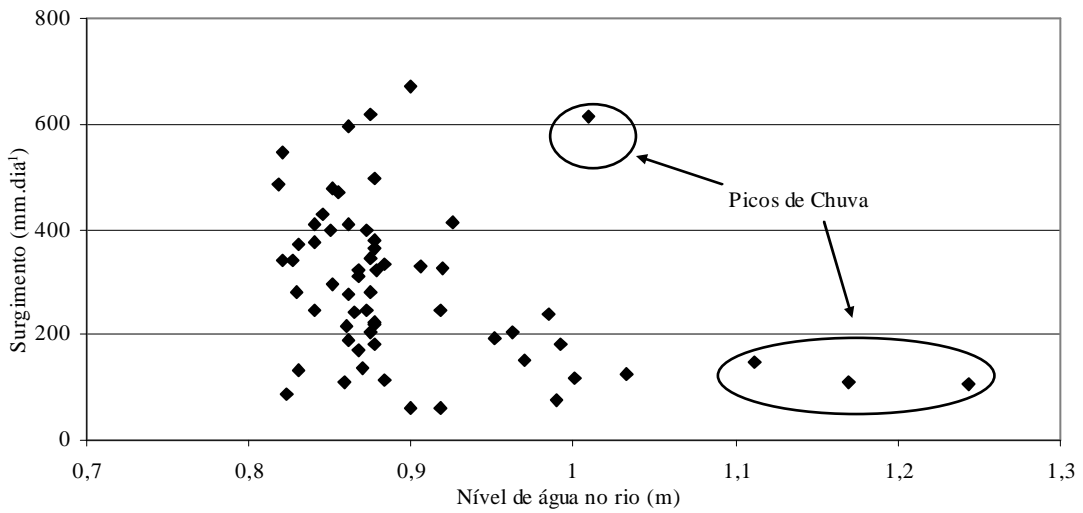


Figura 10 – Variação do surgimento com o nível de água na seção S₂
 Figura 10 – Variação do surgimento com o nível de água na seção S₂

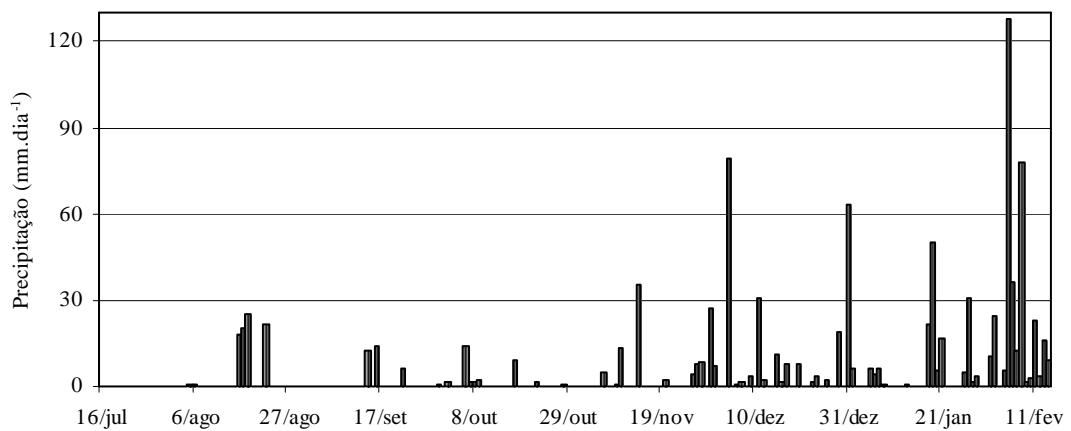


Figura 11 – Precipitação diária durante o período dos ensaios
 Figura 11 – Precipitação diária durante o período dos ensaios

A variação sazonal da interação rio-aquífero é mostrada na figura 12 onde os valores médios mensais do surgimento nas três seções de estudo

são apresentados juntamente com as precipitações durante esses meses.

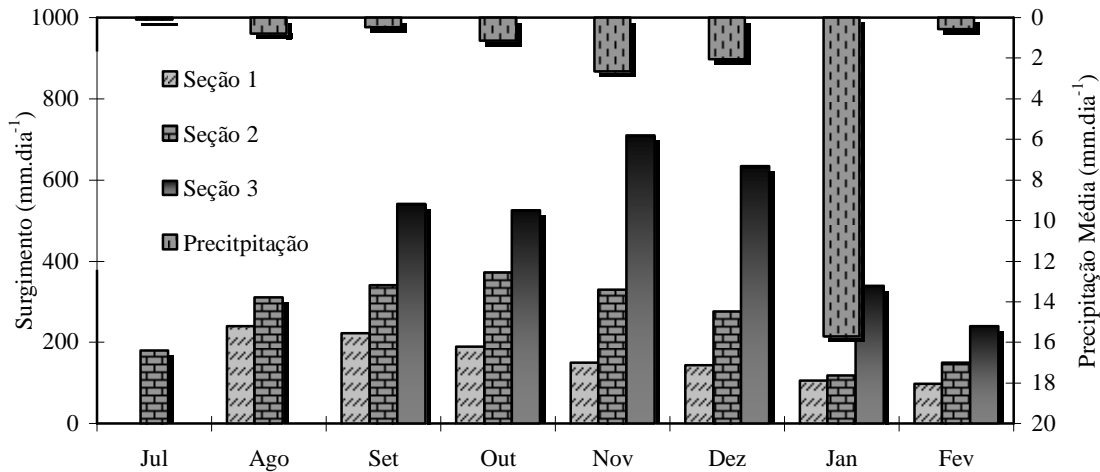


Figura 12 – Comparação das médias mensais do surgimento nas três seções do rio versus precipitação atmosférica.

Os valores da taxa de surgimento no período estudado variaram de 62,0 a 901,0 mm.dia⁻¹ nas três seções. Na tabela 1, apresentam-se os valores máximo, mínimo e médio para as três seções de estudo.

Tabela 1 – Taxa de surgimento (mm.dia⁻¹) para as três seções de estudo.

Tabela 1 – Taxa de surgimento (mm.dia⁻¹) para as três seções de estudo.

	Seção 1	Seção 2	Seção 3
	(mm.dia ⁻¹)		
Máximo	285,21	670,60	901,03
Médio	175,01	290,15	556,45
Mínimo	67,91	62,07	112,86

pouca chuva, até aproximadamente o final de novembro e a parte final com maior intensidade de chuva, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro. Comparando-se a taxa de surgimento do período menos chuvoso com o chuvoso (Figuras 6, 7, 8, 11 e 12), verifica-se que houve uma diminuição do surgimento com a chuva. O aumento do nível de água no rio mais rápido em relação ao aumento do nível da superfície freática com as chuvas pode ser causa dessa diminuição da taxa.

Variação temporal da vazão do Ribeirão da Onça

A vazão na seção de estudo S₂ foi estimada através dos níveis de água no rio medidos nos dias de visita ao campo aplicando-se a curva-chave (Figura 3). Na figura 13 apresenta-se o hidrograma nessa seção.

Com relação à variabilidade temporal da taxa de surgimento, pode-se dividir o período de estudo em duas partes, sendo a parte inicial com

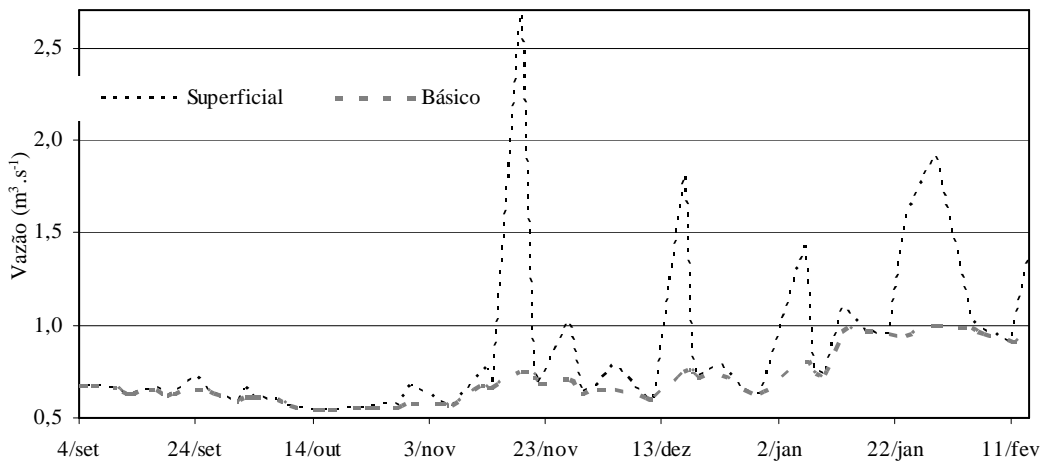


Figura 13 – Hidrograma no período de estudo (com separação do escoamento superficial e básico) na seção S₂.

O conhecimento do hidrograma do escoamento superficial, bem como a estimativa do escoamento básico, são importantes na análise comparativa entre o surgimento pontual e o escoamento básico que ocorre nessa seção de estudo.

No início do estudo de campo, o escoamento básico diminuiu até aproximadamente o final de outubro. De novembro até o final dos estudos houve um aumento no escoamento básico devido à chegada do tempo chuvoso, que se deu de forma mais acentuada no início de janeiro. O surgimento hídrico de fundo e também o afloramento hídrico nas laterais do rio são responsáveis pela formação do escoamento básico. Considerando-se que as medidas do surgimento através dos infiltrômetros tiveram uma pequena diminuição no período mais chuvoso, acredita-se que a ampliação do escoamento básico deveu-se ao aumento da área de afloramento lateral ao rio.

Determinação da condutividade hidráulica através de mini-piezômetros

Além da observação da taxa de troca rio-aquífero, buscou-se uma caracterização do fundo do rio nas seções de estudo, através da estimativa da sua condutividade hidráulica. Para tanto, empregaram-se dois mini-piezômetros nas seções S₂ e S₃ conforme descrito no item sobre metodologia. Pode-se obter uma estimativa da condutividade pela equação de Darcy:

$$q_s = -K \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

em que:

q_s - velocidade de Darcy (fluxo), m.s⁻¹

dh / dl - gradiente hidráulico, adimensional

K - condutividade hidráulica, m.s⁻¹

Na equação de Darcy (1) o gradiente hidráulico dh/dl pode ser aproximado por Δh/Δl. A profundidade do ponto de medida da carga hidráulica no fundo do rio (Δl) é igual a 0,9 m para a seção três. Os valores da taxa de surgimento, q_s, medidos e os valores dos desníveis medidos, Δh, nos quatro dias de ensaios realizados com os mini-piezômetros, juntamente com a condutividade hidráulica calculada, são apresentados na tabela 2

Tabela 2 – Determinação da condutividade hidráulica na seção 3

Tabela 2 – Determinação da condutividade hidráulica na seção 3

Data	Δh (m)	Gradiente hidráulico (Δh.Δl ⁻¹)	Taxa de surgimento (q _s) (m.s ⁻¹)	Cond. hidráulica (K) (m.s ⁻¹)
04/02/03	0,017	0,019	1,64.10 ⁻⁷	1,33.10 ⁻⁴
06/02/03	0,019	0,021	1,79.10 ⁻⁷	1,30.10 ⁻⁴
11/02/03	0,018	0,020	3,62.10 ⁻⁷	2,78.10 ⁻⁴
14/02/03	0,021	0,023	3,39.10 ⁻⁶	2,24.10 ⁻⁴

Variação dos níveis freáticos

Nas figuras 13 e 14 são apresentadas as variações dos níveis respectivamente nos poços de observação 5 e 6 na margem esquerda da seção S₁ e nos poços de observação 1, 2, 3 e 4 nas duas margens da seção S₂, juntamente com a variação do nível da água no rio para essas seções.

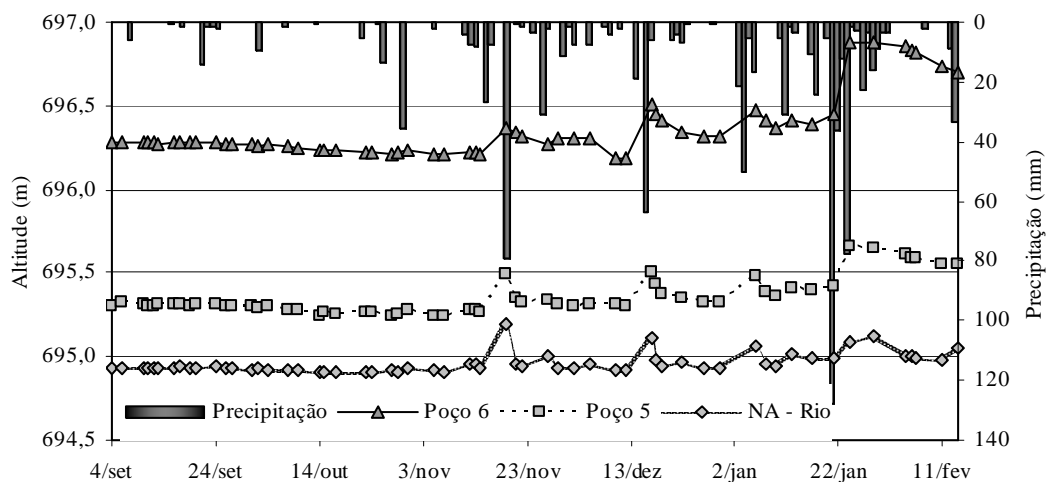


Figura 13–Cotas do nível de água no rio e nos poços de observação nas proximidades da seção S₁ e precipitação. Figura 1 –Cotas do nível de água no rio e nos poços de observação nas proximidades da seção S₁ e precipitação

Analisando-se a variação dos níveis dos poços de observação, verifica-se que até meados de novembro o nível freático declinou-se devido a pouca chuva, sendo insuficiente para recarregar o aquífero e suprir as necessidades da capacidade de campo. Em seguida, até meados de janeiro houve um aumento do nível freático de forma

praticamente constante, devido a uma precipitação relativamente distribuída. No fim de janeiro, houve grandes precipitações que causaram um aumento rápido nos níveis freáticos, aumentando o armazenamento de água subterrânea na bacia.

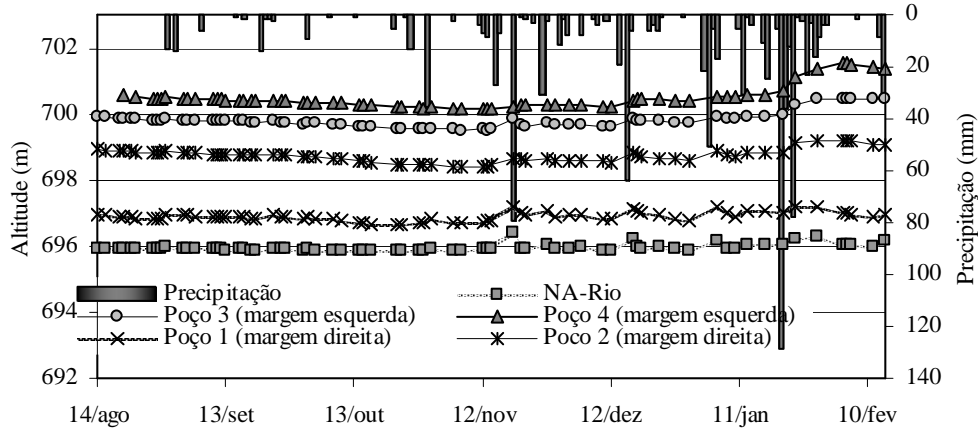


Figura 14 – Cotas do nível de água do rio e dos poços de observação próximo à seção S_2 e precipitação.

Figura 14 – Cotas do nível de água do rio e dos poços de observação próximo à seção S_2 e precipitação.

Para uma melhor visualização da variação dos níveis freáticos, os poços foram representados na seção transversal obtida da topografia. Os níveis máximos, médios e mínimos da superfície freática são desenhados junto à topografia do terreno nas figuras 15 e 16.

Analisando as representações das seções transversais de estudo, verifica-se que os níveis freáticos na margem esquerda, tanto para a seção de estudo S_1 como a S_2 , possuem uma forma côncava, diferentemente da forma convexa comumente observada sob encostas. Esse formato pode ser explicado pelo fato de haver a drenagem devido à existência um 'braço' de rio desembocando na margem esquerda nas proximidades da seção S_2 . Já na seção S_1 , a existência de erosão na margem esquerda, devido à falta de mata ciliar, é responsável pelo formato do nível freático, marcado por grande variação na vizinhança do talude acentuado.

Verifica-se que em ambas a seções transversais houve um aumento na extensão da margem com afloramento. Essa área de

afloramento maior proporciona o aumento do escoamento básico.

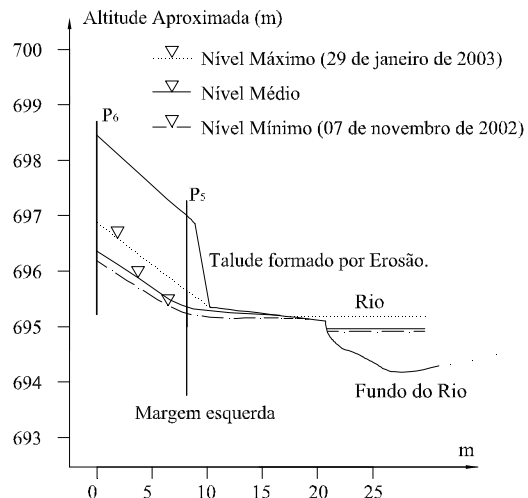


Figura 15–Seção transversal para representação do nível freático na seção S_1

Figura 15–Seção transversal para representação do nível freático na seção S_1

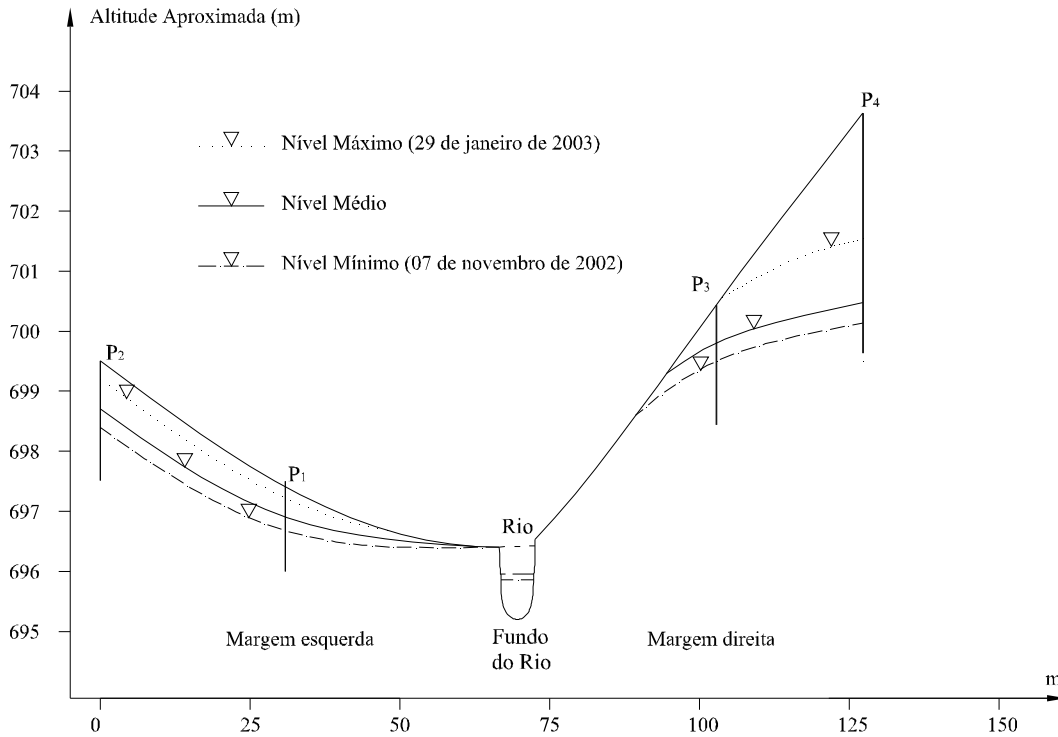


Figura 16 –Seção transversal para representação do nível freático na seção S₂
 Figura 16 –Seção transversal para representação do nível freático na seção S₂

CONCLUSÕES

1. Há influência da chuva e da pressão atmosférica nas taxas de surgimento observadas no fundo do Ribeirão da Onça, com a pressão atmosférica influenciando de forma inversa.
2. Os valores da interação nas três seções de estudo possuem a mesma ordem de grandeza, apresentando um valor médio de 300 mm dia⁻¹. Tal estimativa pode ser útil nos estudos da avaliação da recarga do aquífero Guarani. A variação dos níveis freáticos foi muito gradual no início do experimento devido à baixa ocorrência de chuva nesse período.
3. Com a chegada das chuvas, verificou-se que houve uma pequena diminuição na taxa de surgimento. Acredita-se que o aumento no nível do rio tenha sido a causa desse pequeno decréscimo, em resultado do diferencial reduzido de carga hidráulica, que é a força motriz responsável pelo fenômeno do surgimento. Apesar da diminuição na taxa de surgimento de água no fundo do rio durante a época chuvosa, há aumento no escoamento de base dos hidrogramas devido à ampliação da região de afloramento nas margens do rio e conseqüente surgimento de água.
4. A utilização de infiltrômetro para determinar da taxa de troca entre rio e aquífero é válida, principalmente por se tratar de um equipamento simples que, no entanto, requer cuidados contínuos para seu bom funcionamento.

REFERÊNCIA

- ARANTES, E.J. Emprego de infiltrômetros na caracterização da interação entre rio e aquífero. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.
- CARR, M.R.; WINTER, T.C. Annotated bibliography of devices developed for direct measurement of seepage. Rep. n. 80-344 U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. 1980.
- CASTRO, N.M.; HORNBERGER, G.W. Surface-subsurface water interaction in an alleviated mountain stream channel. **Water Resources Research**, v. 27, n. 7, p.1613-1621, 1991.
- CEY, E.E.; RUDOLPH, D.L.; PARKIN, G.W.; AREVERA, R.. Quantifying ground water discharge to a small perennial stream in southern Ontario. **Journal of Hydrology**, v. 210, p. 21-23, 1998.
- CHEKAUER, D. A.; MCBRIDE, J. M. A remotely operating seepage meter for use in large lakes and rivers. **Ground Water**, v. 26, n. 2, p. 165-171, 1988.
- CONTIN NETO, D. Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica Situada em Região do Aquífero Botucatu. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1987.
- FREEZE, R.A.; CHERRY, J. A. Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs. NJ. 604 p. 1979.
- GELDNER, P. Deterministische und stochastische methoden zur bestimmung der selbstdichtung von gewässern. Mitteilungen, Heft 49, Instit für Wasserbau, Univ. Stuttgart, 1980.
- HARE, P. W.; MORSE, R. E. Water level fluctuations due to barometric pressure changes in an isolated portion of an unconfined aquifer. **Ground Water**, v. 35, n. 4, p. 667-671, 1997.
- HARVEY, J. W.; WAGNER, B. J.; BENCALA, K. E. Evaluating the reliability of the stream tracer approach to characterize stream-subsurface water exchange. **Water Resources Research**, v. 32, n. 8, p. 2441-2451, 1996.
- ISRAELSON, O. W.; REEVER, R. C. Canal lining experiments in the Delta Area, Utah. Utah Agricultural Experimental Station. Bulletin 313, p. 15-35, 1944.
- JACOB, C. E. On the flow of water in an elastic artesian aquifer. Trans, America Geophysical Union, v. 21, p. 574-586, 1940.
- KALERIS, V. Erfassung des Austausches von Oberflächen – und Grundwasser in horizontalebene Grundwassermodellen. Mitteilungen, Heft 62, Institut für Wasserbau, Univ. Stuttgart. 1986.
- KALERIS, V. Quantifying the exchange rate between groundwater and small streams. **Journal of Hydraulic Research**, v. 36, n. 6, p. 913-932, 1998.
- LEE, D. R. A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. **Limnology Oceanographic**, v. 22, n. 1, p. 140-147, 1977.
- LEE, D. R.; CHERRY, J. A. A field exercise on groundwater flow using seepage meters and mini-piezometers. **Journal of Geology**, v. 27, p. 6-10, 1978.
- PECK, A. J. The water table as affected by the atmospheric pressure. **Journal of Geophysical Research**, v. 65, p. 2383-2388, 1960.
- POMPÊO, C.A. Balanço Hídrico da Zona Não-Saturada do Solo na Bacia do Ribeirão da Onça (SP). Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1990.
- TRAUB, R. "AUSTAUSCH ZWISCHEN OBERFLÄCHEN – UND GRUNDWASSER". 4 FORBILDUNGSLEHRGANG "GRUNDWASSER" IN DARMSTADT, DVWK, BONN, 1982.
- TURK, L. J. Diurnal fluctuation of water table induced by atmospheric pressure changes. **Journal of Hydrology**, v. 26, p. 1-16, 1975.
- WROBLICKY, G. J.; CAMPANA, M. E.; VALETT, H. M.; DAHM, C. N. Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hypohetic area of two stream-aquifer systems. **Water Resources Research**, v. 34, n. 3, p. 317-328, 1998.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.