

# ANÁLISE DO FLUXO NO ESTUDO DE CASO DE FILTRAÇÃO NAS MARGENS NO RIO BEBERIBE

*Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>1</sup>; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>2</sup>; José Geilson Alves Demetrio<sup>3</sup>; Maria do Carmo Martins Sobral<sup>4</sup> & Dayana Andrade de Freitas<sup>5</sup>*

## RESUMO

No processo de filtração nas margens, ao se fazer um bombeamento num poço próximo a um curso d'água induz-se uma recarga do manancial de superfície para o aquífero, de modo que a água obtida é proveniente em parte da água subterrânea e em parte do manancial de superfície após ter sido infiltrada. O presente artigo analisa algumas características do escoamento no experimento de filtração realizado nas margens do rio Beberibe, no terreno da Estação Elevatória de Caixa d'Água no limite entre Recife e Olinda, em Pernambuco. Foram realizados 6 furos para sondagem do terreno, foram construídos 5 poços de observação e um poço de produção. No teste de bombeamento, foram obtidos valores para condutividade hidráulica pelo método de Cooper-Jacob e pelo método de Theis, concluindo-se que o valor é de aproximadamente  $3,0 \times 10^{-4}$  m/s para a formação aquífera na região do poço de produção. Os níveis potenciométricos foram monitorados e foram elaborados mapas com linhas de fluxo e isolinhas de potencimetria, e pode ser verificado que o efeito do poço de produção altera o regime de carga, fazendo com que se tenha um aporte de fluxo vindo do lado do rio Beberibe.

## ABSTRACT

In Bank filtration process, pumping a well near a water course leads recharge from surface water to the aquifer, so pumped water comes part from groundwater and part from surface water that has been infiltrated. This article examines some characteristics of filtration flow at Beberibe river experiment on Caixa D'água booster at the limit between Recife and Olinda, in Pernambuco. Six holes were made to soil survey, five observation wells were constructed and a production well was drilled. Test pumping values were obtained for hydraulic conductivity using the Cooper-Jacob and Theis method, concluding that the value is about  $3,0 \times 10^{-4}$  m/s for aquifer geological formation. Potentiometric levels were monitored and maps were produced with flow lines and potentiometry isolines. Effect of well production changes the regime of hydraulic heads, so that there is an intake flow from the side of the Beberibe river.

**Palavras-chaves:** Interação água superficial- água subterrânea, Filtração nas margens, Rio Beberibe.

---

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7216, e-mail: [alrpaiva@yahoo.com](mailto:alrpaiva@yahoo.com);

<sup>2</sup> Prof. Associado I da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-8223, e-mail: [jcabral@ufpe.br](mailto:jcabral@ufpe.br); [jaimejcabral@yahoo.com](mailto:jaimejcabral@yahoo.com);

<sup>3</sup> Prof. da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, do Departamento de Engenharia de Geologia, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, e-mail: [geilson@ufpe.br](mailto:geilson@ufpe.br);

<sup>4</sup> Profa. da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, e-mail: [msobral@ufpe.br](mailto:msobral@ufpe.br);

<sup>5</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7216, e-mail: [dayanafandrade@yahoo.com.br](mailto:dayanafandrade@yahoo.com.br)

## 1- INTRODUÇÃO

No processo de filtração nas margens, o bombeamento é realizado num poço próximo a um curso d'água ou reservatório e com isto é induzida uma recarga do manancial de superfície para o aquífero (Sophocleous, 2002) de modo que a água obtida é proveniente em parte da água subterrânea e em parte do manancial de superfície após ter sido infiltrada (Tufenkji *et al.* 2002; Sens *et al.* 2006).

Este processo de filtração nas margens vem sendo utilizado em diversos países (Hederer, 2004 ; Hederer, 2008; Kim *et al.* 2003; Hiscock e Grischek 2002; Doussan *et al.* 1997, Hunt *et al.* 2002; Massman *et al.* 2002, Schmidt *et al.* 2003) há muitas décadas e aqui no Brasil estão sendo iniciadas pesquisas na UFPE (Paiva *et al.* 2008) e na UFSC (Sens *et al.* 2006) para avaliar a aplicação para as condições locais. O presente artigo analisa algumas características do escoamento no experimento de filtração nas margens realizado em Pernambuco.

## 2 - ÁREA DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado nas margens do rio Beberibe, no terreno da Estação Elevatória de Caixa d'Água no limite entre Recife e Olinda. Onde há um alto grau de urbanização no entorno da E.E. Caixa d'Água, após a BR-101, porém ainda existem duas áreas verdes nas proximidades da área de estudo (Figura 1). A bacia hidrográfica do rio Beberibe e os aquíferos subjacentes foram bastante estudados por Costa, 2002; Pernambuco, 1997, 1998, 2006; e Loebler, 2003.

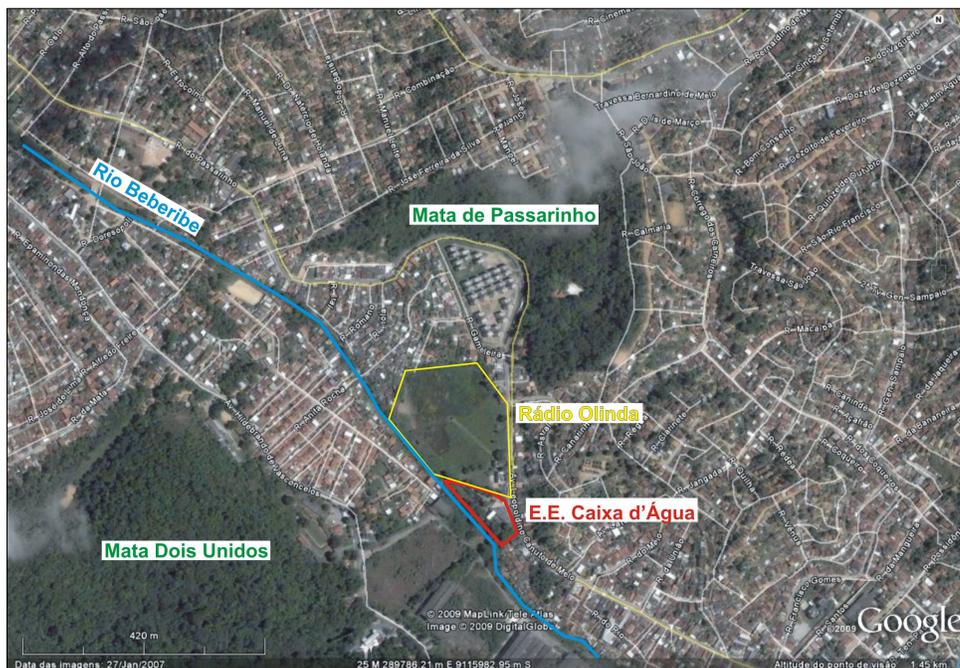


Figura 1 - Imagem satélite, com detalhe da localização da área de estudo às margens do rio Beberibe no terreno da Estação Elevatória de Caixa d'água (Google, 2009).

A definição da área para o projeto piloto foi realizada de acordo com as discussões com técnicos da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), sendo definido a Estação Elevatória de Caixa d'Água (Figura 2) para implantação de um sistema de filtração em margem em escala piloto.



Figura 2 – a) Estação Elevatória de Caixa d'Água, bairro de Caixa d'Água, em Olinda, no limite com Recife; b) Rio Beberibe no local em época sem chuva.

Vale salientar alguns pontos positivos que levaram a escolher esta área: por ser uma área de propriedade da própria Compesa, facilitando acessos e proteção das instalações realizadas; o rio Beberibe margeia o terreno da estação; a região está sobre uma formação sedimentar; existe a possibilidade da água explotada pelo projeto piloto já ser direcionado para o próprio sistema de bombeamento existente da Compesa.

### **3 - POÇOS DE OBSERVAÇÃO E POÇO DE PRODUÇÃO**

Para dar início ao projeto piloto foi necessário buscar informações técnicas existentes sobre a área, como: dados hidrológicos, meteorológicos, geológicos e outras informações pertinentes para uma boa caracterização do local.

Com o intuito de obter informações mais precisas sobre as condições geológicas para o local foram realizados 6 furos de sondagens para investigação do subsolo (localização dos furos mostrados na figura 3) até a profundidade de 20 metros e com diâmetro de 4 polegadas (Figura 4), sendo um deles localizado no leito do rio com perfuração até 10 metros.

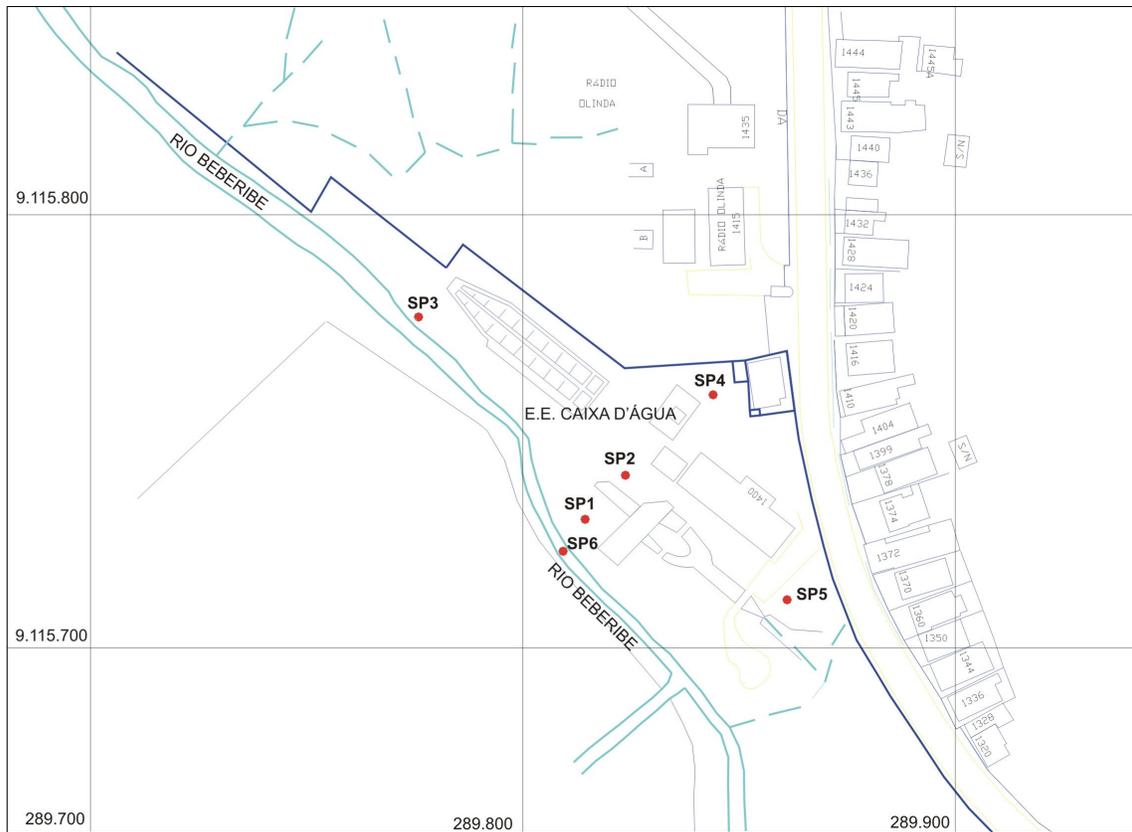


Figura 3 - Localização dos furos de sondagem na Estação Elevatória de Caixa d' Água.



Figura 4 - Realização dos furos de sondagem, método de percussão (SPT).

Com as informações obtidas dos perfis de sondagem foram traçadas duas seções litológicas, uma paralela e outra transversal ao rio Beberibe. A tarefa de construção dessas seções envolveu um sentimento interpretativo, objetivando eliminar situações anômalas, visando estabelecer um cenário mais próximo possível da geologia existente na área. A figura 5 mostra a seção litológica perpendicular ao curso d'água.

Esta seção transversal inicia-se com material fino, silte -argiloso, gradando imediatamente para uma areia. Em seguida, há presença de um nível argiloso contínuo, argilo-siltoso (ao longo de toda a seção), com espessura variando entre 2 e 5 metros. Encontrando-se sob o leito do rio uma camada com turfa. Observa-se também contínua em toda a seção, sob a camada argilosa, uma camada com areia grossa. Logo abaixo, ocorre uma camada de finos e mais abaixo segue a formação sedimentar com material mais arenoso.

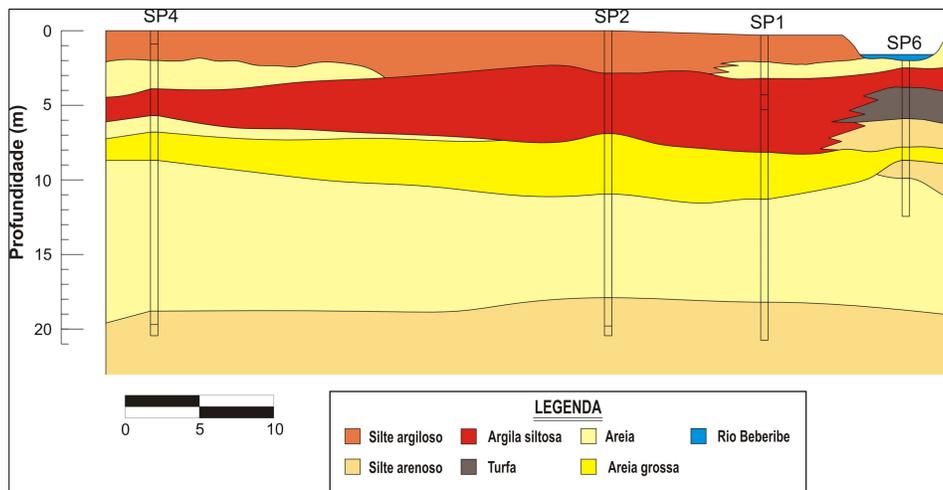


Figura 5 – Seção litológica transversal ao rio Beberibe, E.E. Caixa d'Água, Caixa d'Água - Olinda.

A figura 6 apresenta a curva granulométrica traçadas para os furos SP5, nas profundidades de 10,00 a 10,45 m. As curvas indicam grande percentual de areia fina a média.

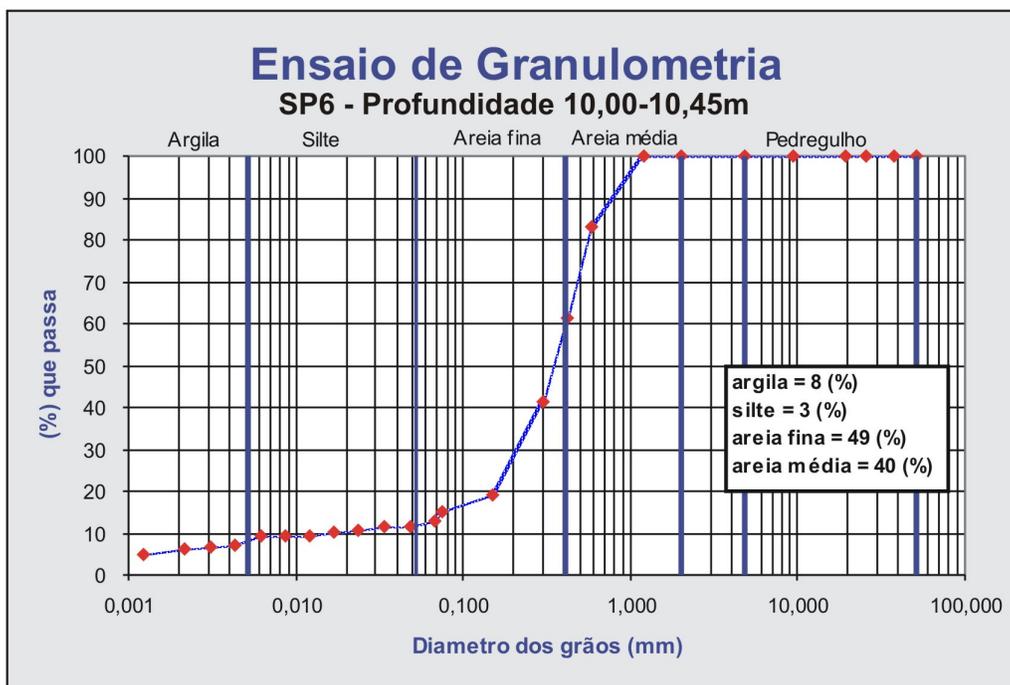


Figura 6 - Curva granulométrica para o furo SP6 (no leito do rio), na profundidade de 10,00 a 10,45 metros.

Foi feita a limpeza dos poços de observação para retirada da bentonita, utilizada na perfuração, e material sólido suspenso retido no interior do poço. Imediatamente após a limpeza dos poços, com injeção de água através de bomba, foi colocado cascalho no espaço anelar do poço, para servir como pré-filtro, no trecho onde estavam posicionados os filtros.

Foi realizado o projeto do poço de produção conjuntamente com a Comesa, através do Geólogo Hélio Paiva, e o termo de referência foi elaborado com as seguintes características: posicionamento próximo ao poço de observação SP2, aproximadamente no centro da área da estação elevatória; profundidade de 30 metros; diâmetro de perfuração 12 ¼ polegadas; diâmetro do poço de 6 polegadas; método de perfuração rotativa com circulação direta; dois filtros, nas profundidades de 6 a 12 metros, e 24 a 30 metros.

A figura 7 ilustra o trabalho de perfuração do poço. Durante a execução do mesmo, constatou-se dificuldade em passar da profundidade dos 25 a 28 metros devido encontrar um material argiloso de resistência. Esta zona era exatamente onde se pretendia colocar o filtro inferior por considerar que se alcançaria uma zona aquífera semi-confinada. Sendo assim, o perfil final do poço de produção foi perfurado até 15 metros de profundidade.



Figura 7 - Perfuração do poço de produção na E.E. Caixa d' Água.

#### 4 - TESTE DE BOMBEAMENTO

O teste de bombeamento foi realizado no dia 25/11/2008, alguns dias após a execução da perfuração do poço com a limpeza do mesmo. As medições dos rebaixamentos dos níveis nos poços de observação foram realizadas com alguns sensores de nível Levelogger da Solinst e com o uso do medidor de nível tradicional. O teste teve duração de 13 horas, e foi executado a uma vazão constante de  $9,5\text{m}^3/\text{h}$ . A vazão foi controlada e observada durante todo o teste através do medidor de vazão de orifício circular. As informações observadas no rebaixamento e recuperação dos níveis potenciométricos estão apresentadas na figura 8. Observa-se no gráfico dos níveis dinâmicos durante o teste de bombeamento, que após 5 horas e meia (330 minutos) aproximadamente os níveis potenciométricos tenderam a estabilidade. Com exceção dos piezômetros SP3 e SP5 que ainda tiveram mais um pequeno rebaixamento, pois estes estão a uma maior distância do poço de produção.

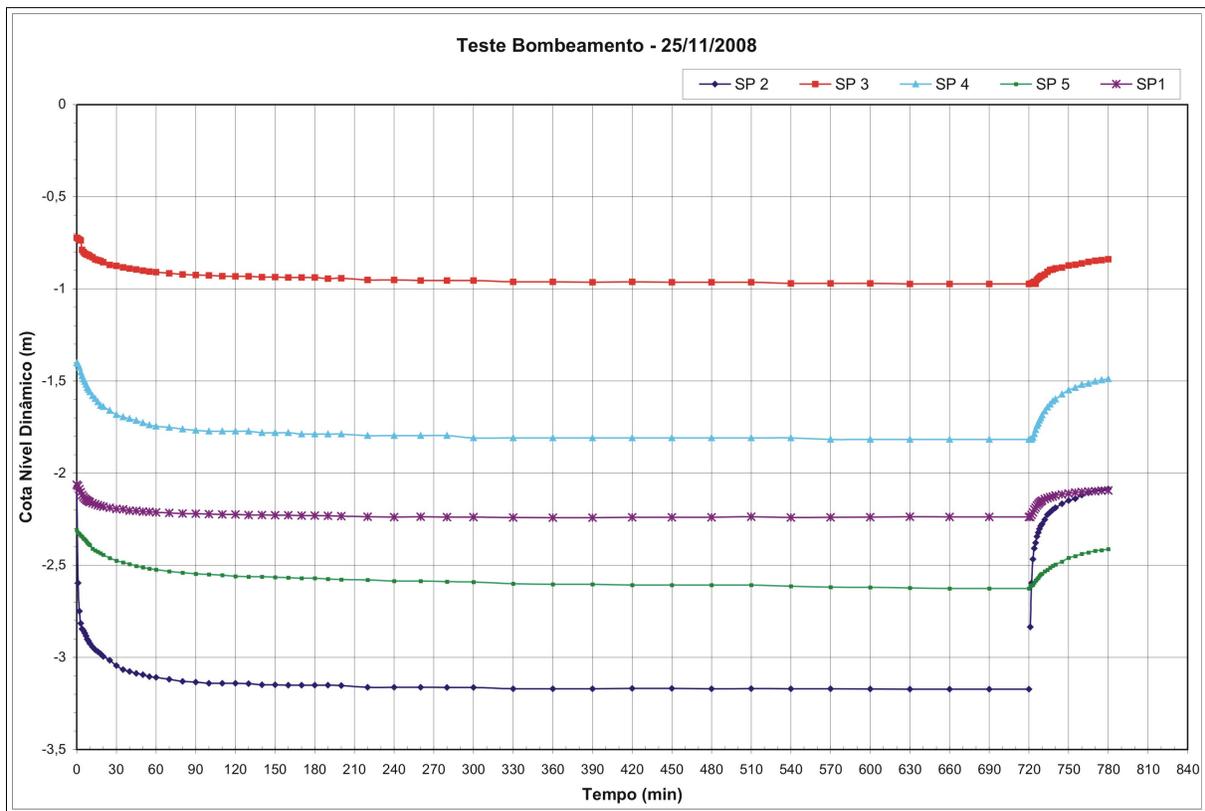


Figura 8 - Cotas dos níveis potenciométricos, no rebaixamento e recuperação durante o teste de bombeamento.

Com as observações dos rebaixamentos nos piezômetros, através do uso do software Aquifer Test 3.5 foram traçados os gráficos para análise dos parâmetros do aquífero. Algumas tentativas foram realizadas, pelas considerações adotadas observou-se os métodos de Theis e Cooper-Jacob, ambos para a condição de aquífero livre. A figura 9 ilustra o gráfico de rebaixamento vs. tempo no método de Cooper-Jacob, para os piezômetros SP2. Observou-se os valores para o método de Cooper-Jacob foram sempre maior do que os calculados pelo método de Theis, já que o método de Cooper-Jacob faz mais algumas considerações simplificadoras. Pode-se concluir que o valor de condutividade hidráulica aproximado é de aproximadamente  $3,0 \times 10^{-4}$  m/s para a formação aquífera na região do poço de produção da E.E. Caixa d'Água, o que é considerado uma boa condutividade hidráulica. Isto confirma a expectativa que a camada de areia grossa observado nos furos de sondagem com uma boa capacidade de fluxo.

Tabela 1 - Valores de condutividade hidráulica calculados pelos métodos de Theis e Cooper-Jacob para os 5 piezômetros na área de estudo.

Piezômetro	Theis	Cooper-Jacob
SP1	6,03E-04 (m/s)	6,40E-04 (m/s)
SP2	1,56E-04 (m/s)	3,19E-04 (m/s)
SP3	3,22E-04 (m/s)	5,83E-04 (m/s)
SP4	1,78E-04 (m/s)	2,30E-04 (m/s)
SP5	2,59E-04 (m/s)	3,26E-04 (m/s)
<b>MÉDIA</b>	<b>2,59E-04 (m/s)</b>	<b>3,26E-04 (m/s)</b>

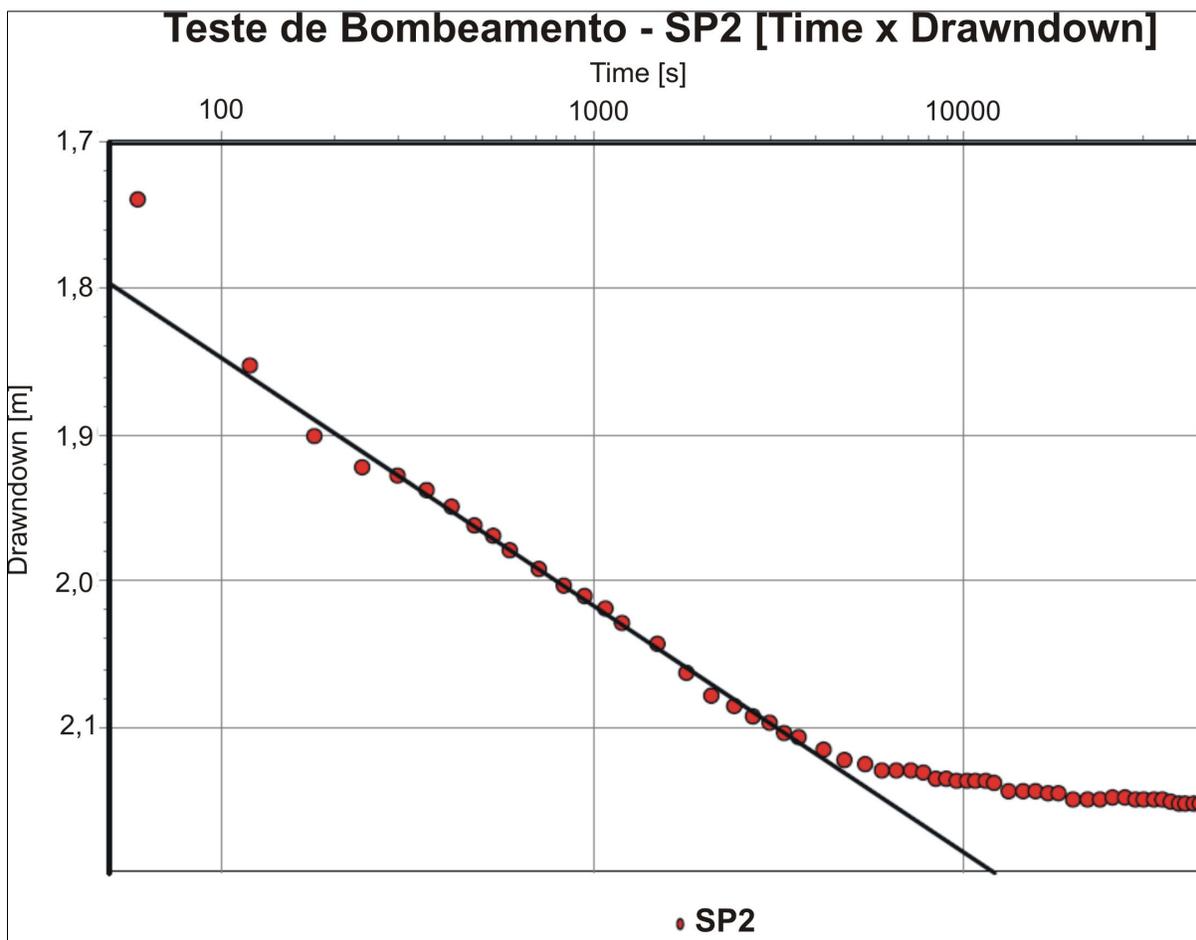


Figura 9 - Gráfico de rebaixamento vs. tempo calculado para o método de Cooper-Jacob, para o piezômetro SP2.

## 5 - MONITORAMENTO DOS PIEZÔMETROS E POÇO DE PRODUÇÃO

Para um acompanhamento dos processos de atenuação da poluição da água do rio Beberibe que ocorre por filtração nas margens é necessário um monitoramento tanto quantitativo como qualitativo. O monitoramento do nível d'água nos poços de observação também ajuda na avaliação do fluxo subterrâneo, seu direcionamento principal, como também a variação no cone de rebaixamento ocasionado pelo poço de produção.

Antes de iniciar o monitoramento dos níveis potenciométricos, realizou-se um levantamento de posicionamento dos poços. Foi realizada medição de coordenadas UTM com uso de um GPS geodésico (Figura 10), equipamento do Laboratório de Hidráulica da UFPE. As coordenadas são apresentadas na tabela 2. Além disso, realizou-se medições de desnível entre os pontos de monitoramento e um ponto referência das instalações física da estação elevatória como cota 0,00m (piso da casa de bombas da E.E. Caixa d'Água).

Tabela 2 - Coordenadas UTM dos poços de observação, e cotas da boca dos piezômetros segundo ponto de referência adotado.

Poço de Observação	UTM Norte (m)	UTM Leste (m)	Cota (m)
SP1	9115729,681	289814,386	+ 0,803
SP2	9115738,581	289820,575	+ 0,490
SP3	9115776,394	289775,869	+ 0,842
SP4	9115758,429	289843,996	+ 0,498
SP5	9115711,095	289861,097	+0,450



Figura 10 - Obtenção de coordenadas UTM, com uso de GPS geodésico.

Foram feitas 5 medições durante o acompanhamento da perfuração do poço, no período de 19/09/2008 a 10/10/2008; e três medições com o poço perfurado, mas sem estar bombeando, no período de 24/10/2008 a 25/11/2008. Após este período, foi necessário aguardar o processo de compra da bomba e as instalações elétricas para o funcionamento da mesma. No dia 17/03/2009 foi o início do bombeamento, com regime de 24h de bombeamento. A leitura dos níveis no dia 17/03/2009 ocorreu antes do ligamento da bomba. No dia 31/03/2009, a bomba foi desligada inadvertidamente pelo operador. Após este imprevisto, a bomba foi novamente ligada e opera ininterruptamente até o presente momento.

A figura 11 ilustra o acompanhamento dos níveis potenciométricos. As leituras de outubro, novembro e dezembro, demonstraram uma pequena redução nas cotas. Isto se deve provavelmente devido ao período seco, onde com poucas chuvas reduz-se tanto a vazão no rio quanto a recarga natural que deve ocorrer. Após o início do bombeamento, com o rebaixamento imediato, os níveis mantiveram-se aproximadamente estáveis durante 6 semanas, quando então as cotas dos níveis potenciométricos tiveram uma pequena elevação de aproximadamente 20cm. Isto se deve ao fato de estar no período de chuvas, demonstrando a resposta imediata às recargas naturais na região.

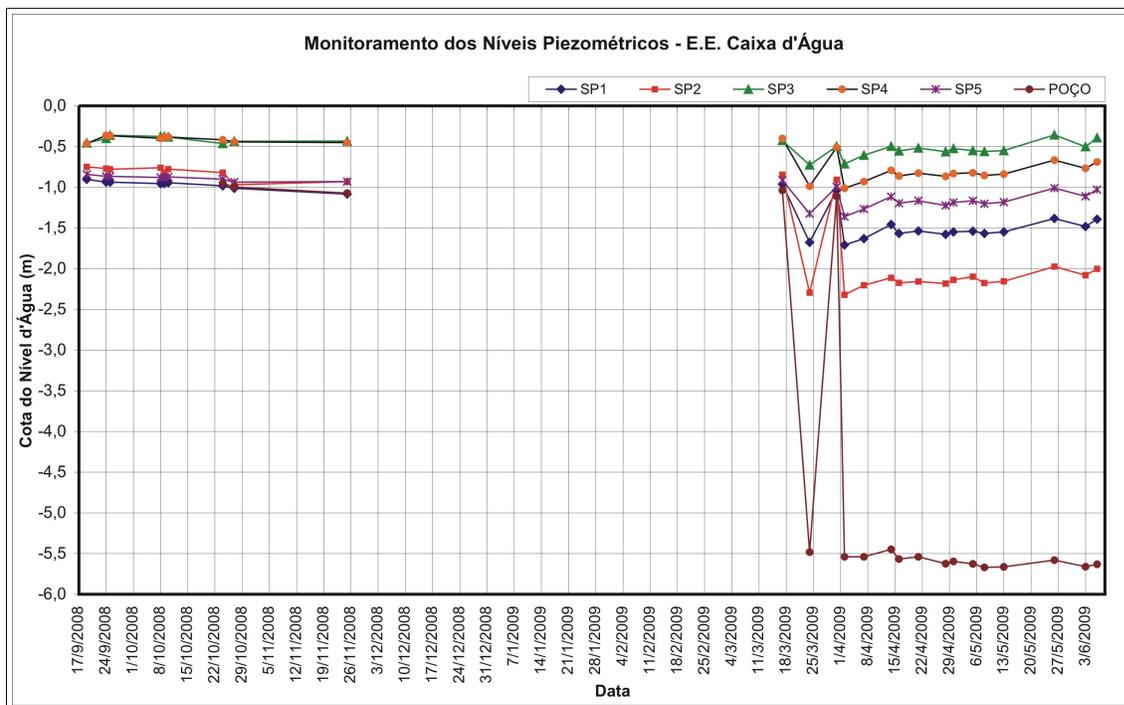


Figura 11 - Gráfico do monitoramento dos níveis potenciométricos, valores de cotas em relação ao referencial adotado.

As figuras 12 e 13 mostram os mapas potenciométricos na área de estudo para o regime antes e após o início do bombeamento, respectivamente. Para o regime normal do escoamento subterrâneo, o fluxo se apresenta preponderantemente no sentido norte-sul. Já com o bombeamento

do poço de produção, além de apresentar o cone de depressão, verifica-se que o fluxo além do sentido norte-sul começa a ter uma parcela de fluxo no sentido noroeste-sudoeste. Com isso, pode ser verificado que o efeito do poço de produção altera o regime de carga, fazendo com que se tenha um aporte de fluxo vindo do lado do rio Beberibe. Avalia-se que dessa forma deve existir um fluxo do rio Beberibe para o poço de produção através dessa camada aquífera freática, com conexão hidráulica em algum ponto a montante da área da E.E. de Caixa d'Água, mesmo com a pequena vazão de bombeamento. A figura 14 ilustra o trabalho de medição dos níveis.

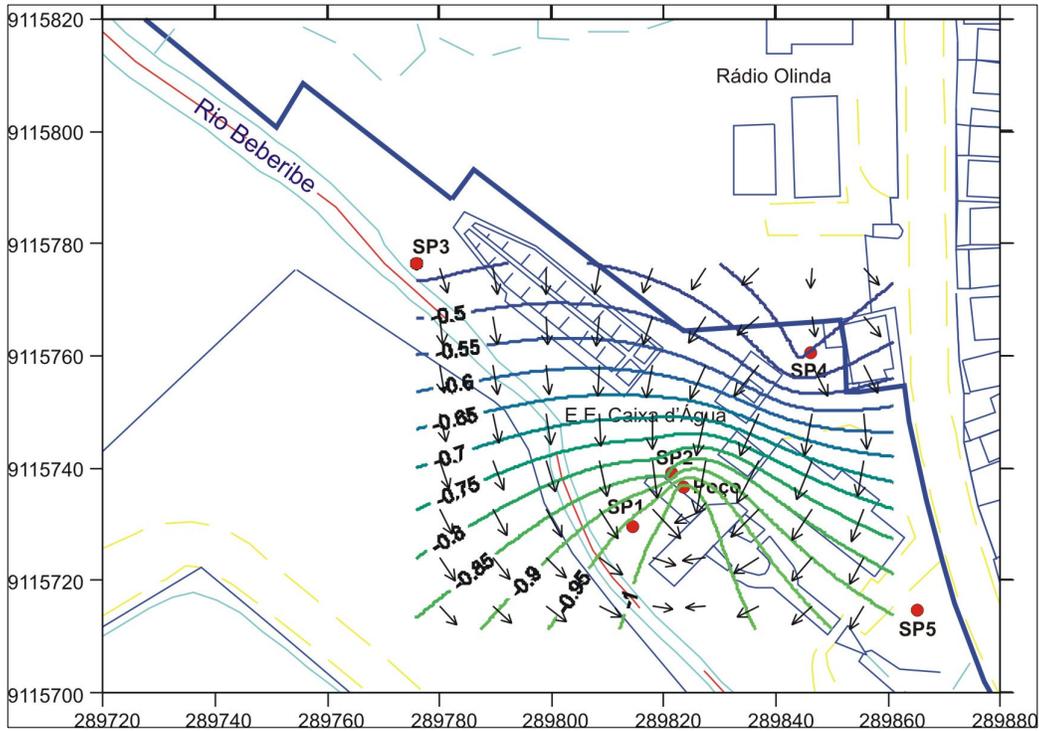


Figura 12 - Mapa de curvas potenciométricas, com linhas de fluxo, antes do bombeamento (17/03/2009).

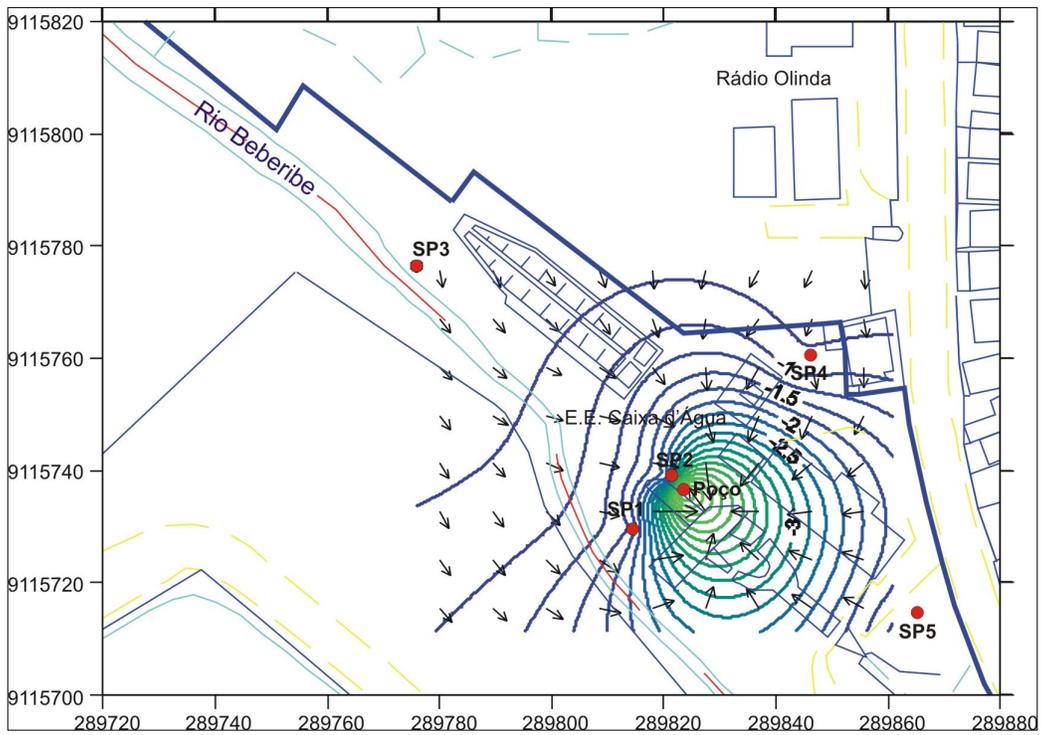


Figura 13 - Mapa de curvas potenciométricas, com linhas de fluxo, após o início do bombeamento (13/05/2009).



Figura 14 - Medição dos níveis potenciométricos, SP3.

## 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este processo de filtração nas margens vem sendo utilizado em diversos países há muitas décadas e aqui no Brasil estão sendo iniciadas pesquisas para adequação do método às condições locais, e no presente artigo foram analisadas algumas características do escoamento no experimento de filtração nas margens realizado em Pernambuco.

Para o experimento foi escolhido o local da estação elevatória de Caixa d'Água, no terreno de propriedade da Compesa, facilitando acessos e proteção das instalações realizadas. O rio Beberibe margeia o terreno da estação; a região está sobre uma formação sedimentar e existe a possibilidade da água explotada pelo projeto piloto já ser direcionado para o próprio sistema de bombeamento existente da Compesa.

Os perfis traçados das seções litológicas, uma paralela e outra transversal ao rio Beberibe, mostram que a seção vertical inicia-se com material fino, silte -argiloso, gradando imediatamente para uma areia. Em seguida, há presença de um nível argiloso contínuo, argilo-siltoso (ao longo de toda a seção), com espessura variando entre 2 e 5 metros. Observou-se também contínua em toda a seção, sob a camada argilosa, uma camada com areia grossa. Verificou-se que esta camada é muito produtiva e pode receber a recarga induzida do rio através das camadas superiores.

Para cálculo da condutividade hidráulica utilizou-se os métodos de Theis e Cooper-Jacob, ambos para a condição de aquífero livre. Observou-se que os valores para o método de Cooper-Jacob foram sempre maiores do que os calculados pelo método de Theis, já que o método de Cooper-Jacob faz algumas considerações simplificadoras. Pode-se concluir que o valor de condutividade hidráulica aproximado é de aproximadamente  $3,0 \times 10^{-4}$  m/s para a formação aquífera na região do poço de produção da E.E. Caixa d'Água, o que é considerado uma boa condutividade hidráulica. Isto confirma a expectativa que a camada de areia grossa observada nos furos de sondagem possuía uma boa capacidade de fluxo.

Para o regime normal do escoamento subterrâneo, o fluxo se apresentava preponderantemente no sentido norte-sul. Já com o bombeamento do poço de produção, além de apresentar o cone de depressão, verifica-se que o fluxo além do sentido norte-sul começa a ter uma parcela de fluxo no sentido noroeste-sudoeste. Com isso, pode ser verificado que o efeito do poço de produção altera o regime de carga, fazendo com que se tenha um aporte de fluxo no sentido do escoamento do rio Beberibe. Avalia-se que dessa forma deve existir um fluxo do rio Beberibe para o poço de produção através dessa camada aquífera freática, com conexão hidráulica em algum ponto a montante da área da E.E. de Caixa d'Água, mesmo com a pequena vazão de bombeamento.

## 7 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COMPESA, à SRH-PE, a FACEPE e ao CNPq pelo apoio nas diversas fases do projeto. O primeiro autor agradece ao CNPq/CT-Hidro pela atual bolsa de doutorado, e a CAPES/DAAD pelo estágio de doutorado realizado na Freie Universität Berlin.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, W.D. et al. “*Estudo Hidrogeológico de Recife - Olinda - Camaragibe - Jaboatão dos Guararapes*”. Projeto HIDROREC II. Recife. 2V. 2002.

DOUSSAN, C.; POITEVIN, G.; LEDOUX, E.; DETAY, M. (1997). “*River bank filtration: Modelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species*”. *J. Contam. Hydrol.* 25, 129–156.

GOOGLE EARTH (2009) Imagem de satélite da área de estudo, <http://earth.google.com.br> acessado em 29 de maio de 2009.

HEBERER, T.; MASSMANN, G.; FANCK, B.; TAUTE, T.; DÜNNBIER, U.(2008). “*Behaviour and redox sensitivity of antimicrobial residues during bank filtration*”. *Chemosphere* 73, 451–460

HEBERER, T.; MECHLINSKI, A.; FANCK, B.; KNAPPE, A.; MASSMANN, G.; PEKDEGER, A.; E FRITZ, B., (2004). “*Field Studies on the Fate and Transport of Pharmaceutical Residues in Bank Filtration*”.

HISCOCK, K. M.; GRISCHEK, T. (2002). “*Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. Journal of Hydrology*”. Vol 266, pag 139–144

HUNT, H.; SCHUBERT, J.; E RAY, C., (2002) “*Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality. Chapter: Conceptual Design of Riverbank Filtration Systems*”. Kluwer Academic Publishers. California, USA.

KIM SONG-BAE; CORAPCIOGLU, M. Y.; KIM DONG-JU (2003). “*Effect of dissolved organic matter and bacteria on contaminant transport in riverbank filtration*”. *Journal of Contaminant Hydrology.* Vol 66, pag 1– 23.

LOEBLER, H.C. (2003) “*Processo histórico de gestão na bacia hidrográfica do rio Beberibe (PE): uma retrospectiva*” . Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ.

MASSMANN, G., (2002) “*Infiltration of River Water into the Groundwater: Investigation and Modeling of Hydraulic and Geochemical Processes during Bank Filtration in the Oderbruch, Germany*”. Universidade Livre de Berlim, Tese de Doutorado. Berlim, Alemanha.

PAIVA, A. L R., CABRAL, J J S P, DEMÉTRIO, J G A, (2008). “*Exploração conjunta de água subterrânea e água superficial induzida através de bombeamento próximo a mananciais*”, ABAS , Natal.

PERNAMBUCO - GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. “*Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco*”. Coordenação Técnica de Simone Rosa da Silva. 104p. Recife - PE. 2006.

PERNAMBUCO - GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. “*Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH*”. Recife - PE.1998.

PERNAMBUCO - GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. SEPLAN – Secretaria de Planejamento. “*Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica das Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão – PQA/PE. Estudos de Consolidação e Complementação do*

*Diagnóstico sobre a Qualidade das Águas, Relativos à Preparação do Programa de Investimentos nas Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão*". Relatório n.1, Tomos I e II. Recife - PE. 1997.

SCHMIDT, C.K. et. al., 2003. "*Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany*". TWZ-Report. DVGW – Water Technology Center (TZW), Germany.

SENS, M.L. et. al.(2006). "*Filtração em Margem*". In: PROSAB. (Org.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano, Capítulo 5. PROSAB, ABES. Rio de Janeiro.

SOPHOCLEOUS, M., 2002. "*Interactions between groundwater and surface water: the state of the science*". Hydrogeologic Journal. Vol.10, p.52-67..

TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; ELIMELECH, M. (2002). "*Bank Filtration: A Promise of*". Environmental Science & Technology, November 1.