



## XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **USO DO INFILTRÔMETRO DE CILINDRO NA INVESTIGAÇÃO DO FLUXO VERTICAL DE ÁGUA NA ZONA HIPORREICA: ESTUDO DE CASO NO RIO BEBERIBE- PE**

*Tatiane Barbosa Veras de Albuquerque<sup>1</sup>; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>2</sup>; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>3</sup>; Roberto Lima Barcellos<sup>4</sup> e Dayana Andrade de Freitas<sup>5</sup>.*

**RESUMO** - As trocas de água entre um curso d'água e a água subterrânea ocorrem através da região conhecida por zona hiporreica. Essa região é formada por uma camada subsuperficial de sedimentos entre o leito do rio e o aquífero, na qual pode ser observado o fluxo vertical de água. Foi realizada uma pesquisa, com o intuito de analisar as características físicas da zona hiporreica para compreender melhor o fluxo vertical no leito do rio Beberibe em Olinda-PE. A capacidade de transporte de volumes hídricos entre o rio e o aquífero foi avaliada através de ensaios de infiltração no leito, onde foi observado que o rio Beberibe no seu curso médio, contribui para a recarga do lençol freático, salientando que existe uma variação na intensidade da contribuição ao longo da área experimental.

**ABSTRACT** - The exchange of water between the river and the aquifer occur through their interface, known as hyporheic zone. This region is formed by a subsurface layer of sediment between the river and the aquifer, where vertical flow can be observed. Thus, this research aimed to analyze the physical characteristics of hyporheic zone to better understand the vertical flow of Beberibe river within the limits of experimental station, Olinda-PE. The ability to transport water volumes between the river and the aquifer was evaluated through testing infiltration in the river bed, where it was observed that the Beberibe river, in its medium course, contributes to groundwater recharge, noting that there is variation in the intensity of the contribution along the experimental area.

**Palavras-Chave:** fluxo vertical, zona hiporreica, infiltração no leito.

---

1 Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE, UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7760, e-mail: tatiane\_veras@yahoo.com.br

2 Prof. Titular 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; jaimejcabral@yahoo.com;

3 Prof. Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, campus do Agreste, Caruaru – PE e-mail: alrpaiva@yahoo.com;

4 Prof. Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7225, e-mail: roberto.barcellos@ufpe.br;

5Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil, Fone: 0 xx (81) 2126-7760, e-mail: dayanafandrade@yahoo.com.br.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos estudos têm focado as interações de pequena escala na interface entre o rio e o aquífero, também conhecida como zona hiporreica. Este ambiente está sendo um tema de pesquisa bastante ativo em vários lugares do mundo (GENEREUX *et al.*, 2008; LAUTZ *et al.*, 2009; BOANO *et al.*, 2010; VERAS, 2011; BIANCHIN *et al.*, 2011; LAWRENCE *et al.*, 2013), onde é considerado um ambiente de grande dinâmica apresentando um ecossistema responsável por um conjunto de reações importantes.

O objetivo da pesquisa aqui relatada foi demonstrar a capacidade de transporte de volumes hídricos entre rio e o aquífero num trecho do rio Beberibe - PE, através de ensaios de infiltração no leito compreendendo melhor o fluxo vertical na zona hiporreica.

## 2. DINÂMICA DO FLUXO VERTICAL

Como fazem parte do mesmo ciclo hidrológico, o estudo das águas superficiais e subterrâneas deve ser gerenciado de forma integrada. Contudo, cada fase do ciclo tem suas etapas e estas devem ser respeitadas.

Todavia, independente da existência ou não de ligações diretas entre águas de superfície e subterrâneas, o planejamento e a gestão de recursos hídricos deve sempre incluir os dois recursos, incorporando cada um deles no sistema global, de acordo com as suas características específicas. Segundo Feitosa & Manoel filho (1997), de uma maneira ou de outra, qualquer controle exercido sobre um recurso acabará afetando o outro.

As interações que ocorrem entre rios e água subterrânea podem ser praticamente resumidas em duas condições distintas. A primeira é a condição efluente que ocorre sob condições de baixa precipitação, onde o fluxo de base subterrâneo constitui o fluxo de água superficial na maior parte do ano. Já a condição influente, ocorre quando em condições de elevada precipitação, o escoamento superficial aumenta de nível, e este inter-fluxo aumenta gradualmente, levando a maior pressão hidráulica no curso inferior do rio.

O comportamento do nível do rio é muito dinâmico e é extremamente influenciado por fatores externos podendo alterar características do próprio rio, como o movimento dos sedimentos do leito, as condições da camada de colmatação, assim como o fenômeno de transporte que tem relação direta com a qualidade da água.

A intensidade de infiltração de água no solo depende do seu grau de porosidade, onde a dificuldade ou facilidade de percolação da água nesses poros é representada pela permeabilidade. Se houver infiltração no leito, significa que existe uma conexão hidráulica entre o rio e o aquífero. Essa conexão pode se caracterizar de maneiras diferentes, podendo ocorrer a descarga ou a recarga do

fluxo vertical do rio. A água fluvial não se limita apenas ao abastecimento, uma vez que o rio também pode ser abastecido pelo lençol freático criando um fluxo vertical descendente entre o rio e o aquífero.

O meio poroso e o curso d'água são ligados por uma série de conexões de fluxo, pois são formados por uma rica variedade de sedimentos. Essa heterogeneidade é quem vai caracterizar a permeabilidade da interface. O leito do rio é formado por uma série de partículas de tamanhos variados, onde as mais finas normalmente são retidas ocorrendo à obstrução do leito. A colmatação está atrelada ao entupimento da camada de topo dos sedimentos por processos que levam à redução do volume dos poros, e conseqüentemente a diminuição de permeabilidade do leito do manancial (BRUNKE & GONSER, 1997; GOLDSCHNEIDER *et al.*, 2007; GUNKEL & HOFFMANN, 2009).

Além de outros fatores, a constituição sedimentar da interface rio - aquífero tem grande influência na velocidade e na quantidade de água infiltrada no processo de interação água superficial e água subterrânea.

### **3. ZONA HIPORREICA**

Algumas características têm sido utilizadas para a definição da zona hiporreica, tais como: ecologia, morfologia, química, hidrologia, tempo de residência e até combinações entre essas variáveis (WILLIAMS, 1989; BOULTON *et al.*, 2010; GOOSEFF, 2010; BIANCHIN *et al.*, 2011; LAWRENCE, 2013). A definição selecionada pode alterar a linha de estudo, mas o importante é entender que a zona hiporreica é um ambiente de grande dinâmica, apresentando um ecossistema responsável por um conjunto de reações.

A zona hiporreica é definida como um volume subsuperficial de sedimentos e um adjacente espaço poroso a um curso d'água onde ocorrem constantes trocas. Embora a zona hiporreica fisicamente seja definida pela hidrologia de cursos d'água e seu ambiente circunvizinho, tem uma forte influência na ecologia, ciclo biogeoquímico, e temperatura dos cursos d'água.

De acordo com Lawrence *et al.* (2013), a zona hiporreica forma um ecossistema único e dinâmico, onde ao mesmo tempo que é influenciado, pode influenciar significativamente o fluxo e a qualidade da água subterrânea.

Como já foi comentado anteriormente, em um mesmo rio pode acontecer alterações hidrológicas em trechos diferentes, onde seu regime pode ser influente em um trecho e efluente em outro. No entanto, esta troca de água ocorre atravessando a zona hiporreica, a qual realiza um controle de fluxo e transporte de compostos. Ou seja, a zona de intercâmbio entre o curso de água superficial e subterrâneo é a chamada zona hiporreica (Figura 1).

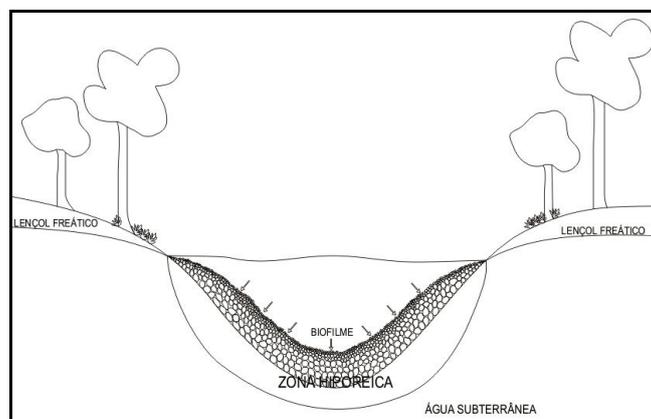


Figura 1 - Zona Hiporreica destacando o biofilme formado pela distribuição do material sedimentar no leito do rio.

A zona hiporreica compreende uma riqueza de materiais com características particulares. É importante que a composição desse ambiente não comprometa a interação água superficial e água subterrânea, pois a quantidade elevada de certos materiais finos pode provocar a colmatção.

A deposição de sedimentos no leito também pode minimizar a troca hiporreica (PACKMAN & ACKAY, 2003), pois a retenção de partículas finas forma um biofilme diminuindo o fluxo vertical.

O regime de fluxo hiporreico pode ser alterado por uma variedade de atividades humanas, incluindo aquelas que mudam a vazão ou alteram a superfície do leito ou subsolo (BOANO *et al.*, 2010; MAIER & HAWARD, 2011). Porém, através de alguns eventos chuvosos as águas superficiais podem estabelecer configurações distintas com o fluxo subterrâneo, pois a carga hidráulica pode ser alterada chegando a induzir algumas modificações nesse fluxo afetando padrões de infiltração.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de estudo

O projeto foi desenvolvido nas margens do rio Beberibe dentro dos limites da Estação Elevatória de Caixa d'Água (EE Caixa d'Água), situada no bairro de Caixa d'Água – Olinda - PE. Essa estação é uma das unidades da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), que é a instituição responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário do Estado de Pernambuco.

#### 3.2 Granulometria

Foram retiradas amostras dos sedimentos superficiais do leito do rio (zona hiporreica), onde as mesmas foram coletadas diretamente com uma colher. As coletas foram realizadas no mês de Fevereiro de 2011, nos mesmos pontos dos ensaios de infiltração no leito, totalizando 9 amostras conhecidas por 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B e 3C. A amostra 1C foi coletada da margem do rio,

as amostras 1A, 1B, 2A, 2B, 2C foram retiradas do leito e as amostras 3A, 3B e 3C são referentes às amostras da área alagada próxima ao rio Beberibe.

Após a coleta as amostras foram refrigeradas ainda em campo para melhor preservação e foram levadas para o Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) para realização da análise. A distribuição granulométrica dessas amostras foram determinadas através de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973).

### 3.3 Ensaios de infiltração

Os testes de quantificação da infiltração no módulo experimental foram realizados quinzenalmente nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2011. Durante o período de testes também foram feitas leituras do nível da lâmina d'água do rio.

Foram escolhidos 2 pontos do rio Beberibe e 1 ponto na área alagada para serem realizados os ensaios de infiltração. Para realizar os ensaios de infiltração foram adotados infiltrômetros de cilindro produzidos com acrílico, onde sua área é de 50,265 cm<sup>2</sup>, e reservatórios de água (bolsas plásticas hospitalares) com capacidade para aproximadamente 2 L.

Inicialmente, o cilindro é cravado manualmente no leito do rio, fixando-se aproximadamente 4 cm do cilindro na zona hiporreica, depois entre o equipamento e os sedimentos do leito aplica-se uma mistura de bentonita e água na proporção de 1:1. A bentonita se expande quando entra em contato com líquido e funciona impedindo a entrada ou o vazamento de água.

Após a fixação do cilindro no leito, o reservatório de água devidamente cheio e pesado em balança eletrônica é conectado ao cilindro e posto acima do nível do rio (Figura 2). Após 30 minutos o reservatório é retirado do rio e pesado novamente. Esse ensaio foi repetido pelo menos duas vezes em cada ponto.

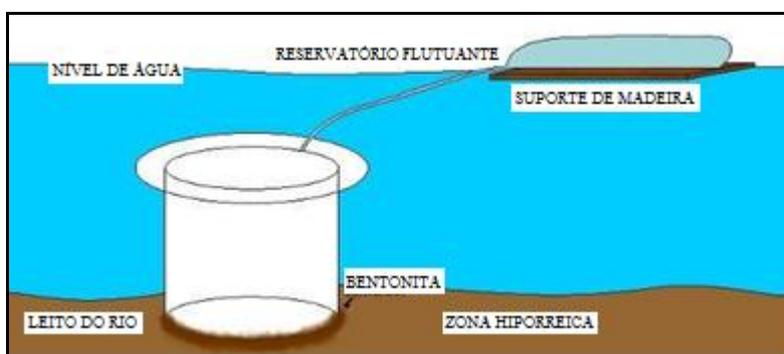


Figura 2 - Reservatório de água localizado dentro do rio.

A partir dessa metodologia, buscou-se calcular a taxa de infiltração da água no leito através da seguinte fórmula:

$$I_t = \frac{V}{t.A} \quad (1)$$

Onde:

$I_t$  = taxa de infiltração

$V$  = volume

$t$  = tempo

$A$  = área do cilindro

Esta expressão indica que a infiltração pode ser quantificada como o volume de água que penetra no solo, por unidade de área, por unidade de tempo.

Em campo, o volume dos reservatórios foi medido em gramas e posteriormente transformado em  $\text{mm}^3$  para base de cálculo, através da sua densidade, onde foi adotada a temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ , sendo a massa específica da água de  $997 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados e as considerações pertinentes serão apresentados de acordo com cada etapa de realização do projeto.

##### 4.1 Granulometria

A variabilidade granulométrica das amostras coletadas do rio Beberibe ao longo do módulo experimental e da área alagada podem ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise granulométrica dos pontos 1, 2 e 3.

| PARÂMETROS           | PONTOS |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 1A     | 1B    | 1C    | 2A    | 2B    | 2C    | 3A    | 3B    | 3C    |
| Grânulos (%)         | 5,54   | 4,25  | 1,00  | 7,96  | 0,28  | 20,6  | 15,87 | 1,63  | 29,01 |
| Areia (%)            | 98,99  | 95,04 | 44,21 | 86,75 | 90,36 | 96,75 | 82,14 | 94,40 | 70,25 |
| Silte (%)            | 0,40   | 0,57  | 29,80 | 4,27  | 7,61  | 0,95  | 1,62  | 3,19  | 0,61  |
| Argila (%)           | 0,07   | 0,13  | 24,99 | 1,02  | 1,75  | 0,24  | 0,37  | 0,78  | 0,14  |
| Materia Orgânica (%) | 0,46   | 0,86  | 8,46  | 1,46  | 2,46  | 1,26  | 1,06  | 1,50  | 1,20  |

A maioria dos pontos analisados não apresentam forte variação nas frações de areia, silte e argila, enquadrando-se na classe textural arenosa com exceção do ponto 1C que se localiza na margem do rio.

O ponto 2 apresenta uma quantidade de silte e argila um pouco maior, levando em consideração as análises das amostras do leito. Esse fato pode refletir na permeabilidade do local, pois a variedade entre os diâmetros dos sedimentos facilita o processo de colmatção afetando a passagem da água entre o leito e o aquífero. Essa situação não deve ser comparada às amostras que possuem uma significativa fração de silte e argila, mas esse não é o caso.

A partir dos resultados, foi possível observar que os maiores teores orgânicos estão associados às estações com maiores conteúdos de lama (argila + silte). A quantidade de matéria orgânica nos pontos analisados não foi, entretanto, significativa, com exceção do ponto 1C. Este ponto, além de apresentar o maior teor de matéria orgânica entre os pontos analisados, também apresentou uma quantidade de material lamoso superior aos outros pontos.

Os resultados das amostras analisadas, mostram que no material representativo da superfície do leito do rio Beberibe e da área inundada não existe variação granulométrica significativa, permitindo condições similares em relação à variação da taxa de infiltração em condições naturais.

## 4.2 Ensaio de infiltração

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as médias das taxas de infiltração e um resumo dos dados que foram utilizados para a realização dos cálculos.

Tabela 2 - Ensaio de infiltração realizado no leito do rio Beberibe – PONTO 1.

| Data       | Média do Tempo (s) | Massa infiltrada (g) | Volume infiltrado (mm <sup>3</sup> ) | Área de infiltração (mm <sup>2</sup> ) | Média It (mm/s) |
|------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|--|-----------------|
| 19/10/2010 | 348,7              | 1838                 | 1,844x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 1,053           |
| 26/10/2010 | 427,7              | 1873                 | 1,880x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,874           |
| 09/11/2010 | 313,7              | 1798                 | 1,804x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 1,144           |
| 23/11/2010 | 298,7              | 1794                 | 1,800x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 1,199           |
| 07/12/2010 | 381,3              | 1805                 | 1,811x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,945           |
| 14/12/2010 | 441,3              | 1784                 | 1,790x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,807           |

Tabela 3 - Ensaio de infiltração realizado no leito do rio Beberibe – PONTO 2.

| Data       | Média do Tempo (s) | Massa infiltrada (g) | Volume infiltrado (mm <sup>3</sup> ) | Área de infiltração (mm <sup>2</sup> ) | Média It (mm/s) |
|------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|--|-----------------|
| 19/10/2010 | 3151,7             | 1846                 | 1,852x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,117           |
| 26/10/2010 | 3449,7             | 1792                 | 1,798x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,104           |
| 09/11/2010 | 3196,0             | 1835                 | 1,841x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,115           |
| 23/11/2010 | 3066,7             | 1899                 | 1,905x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,124           |
| 07/12/2010 | 3101,7             | 1895                 | 1,901x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,125           |
| 14/12/2010 | 3292,0             | 1813                 | 1,819x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,110           |

Tabela 4 - Ensaio de infiltração realizado no leito do rio Beberibe – PONTO 3.

| Data       | Média do Tempo (s) | Massa infiltrada (g) | Volume infiltrado (mm <sup>3</sup> ) | Área de infiltração (mm <sup>2</sup> ) | Média It (mm/s) |
|------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|--|-----------------|
| 19/10/2010 | 393,3              | 1869                 | 1,870x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,948           |
| 26/10/2010 | 426,3              | 1869                 | 1,875x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,875           |
| 09/11/2010 | 388,7              | 1858                 | 1,864x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,955           |
| 23/11/2010 | 350,0              | 1814                 | 1,820x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 1,034           |
| 07/12/2010 | 351,3              | 1847                 | 1,853x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 1,049           |
| 14/12/2010 | 391,7              | 1835                 | 1,841x10 <sup>6</sup>                | 5,03x10 <sup>3</sup>                   | 0,953           |

Comparando os três pontos, nota-se que o ponto 2 levou mais tempo para que o volume de água disposto no reservatório fosse infiltrado no leito do rio e portanto, o mesmo ponto apresenta uma redução bastante acentuada na média da taxa de infiltração em relação aos outros pontos. Provavelmente o que caracteriza a dificuldade da passagem de água do rio Beberibe pelos sedimentos do leito, localizados no ponto 2, é a distribuição granulométrica das partículas do local. De acordo com os resultados de granulometria já apresentados, o ponto 2 é formado por areias finas, médias e grossas, ou seja, existe uma variação no diâmetro do material do leito favorecendo o preenchimento dos vazios e reduzindo a permeabilidade.

Além disso, na composição do material do leito do ponto 2 encontra-se uma quantidade de material lamoso superior do que nos outros pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração. Sendo esse mais um motivo para explicar o fato das taxas de infiltração serem inferiores no ponto 2, pois o silte e a argila por serem partículas menores do que a areia e o cascalho dificultam a passagem da água pelo leito.

As partículas menores ocupam os vazios entre as partículas maiores, criando um entrosamento, do qual resulta menor compressibilidade e maior resistência (PINTO, 2006). Portanto, mesmo que a variação dos sedimentos seja sensível, só pelo fato do local ser constituído por sedimentos de diâmetros diferentes, existe a possibilidade da fração de partículas mais finas ocuparem a dimensão dos vazios alterando significativamente a permeabilidade do local.

Durante os ensaios de infiltração foi possível observar que nos períodos chuvosos a maioria das taxas de infiltração eram menores que nos períodos de pouca ou nenhuma chuva.

Para uma melhor compreensão a Figura 3 ilustra graficamente os valores referentes às médias das taxas de infiltração no leito e a precipitação diária de um posto pluviométrico instalado em Olinda-PE.

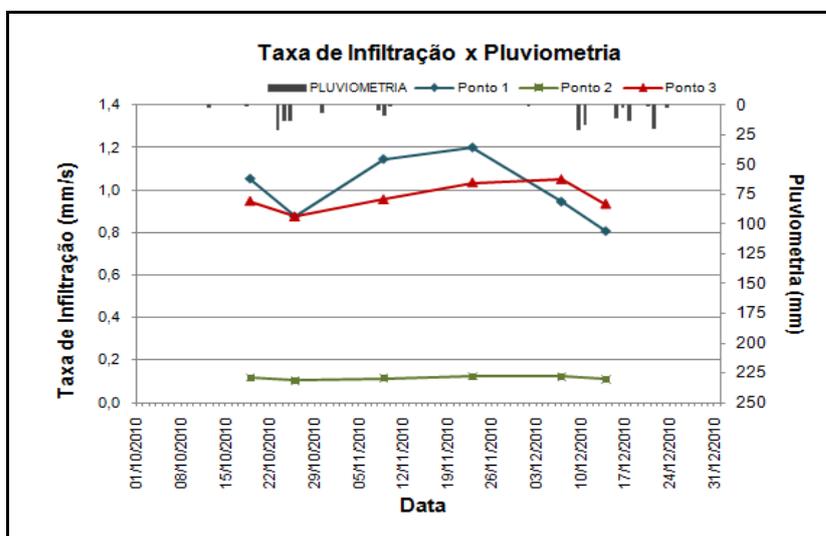


Figura 3 - Taxas de infiltração no leito e precipitação diária, Olinda – PE.

Nos gráficos acima fica comprovada a influência da precipitação em grande parte das taxas de infiltração ocorridas no leito do rio Beberibe e na área alagada próxima ao rio.

Possivelmente, em épocas de maiores precipitações a interação entre águas superficiais e subterrâneas é alterada, pois dependendo da intensidade da chuva a saturação do solo e suas propriedades hidráulicas podem ser afetadas. Esse fato caracteriza a interação rio-aquífero no módulo experimental, visto que foi perceptível a redução das taxas de infiltração durante períodos chuvosos, pois a condição de saturação do solo dificulta a passagem de água entre o rio e o aquífero.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo aqui exposto forneceu informações sobre o transporte de volumes hídricos entre o rio Beberibe e o aquífero, onde o local de grande influência nessa interação é a zona hiporreica, pois esse ambiente interliga o rio com o meio ambiente subterrâneo.

Através dos ensaios granulométricos realizados, foi possível observar que existe certa predominância de areia no leito do rio Beberibe, mas ocorre uma pequena variação nas proporções de um ponto para o outro.

O infiltrômetro de cilindro foi utilizado para realização de ensaios de infiltração no leito, avaliando a capacidade de transporte de volumes hídricos entre o rio Beberibe e o aquífero. Foi possível compreender que em alguns pontos o rio Beberibe colabora no abastecimento do aquífero através do fluxo vertical descendente no leito do rio.

A ocorrência de precipitações pode influenciar a quantidade do fluxo de água que se infiltra na zona hiporreica, havendo redução de infiltração nos períodos chuvosos.

## **AGRADECIMENTOS**

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelas bolsas de pesquisa concedidas aos alunos de Pós-Graduação e apoio financeiro para o desenvolvimento das pesquisas no tema Interação água superficial – água subterrânea.

À Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro do projeto nº 479126\_2011-9.

## **BIBLIOGRAFIA**

BIANCHIN, M.S., Smith, L., and Beckie, R.D. (2011). *"Defining the hyporheic zone in a large tidally influenced river."* J. Hydrol.406, 16.

- BOANO, F., REVELLI, R., and RIDOFI, L. (2010). "Effect of streamflow stochasticity on bedform-driven hyporheic exchange." *Adv. Water Resour.* 33, 1367.
- BOULTON, A.J., DATRY, T., KASAHARA, T., MUTZ, M., and STANFORD, J.A. (2010). "Ecology and management of the hyporheic zone: Stream-groundwater interactions of running waters and their floodplains." *J. N. Am. Benthol. Sci.* 29, 26.
- BRUNKE, M.; GONSER, T. (1997). "The ecological significance of exchange processes between rivers and ground-water." *Freshwater Biol* 37, p.1–33.
- FEITOSA, F.A.F.; MANOEL FILHO, J. (1997). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*.
- GENEREUX, D.P.; LEAHY, S; MITASOVA H.; KENNEDY, C.D.; CORBETT, D.R. (2008). "Spatial and temporal variability of streambed hydraulic conductivity in West Bear Creek, North Carolina, USA." *Journal of Hydrology* 358:332-353.
- GOLDSCHNEIDER, A.; HARALAMPIDES, K.; MACQUARRIE, K. (2007). "River sediment and flow characteristics near a bank filtration water supply: implications for riverbed clogging." *Journal Hydrology*, v.344, n.1-2, p.55-69.
- GOOSEFF, M.N. (2010). "Defining hyporheic zones—advancing our conceptual and operational definitions of where stream water and groundwater meet." *Geogr. Compass* 4, 945.
- GUNKEL, G. & HOFFMANN, A. (2009). "Bank filtration of rivers and lakes to improve the raw water quality for drinking water supply." In: *Water Purification* (N. Gertsen & L. Sonderby, eds.). Nova Science Publ., Hauppauge, NY, pp. 137-169, 2009. transport and processing in littoral interstices – use of fluorescence markers. *Limnologia*, v.39, n.3, p.185–199.
- LAUTZ, L.K.; KRANES, N.T.; SIEGEL, D.I. (2009). "Heat tracing of heterogeneous hyporheic exchange adjacent to in-stream geomorphic features." *Hydrological Processes* 24:3074-3086.
- LAWRENCE, J. E.; SKOLD, M. E.; HUSSAIN, F.A.; SILVERMAN, D. R.; RESH, V.H.; SEDLAK, R. G. L.; MCCRAY, J.E. (2013). "Hyporheic Zone in Urban Streams: A Review and Opportunities for Enhancing Water Quality and Improving Aquatic Habitat by Active Management." *Environmental Engineering Science*, volume 8, number 30, 418 - 501.
- MAIER, H.S., and HOWARD, K.W.F. (2011). "Influence of oscillating flow on hyporheic zone development." *Ground Water* 49, 830.
- PACKMAN, A.I. & MACKAY J.S. (2003). "Interplay of stream-subsurface exchange, clay particle deposition, and stream bed evolution." *Water Resources Research* 39: 4-1–4-9. DOI: 10.1029/2002WR001432.
- SUGUIO, K. (1973). *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP. p.317.
- VERAS, T.B. (2011). "Análise da interação rio-aquífero na zona hiporreica para a tecnologia de filtração em margem: estudo de caso no rio Beberibe-PE." Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Civil - Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Recife-PE.
- WILLIAMS, D.D. (1989). "Towards a biological and chemical definition of the hyporheic zone in two Canadian rivers." *Freshw. Biol.* 22, 189.