

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA FILTRAÇÃO EM MARGEM EM PETROLÂNDIA-PE A PARTIR DE SLUG TEST**

*Ana Gabriella dos Santos Batista de Menezes<sup>1</sup>; Fabrício Eduardo Silva de Lima<sup>2</sup>; Raquel Ferreira do Nascimento<sup>3</sup>; José Adson Andrade de Carvalho Filho<sup>4</sup>; Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>5</sup>; Sylvana Melo dos Santos<sup>6</sup>; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva<sup>7</sup> & Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral<sup>8</sup>*

**Abstract:** Riverbank Filtration is a water treatment technique whose efficiency depends on local hydrogeological conditions, especially the soil's hydraulic conductivity (K), which governs water flow and contaminant removal. This study evaluated the potential application of Riverbank Filtration in the municipality of Petrolândia-PE by estimating the local aquifer's hydraulic conductivity through the application of slug tests in observation wells. The K values obtained from the slug tests were in the lower range considered adequate for the technique. However, the results also indicated the presence of layers with sufficient permeability to support the practice of Riverbank Filtration. Thus, it is concluded that the implementation of Riverbank Filtration in the area is promising, but its success depends on a careful design that integrates information on regional conductivity with the recognition of local permeability variations.

**Resumo:** A Filtração em Margem é uma técnica de tratamento de água cuja eficiência depende das condições hidrogeológicas locais, em especial da condutividade hidráulica (K) do solo, que governa o fluxo de água e a remoção de contaminantes. Este trabalho avaliou o potencial de aplicação da Filtração em Margem no município de Petrolândia-PE, estimando a condutividade hidráulica do aquífero local por meio da aplicação de ensaios do tipo *slug test* em poços de observação. Os valores de K obtidos pelos *slug tests* situaram-se na faixa inferior considerada adequada para a técnica. No entanto. Os resultados indicaram também, a presença de camadas com permeabilidade suficiente para suportar a prática da Filtração em Margem. Assim, conclui-se que a implantação da Filtração em Margem na área é promissora, mas seu sucesso depende de um dimensionamento cuidadoso que relate as informações da condutividade regional com o reconhecimento das variações pontuais de permeabilidade.

**Palavras-Chave** – Águas subterrâneas; sustentabilidade hídrica; tratamento de água.

1) Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária. 50.740-530. Recife/PE – Brasil. Fone: +55 81 2126.8223. E-mail: gabriella.batista@ufpe.br;

2) Doutorando do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: fabrício.eduardo@ufpe.br;

3) Doutoranda do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: raquel.ferreiran@ufpe.br;

4) Pós-Doutorando do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: adson.carvalho@ufpe.br;

5) Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - DECIV, docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: leidjane.oliveira@ufpe.br ;

6) Professora Titular do DECIV, docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: sylvana.santos@ufpe.br;

7) Professor Associado do DECIV, docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: anderson.paiva@ufpe.br;

8) Professor Associado da Universidade de Pernambuco (UPE) e docente permanente do PPGEC, UFPE, Recife, PE, e-mail: jaime.cabral@ufpe.br

## INTRODUÇÃO

Segundo o Panorama do Saneamento Básico no Brasil (ANA, 2022), apenas 53,2% da população urbana é atendida por coleta de águas residuais, das quais 79,8% são tratadas antes do descarte. Contudo, considerando o volume total de água consumido, somente 50,8% dos efluentes recebem tratamento adequado. Assim, cerca da metade dos resíduos líquidos urbanos ainda é lançada in natura nos corpos hídricos, o que impõe significativos desafios técnicos e econômicos à captação e ao tratamento das águas superficiais.

A Filtração em Margem é uma das técnicas que surgem nesse contexto de poluição das águas superficiais (Martins *et al.*, 2021). Criada há mais de um século, é empregada para a melhora da qualidade da água, a partir da capacidade natural dos sedimentos para atenuar contaminantes (Masse-Dufresne *et al.*, 2021; Carvalho Filho *et al.*, 2022). A Filtração em Margem pode ser considerada como um sistema gerenciado de recarga de aquíferos, que é explorado em grande medida para o abastecimento de água potável (Ray *et al.*, 2002). Uma das maiores vantagens existentes nesse sistema consiste na redução da extensão das etapas de tratamento das águas subterrâneas em comparação ao uso da superficial, o que pode reduzir os custos de tratamento (Handl *et al.*, 2023).

A Filtração em Margem baseia-se na abertura e construção de poços de bombeamento em locais próximos às margens de algum manancial superficial. Seu funcionamento técnico é realizado a partir da diferença do gradiente hidráulico ou carga hidráulica entre o manancial superficial e o aquífero, gerada pelo bombeamento. Isso faz com que o fluxo da água do manancial superficial seja induzido através do meio poroso, até o poço de bombeamento. A extração das águas resultantes da Filtração em Margem é realizada por uma galeria de infiltração, ou linhas de poço, que podem ser horizontais, verticais ou inclinados (Maeng *et al.*, 2013).

Apesar de ser promissora, o sucesso da implantação da técnica está intrinsecamente ligado às condições hidrogeológicas locais, tornando-a uma técnica de alta especificidade locacional. O desempenho do sistema é ditado por um conjunto de fatores, que inclui a composição dos sedimentos, a qualidade da água de origem e a posição do poço de captação em relação ao corpo hídrico. A condutividade hidráulica ( $K$ ), em particular, emerge como um dos parâmetros fundamentais nessa avaliação. Ela governa a eficiência com que a água superficial atravessa o meio poroso até os poços, e valores moderados a elevados promovem uma recarga induzida eficaz, ao mesmo tempo que asseguram um tempo de residência adequado para a atenuação de contaminantes por processos físicos, químicos e biológicos.

Visto que a condutividade hidráulica ( $K$ ) do solo é um parâmetro determinante para a eficiência da Filtração em Margem, sua caracterização em campo é de fundamental importância. Diante disso, este estudo concentrou-se em estimar a  $K$  local através do ensaio de *slug test*, um método de rápida execução e baixa interferência no aquífero, de modo a subsidiar a avaliação da viabilidade da técnica na região.

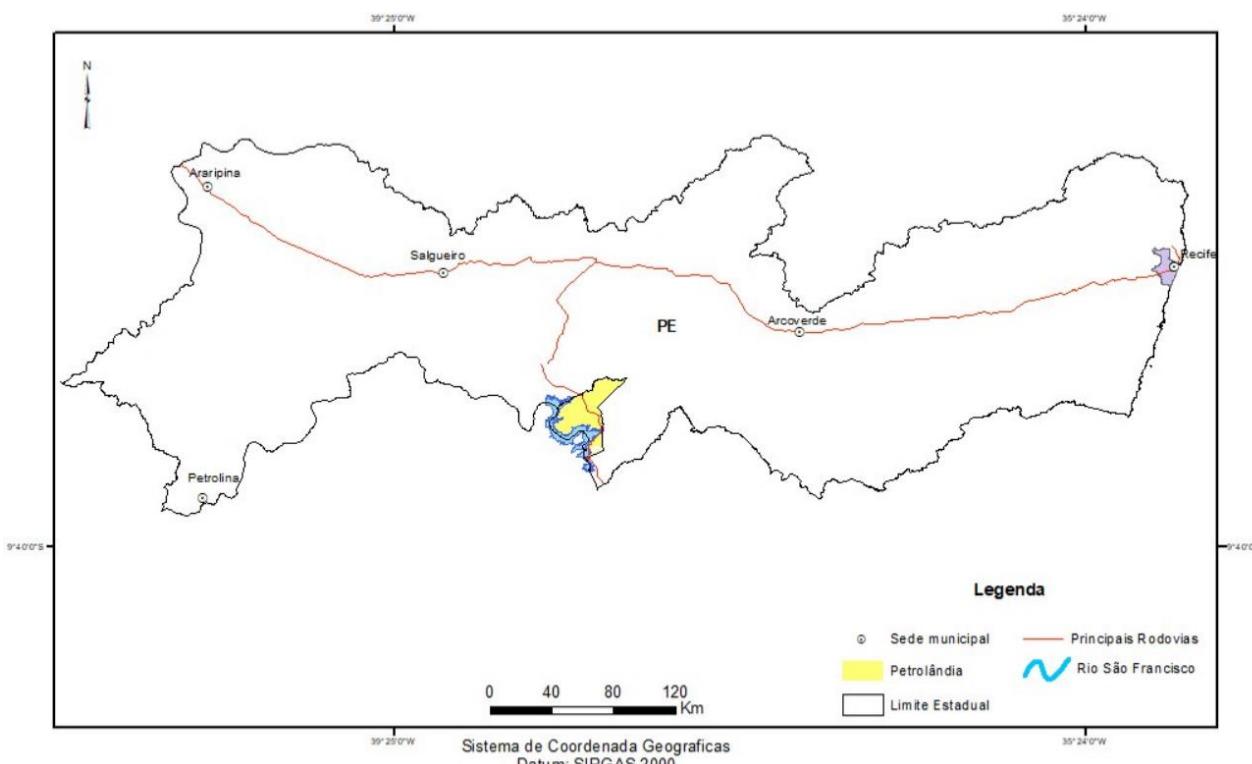
## METODOLOGIA

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio São Francisco possui uma área de drenagem de 639.219 km<sup>2</sup> e vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s. Seu rio principal, de mesmo nome, nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, atravessa os estados de Goiás, Distrito Federal, Bahia e Pernambuco, e deságua no Oceano Atlântico, na divisa entre Alagoas e Sergipe. Ao todo, 505 municípios brasileiros situam-se na área da bacia, o que a torna um dos mais importantes mananciais do país, especialmente para a região semiárida (CBHSF, 2020).

Entre esses municípios, destaca-se Petrolândia, selecionado como área potencial para a implantação da técnica de Filtração em Margem, em decorrência de uma parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco e a Companhia Pernambucana de Saneamento. Localizado na mesorregião do Sertão do São Francisco, no estado de Pernambuco, o município possui, segundo projeção do IBGE (2022), cerca de 34.161 habitantes e apresenta clima semiárido. Na Figura 1 ilustra-se a localização de Petrolândia dentro do estado de Pernambuco.

Figura 1 – Localização de Petrolândia no Estado de Pernambuco



Fonte: Os Autores (2025).

### Ensaio tipo *Slug Test*

O princípio do ensaio baseia-se na retirada ou injeção instantânea de um volume específico de água em um poço de observação (Figura 2). A maior dificuldade do método consiste justamente em realizar essa operação de forma verdadeiramente instantânea. Na prática, é comum o uso de um cilindro — denominado slug — inserido ou retirado rapidamente do interior do poço. Nos testes realizados, utilizou-se um slug de PVC com 1 metro de comprimento e 75 mm de diâmetro, fechado em ambas as extremidades. A resposta da lâmina d'água ao deslocamento foi registrada por um sensor automático de nível instalado previamente, o qual permitiu o monitoramento contínuo da recuperação do nível d'água.

Com o objetivo de estimar rapidamente a condutividade hidráulica local, com mínima interferência no sistema aquífero, foram realizados slug tests nos poços de observação da área de estudo. Para a análise dos dados obtidos, adotou-se o método de Bouwer-Rice (1976), desenvolvido para a estimativa da condutividade hidráulica em aquíferos livres, a partir de poços que podem ser parciais ou totalmente penetrantes, conforme representado na Equação 1.

$$K = \frac{r_c^2 \ln(\frac{R_e}{R_w})}{2L_e} \frac{1}{t} \ln \frac{y_0}{y_t} \quad (1)$$

Sendo:

$K$  = condutividade hidráulica da formação aquífera;

$y_0$  = o rebaixamento máximo no tempo zero;

$y_t$  = rebaixamento no tempo  $t$ ;

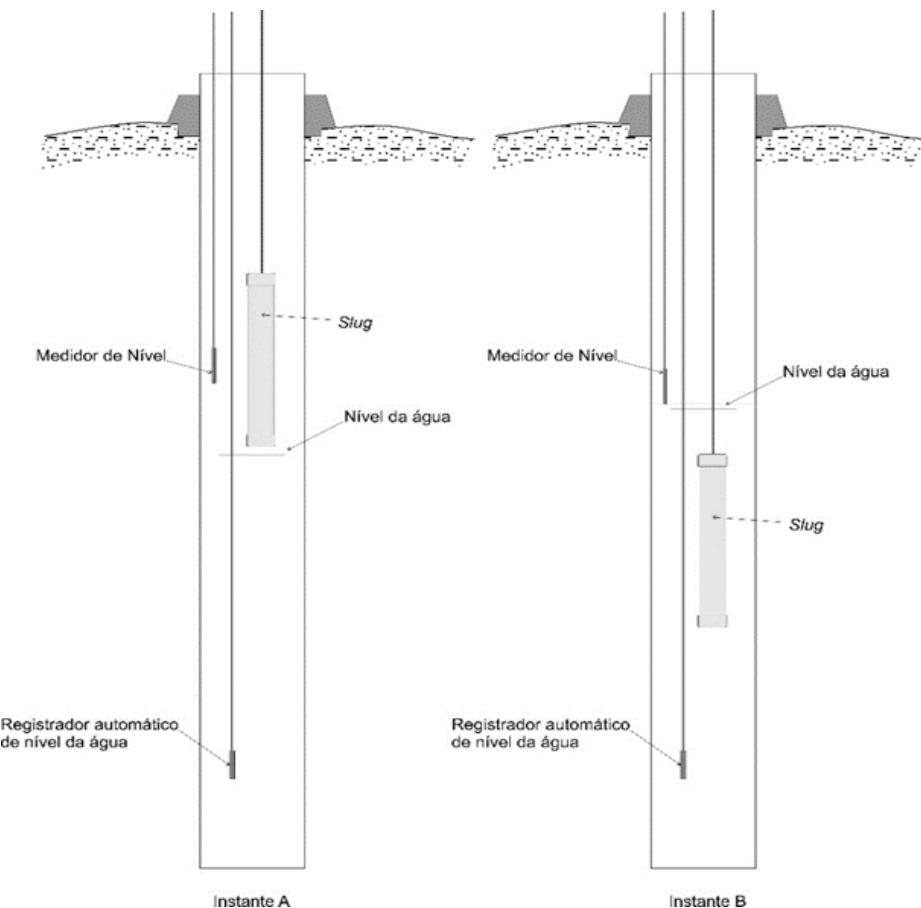
$R_e$  = raio efetivo, que é a distância a partir da qual os efeitos da variação de carga são dissipados;

$R_w$  = raio da perfuração do poço;

$r_c$  = raio do revestimento onde a elevação ou descida do nível da água são medidas;

$L_e$  = comprimento do pacote do pré-filtro (cascalho).

Figura 2 – Princípio de execução do Slug Test



Fonte: Os Autores (2025).

A condutividade hidráulica é um dos parâmetros fundamentais na avaliação da viabilidade da Filtração em Margem, pois determina a eficiência com que a água superficial atravessa o meio poroso até os pontos de captação subterrânea. Valores moderados a elevados favorecem a recarga induzida,

ao mesmo tempo em que proporcionam tempo de residência suficiente para a remoção de contaminantes por mecanismos físicos, químicos e biológicos.

## RESULTADOS

A seguir será apresentado os resultados dos *slug tests* conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado do *Slug Test* para os piezômetros

Poço	L (m)	Profundidade (m)	K (m/s)
Pz-01	15	25	$1,1 \times 10^{-5}$
Pz-02	6	10	$4,18 \times 10^{-5}$

L = cumprimento do filtro; K = Condutividade hidráulica

Fonte: Os Autores (2025).

Estes valores se situam na faixa inferior considerada adequada para RBF. Segundo Dillon *et al.* (2001) e Sharma e Amy (2009), condutividades entre  $10^{-4}$  e  $10^{-2}$  m/s são ideais para essa aplicação, pois asseguram taxas eficientes de recarga induzida com tempo de contato apropriado para processos naturais de depuração. Entretanto, os valores de K obtidos por *slug test* foram significativamente inferiores aos verificados nos testes de bombeamento realizados na mesma área, que indicaram condutividades da ordem de  $10^{-3}$  m/s. Essa discrepância pode ser explicada por diversos fatores:

1. Os *slug tests* representam a permeabilidade imediata ao redor do poço (centímetros a poucos metros), enquanto os testes de bombeamento mobilizam um volume muito maior do aquífero, refletindo condições médias regionais.
2. A presença de camadas menos permeáveis (como siltes ou argilas intercaladas) afeta mais fortemente os resultados dos *slug tests*, enquanto nos testes de bombeamento esses efeitos são diluídos.
3. Os *slug tests* são rápidos, ao contrário dos testes de bombeamento, que permitem a estabilização do fluxo em escala maior.

Portanto, os valores de K obtidos por *slug test* devem ser interpretados com cautela, representando a condutividade local e pontual, enquanto os testes de bombeamento fornecem uma visão integrada e regional do comportamento hidráulico do aquífero. Apesar disso, os resultados dos *slug tests* reforçam a presença de camadas com permeabilidade suficiente para suportar a prática de Filtração em Margem, principalmente no segundo poço, cuja condutividade local se aproxima da faixa recomendada na literatura.

## CONCLUSÃO

Os testes de condutividade hidráulica realizados em campo demonstraram condições desfavoráveis à aplicação da Filtração em Margem, quando comparada à literatura. No entanto, os resultados do *slug test* devem ser interpretados com cautela, pois representam a condutividade local e pontual, enquanto os testes de bombeamento fornecem uma caracterização mais integrada e

representativa do comportamento hidráulico regional. Além disso, os resultados demonstram que há presença de camadas com permeabilidade suficiente para suportar a prática de Filtração em Margem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio, código de financiamento 001, e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento à pesquisa e apoio financeiro por meio da concessão de bolsas de doutorado. E à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pelo apoio prestado durante a execução do projeto.

## REFERÊNCIAS

- Bower, C. A.; Rice, R. C. (1963). Interpretation of pumping test data: a summary. *Groundwater*, v. 1, n. 3, p. 27–34, 1963.
- Carvalho Filho, J.A.A.; Cruz, H.M.; Fernandes, B.S.; Motteran, F.; Paiva, A.L.R.; Cabral, J.J.S.P. (2022). “Efficiency of the bank filtration technique for diclofenac removal: a review”. *Environmental Pollution*, 300, p. 118916.
- CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2024). *A Bacia: principais características. Principais características*. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em: 10 Jun. 2024.
- Dillon, P.; Pavelic, P.; Page, D.; Beringen, H.; Ward, J. (2001). Managed aquifer recharge: An introduction. *CRC for Catchment Hydrology*.
- Handl, S.; Kutluçinar, K. G.; Allabashi, R.; Troyer, C.; Mayr, E.; Langergraber, G.; Hann, S.; Perfler, R. (2023). Importance of hydraulic travel time for the evaluation of organic compounds removal in bank filtration. *Chemosphere*, 317, p. 137852.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). *Censo demográfico brasileiro de 2022*. Rio de Janeiro.
- Maeng, S. K.; Salinas Rodriguez, C. N. A.; Sharma, S. K. (2013). Removal of pharmaceuticals by bank filtration and artificial recharge and recovery. In *Comprehensive Analytical Chemistry* Vol. 62, pp. 435–451.
- Martins, M.; Lunardi, S.; Puhl, V. de A.; Pizzolatti, B. S.; Soares, M. (2021). Enzymatic analysis in bank filtration sites as a tool for assessing biological clogging — A column study. *Journal of Water Process Engineering*, 44, p. 102135.
- Masse-Dufresne, J.; Baudron, P.; Barbécot, F.; Pasquier, P.; Barbeau, B. (2021). Optimizing short time-step monitoring and management strategies using environmental tracers at flood-affected bank filtration sites. *Science of the Total Environment*, 750, p. 141429.
- Ray, C.; Melin, G.; Linsky, R. B. (2002). *Riverbank Filtration: improving source-water quality*. Kluwer Academic Publishers. California, USA, 2002.
- Sharma, S. K.; Amy, G. L. (2009). Natural filtration as an effective water treatment process. In: *Water Science and Technology: Water Supply*, 9(5), 465–472.