

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO NO PROJETO DE FILTRAÇÃO EM MARGEM NO RIO BEBERIBE

João Lucas Alves Callou de Sá¹; Fabrício Eduardo Silva de Lima²; José Adson Andrade de Carvalho Filho³; Otávio Tenório⁴; Hedmun Matias da Cruz⁵; Ana Gabriella dos Santos Batista de Menezes⁶; Leidjane Maria Maciel de Oliveira⁷; Sylvana Melo dos Santos⁸; Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁹ & Jaime Joaquim Pereira da Silva Cabral¹⁰

Abstract: This study investigated the river-aquifer interaction within the pilot Riverbank Filtration (RBF) project implemented along the Beberibe River, in Olinda-PE, Brazil. The technique, which is low-cost and efficient, involves inducing surface water through a porous medium by pumping, thereby promoting physical, chemical, and biological processes that improve the quality of the captured water. Monitoring included monthly piezometric measurements correlated with river stage and rainfall data, as well as qualitative assessments of both river and production well water. The results demonstrated a clear hydraulic connection between the river and the aquifer and evidenced the formation of a gradient induced by pumping, which is essential for the success of the RBF system. From a qualitative perspective, significant reductions were observed in parameters such as turbidity, apparent color, ammonia, nitrite, iron, and coliforms, with total and thermotolerant coliforms being completely eliminated. However, nitrate concentrations remained high, likely due to local contamination sources. Thus, RBF at the Beberibe River proves to be an effective alternative as a pre-treatment stage, contributing to improved water quality and promoting more sustainable water resource management.

Resumo: Este estudo investigou a interação rio-aquífero no projeto piloto de Filtração em Margem (FM) implantado às margens do rio Beberibe, em Olinda-PE. A técnica, de baixo custo e eficiente, consiste na indução de água superficial através de um meio poroso por meio de bombeamento, promovendo processos físicos, químicos e biológicos que resultam na melhoria da qualidade da água captada. O monitoramento incluiu medições piezométricas mensais e correlação com a lâmina d'água do rio e dados pluviométricos, além de avaliações qualitativas das águas do rio e do poço de produção. Os resultados demonstraram uma clara conexão hidráulica entre o rio e o aquífero e evidenciaram a formação de um gradiente induzido pelo bombeamento, fundamental para o sucesso da FM. No aspecto qualitativo, observou-se uma redução expressiva em parâmetros como turbidez, cor aparente, amônia, nitrito, ferro e coliformes, com completa eliminação de coliformes totais e termotolerantes.

1) Mestrando 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: joao.callou@ufpe.br;

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

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

4) Graduando do curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), UFPE, Recife-PE, e-mail: otavio.tenorio@ufpe.br

5) Doutorando do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: hedmun.matias@ufpe.br

6) Pós-Doutoranda do PPGEC, UFPE, Recife-PE, e-mail: gabriella.batista@ufpe.br

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

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

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

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

Entretanto, as concentrações de nitrato permaneceram elevadas, provavelmente devido a fontes locais de contaminação. Assim, a FM no rio Beberibe se mostra uma alternativa eficaz como etapa de pré-tratamento, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos.

Palavras-Chave – Filtração em margem, águas subterrâneas, interação rio-aquífero

INTRODUÇÃO

A Filtração em Margem (FM) apresenta-se como uma técnica alternativa e eficiente na redução do grau de contaminação em que se encontram as águas superficiais e até mesmo subterrâneas (Freitas *et al.*, 2018). A técnica é de baixo custo e consiste na instalação de poços com bombeamento próximo às margens de rios ou reservatórios. Através do bombeamento, cria-se uma diferença de carga hidráulica entre o manancial e o lençol freático, induzindo a passagem da água pelo meio poroso até o poço de produção, sendo a água obtida no poço uma mistura de água superficial e subterrânea.

Neste percurso de percolação pelos vazios do solo, a água do manancial superficial é submetida a diversos processos físicos, químicos e biológicos que contribuem para o seu tratamento. Dessa forma, a água do poço operando sob as condições de FM apresenta uma qualidade superior em relação à água do manancial superficial, podendo atender aos padrões de potabilidade estabelecidos (Tufenkji *et al.*, 2002).

Por ser uma tecnologia simples e natural no tratamento da água, a técnica tem sido amplamente utilizada em várias partes do mundo, visto que apresenta benefícios imediatos, pode-se mencionar: a redução do custo no tratamento da água sem aumento do risco a saúde humana e diminuição do uso de produtos químicos (Ray; Melin; Linsky, 2002; Paiva, 2009).

O monitoramento piezométrico constitui uma etapa fundamental no acompanhamento e avaliação da eficiência da filtração em margem. Através de piezômetros estrategicamente instalados é possível obter informações sobre o comportamento do lençol freático e a interação entre rio e aquífero.

O monitoramento qualitativo da água, tanto do rio quanto do poço de produção, é igualmente fundamental para assegurar a segurança e a eficácia do sistema. A análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos permite avaliar a eficiência dos processos naturais de atenuação, além de identificar possíveis variações sazonais ou episódios críticos de contaminação.

O objetivo do presente trabalho busca aprofundar a compreensão da interação rio-aquífero no contexto do projeto de FM no rio Beberibe, com ênfase no de monitoramento piezométrico e nos efeitos sobre a qualidade da água captada.

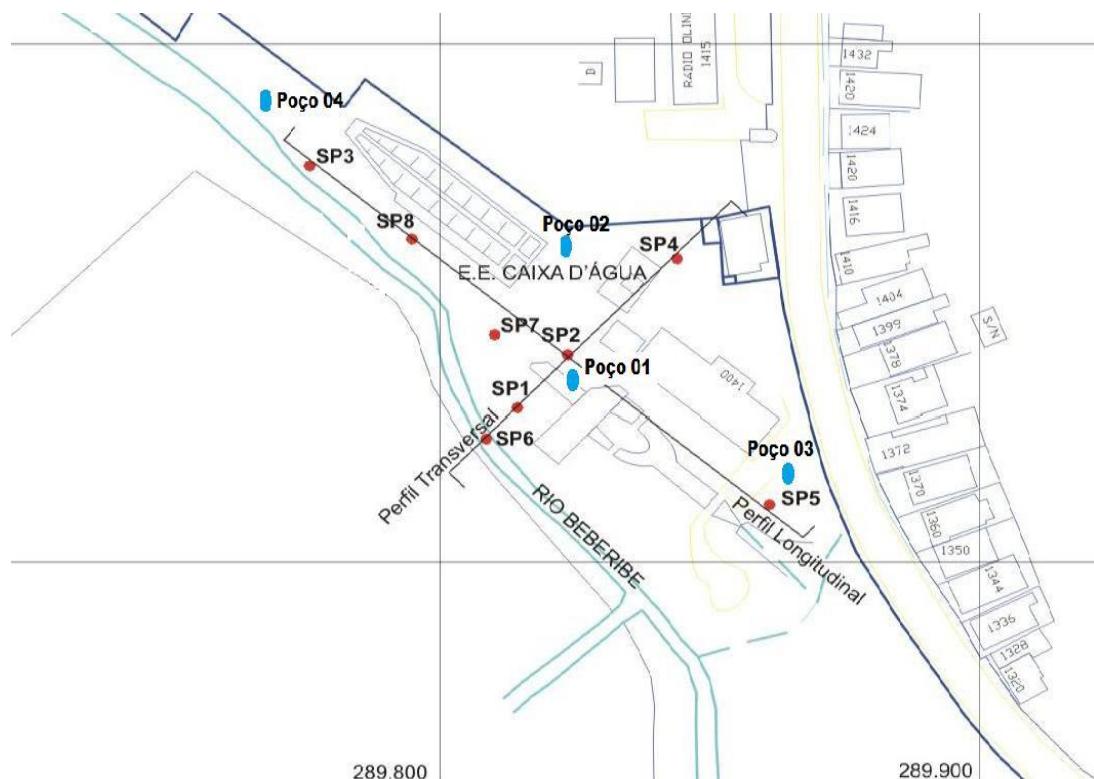
METODOLOGIA

Área de estudo

A presente pesquisa foi conduzida na área do projeto piloto de Filtração em Margem, implantado por Paiva (2009), às margens do rio Beberibe, em um terreno pertencente à Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), onde está situada a Estação Elevatória de Caixa d'Água, no município de Olinda-PE.

O projeto piloto de Filtração em Margem conta com uma infraestrutura composta por oito poços de observação (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6, SP7 e SP8) e quatro poços de produção (Poço 01, Poço 02, Poço 03 e Poço 04) (Figura 1). No presente estudo, apenas o Poço 01, designado como poço de produção principal, encontra-se em operação, com regime de bombeamento contínuo, 24 horas por dia, sem interrupções.

Figura 1 - Localização dos poços de observação e de produção na estação experimental de FM em Caixa d'Água



Fonte: Albuquerque (2015).

Monitoramento piezométrico

As coletas foram realizadas mensalmente, entre setembro de 2022 e janeiro de 2023, utilizando um medidor de nível de água com pulso elétrico e trena acoplada, que emite um sinal sonoro ao entrar em contato com a lâmina d'água.

A determinação do nível efetivo do lençol freático nos poços de produção e observação foi realizada a partir do cálculo da diferença entre as cotas topográficas do topo dos tubos e as profundidades dos níveis piezométricos. As cotas de referência foram obtidas por levantamento topográfico, adotando-se o piso da casa de bombas da EE Caixa d'Água como cota 0,00 m. Devido à inacessibilidade ou à ausência de dados topográficos em alguns poços, nem todos puderam ser considerados na análise, considerando apenas os seguintes poços e piezômetros, conforme consta na Tabela 1.

Os resultados foram correlacionados com os níveis da lâmina d'água do Rio Beberibe no ponto pré-estabelecido, medidos através de uma trena, e com as precipitações pluviométricas diárias.

Dados de precipitação pluviométrica diária no período foram obtidos através do monitoramento realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2023), na Estação Caixa D'Água, localizado nas proximidades da estação experimental de FM.

Tabela 1 – Cota da boca dos poços de FM em relação à cota de referência

POÇO	Poço 1	Poço 3	SP1	SP2	SP5
COTA (m)	0,437	0,225	-0,103	0,210	0,250

Fonte: Adaptado de Freitas (2014).

Monitoramento qualitativo

O monitoramento qualitativo foi realizado entre maio de 2021 e dezembro de 2022, em amostras do rio Beberibe e do poço de produção. Durante as atividades de coleta em campo, foram empregados frascos de polietileno esterilizados com capacidade de 1 L para a realização das análises físico-químicas e bacteriológicas.

Após a coleta e identificação, as amostras foram encaminhadas ao LAMSA (Laboratório de Análises Minerais Solos e Água) no Departamento de Engenharia Química da UFPE, onde foram processadas utilizando a metodologia descrita pela American Public Health Association (APHA, 2017). Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, turbidez, cor Aparente, condutividade elétrica, amônia em NH₃, nitrito em N, nitrato em N, dureza total em CaCO₃, ferro total, cloretos. Os parâmetros microbiológicos foram coliformes totais e termotolerantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acompanhamento dos níveis do lençol freático (Figura 2), obtidos por meio de piezômetros e poços estrategicamente distribuídos na área de estudo, foram grande relevância para a compreensão do comportamento das águas subterrâneas, incluindo o direcionamento do fluxo subterrâneo e as mudanças no cone de rebaixamento resultantes das atividades de bombeamento.

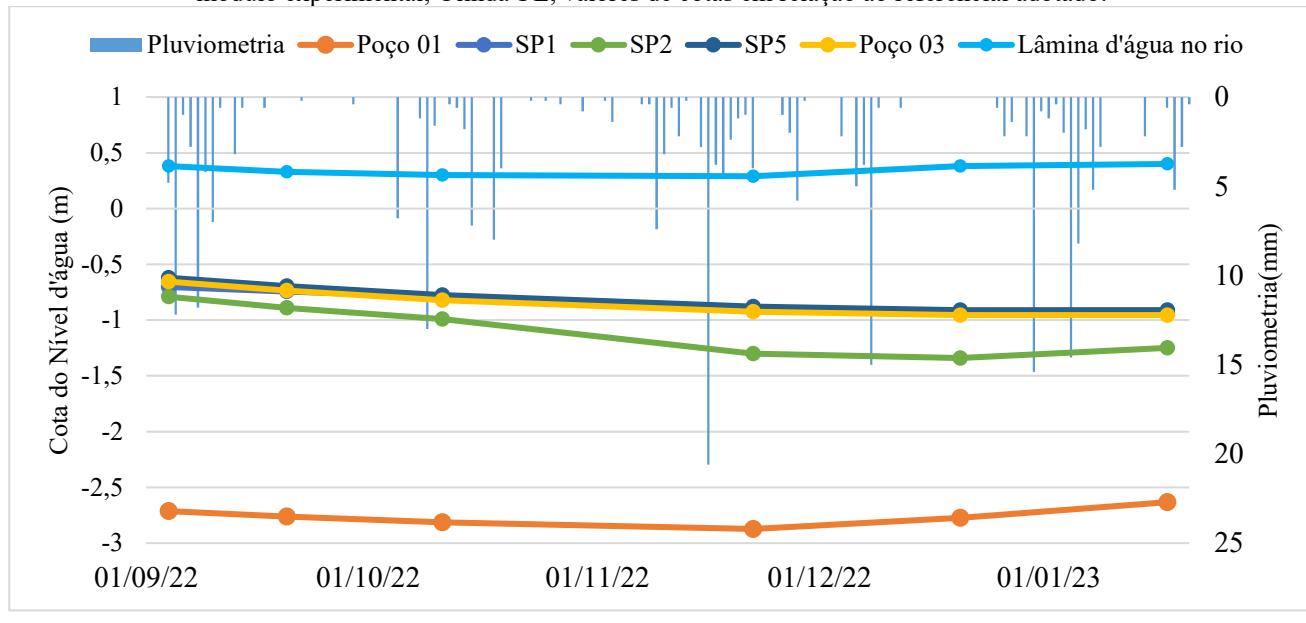
É possível observar, em todas as leituras, uma sincronia entre os níveis d'água dos poços de produção, de observação, e a lâmina d'água do rio Beberibe, comprovando a conexão hidráulica entre o rio e o aquífero, que é fundamental para a técnica de Filtração em Margem. Adicionalmente, ao correlacionar esses dados com as precipitações, fica evidente como a sazonalidade tem impacto nas variações dos níveis.

Observa-se que o Poço 01, em regime de bombeamento contínuo, apresenta as cotas de nível d'água mais rebaixadas em relação aos demais poços e piezômetros. Este comportamento é compatível com a formação de um cone de rebaixamento, em que o bombeamento gera uma diferença de carga hidráulica capaz de induzir o fluxo da água do rio em direção ao poço. Esse gradiente induzido é fundamental para o êxito da técnica, promovendo a captura de água com melhor qualidade devido ao processo natural de atenuação durante o percurso no aquífero.

A avaliação da qualidade da água obtida no poço de produção, em comparação com a água do rio Beberibe, evidenciou a eficácia dos processos naturais de atenuação promovidos pela técnica de Filtração em Margem. Como pode ser visto na Tabela 2, observou-se redução significativa em parâmetros como turbidez, cor aparente, amônia, nitrito, ferro e coliformes. Em particular, a completa

eliminação de coliformes totais e termotolerantes demonstra a elevada eficiência microbiológica do sistema.

Figura 2 - Monitoramento dos níveis piezométricos, da lâmina d'água do rio Beberibe e da precipitação diária no módulo experimental, Olinda-PE, valores de cotas em relação ao referencial adotado.



Fonte: Os Autores (2025).

Tabela 2 - Comparaçao da análise qualitativa do poço com a do rio

Parâmetros	Resultado da filtração em margem
pH	Não significativo
Turbidez (uT)	Reduziu significativamente
Cor Aparente (uH)	Reduziu significativamente
Condutividade Elétrica (Us/cm)	Aumentou não significativamente
Amônia (mg/L)	Reduziu significativamente
Nitrito (mg/L)	Reduziu significativamente
Nitrato (mg/L)	Aumentou significativamente
Dureza total (mg/L)	Aumentou não significativamente
Ferro (mg/L)	Reduziu significativamente
Cloreto (mg/L)	Aumentou não significativamente
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Eliminou
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Eliminou

Alguns parâmetros, como condutividade elétrica, dureza total e cloreto, apresentaram aumento não significativo, o que pode estar associado à maior concentração relativa de sais dissolvidos no meio subterrâneo, porém sem comprometer a potabilidade da água.

No contexto dos compostos nitrogenados, embora a amônia e o nitrito tenham apresentado reduções significativas, as concentrações de nitrato, em geral, permaneceram superiores aos níveis observados na água do rio e acima dos limites máximos permitidos. A presença elevada de nitrato na água subterrânea pode estar associada a contaminações pontuais provenientes de fossas negras

situadas nas proximidades do poço, em razão das residências que circundam a área e destinam seus efluentes sanitários de forma inadequada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, é possível identificar a existência de uma conexão hidráulica entre o rio e o aquífero, assim como a influência do bombeamento na geração de um gradiente hidráulico entre o manancial superficial e o aquífero, promovendo a indução do fluxo de água em direção ao poço de produção. Além disso, conclui-se que a técnica de Filtração em Margem (FM), implantada às margens do rio Beberibe, apresenta um potencial significativo para a melhoria da qualidade da água. O sistema demonstrou eficácia na remoção de poluentes, com destaque para os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, conforme evidenciado pelas análises comparativas entre a água do rio e a dos poços de produção. Embora a água filtrada ainda não atenda plenamente aos padrões de potabilidade em todas as amostras analisadas, em razão das concentrações de nitrato, a FM se configura como uma alternativa viável de ao menos pré-tratamento, contribuindo de maneira expressiva para a redução da carga poluente e para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, T. B. V. (2015). *Caracterização física e biológica da zona hiporreica na interação rio-aquífero no rio Beberibe - Pernambuco*. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil — Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

APHA - American Public Health Association (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23th ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (2023). Monitoramento de Secas para o Brasil. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 01 de set. 2023.

Freitas, D. A. (2014). Uso da técnica de filtração em margem para remoção de cryptosporidium spp. e giardia spp. e outros micro-organismos patogênicos no rio Beberibe – Pernambuco. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. 197p.

Freitas, J. B. A.; Cabral, J. J. S. P.; Paiva, A. L. R.; Santos, S. N. S.; Silva, N. B. N. (2018). A técnica de filtração em margem: histórico de aplicação no mundo e experiências brasileiras. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 4, n. 1, p. 165–175, out. 2018. DOI: 10.5281/zenodo.2543175

Paiva, A. L. R. (2009). *O processo de Filtração em Margem e um estudo de caso no rio Beberibe*. 2009. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

Ray, C.; Melin, G.; Linsky, R. B. (2002). *Riverbank Filtration: improving source-water quality*. California: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Tufenkji, N.; Ryan, J. N.; Elimelech, M. (2002). The promise of bank filtration. *Environmental Science & Technology*, v. 36, n. 21, p. 422A–428A, 01 nov. 2002. DOI: 10.1021/es022441j.