

A técnica de Filtração em Margem: histórico de aplicação no mundo e experiências brasileiras

Jonathas Barbosa de Araújo Freitas¹*, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral², Anderson Luiz Ribeiro de Paiva³, Suelen Nascimento dos Santos⁴, Natália Batista do Nascimento Silva⁵

¹Doutorando em Engenharia Civil, Grupo de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. (*Autor correspondente: jonathasfreitas77@gmail.com)

²Professor Titular, Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Brasil.

³Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Grupo de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁴Graduanda em Ciências Biológicas, Bolsista PIBIC, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁵Graduanda em Engenharia Civil, Bolsista PIBIC, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido no VI Encontro de Desenvolvimento e Meio Ambiente, sendo aceito e indicado para publicação

RESUMO

A Filtragem em Margem (FM) é uma técnica que consiste na instalação de poços próximos a um manancial superficial e a indução da passagem da água do rio até o poço de produção por meio da diferença de carga hidráulica entre o rio e o lençol freático através da ação de bombeamento. Durante a passagem da água pelo meio poroso, ocorrem processos físicos, químicos e biológicos que melhoram bastante a qualidade da água. Uso e experimentos de FM são cada vez maiores, pois essa técnica é utilizada em muitos países para a melhoria da qualidade de água, por ser eficiente e de custo reduzido. Essa revisão de literatura tem o enfoque de salientar a importância da Filtração em Margem em diversos países ao redor do mundo, no Brasil e em Pernambuco e, consequentemente, mostrar como a FM tem tido respostas positivas mundialmente para o tratamento de água para abastecimento público.

Palavras-Chaves: Filtração em Margem, Tratamento alternativo, Qualidade de água, Abastecimento público.

Bank Filtration as an alternative for the water treatment: literature review

ABSTRACT

Bank Filtration (BF) is a technique that consists of the installation wells near a river and its water from the river to the production well induced by the hydraulic head difference between the river and the water table caused by the pumping action. During the water flowpath through the porous medium, physical, chemical and biological processes occur that greatly improve water quality. Use and experiments in BF are increasing, because this technique is used in many countries to improve water quality because it is efficient and low cost. This literature review focuses on emphasize the importance of the BF in many countries around the world, in Brazil and in Pernambuco State and, consequently, show how BF has been efficient worldwide for the treatment of water for public supply.

Keywords: Bank filtration, Alternative Treatment, Water quality, Public supply.

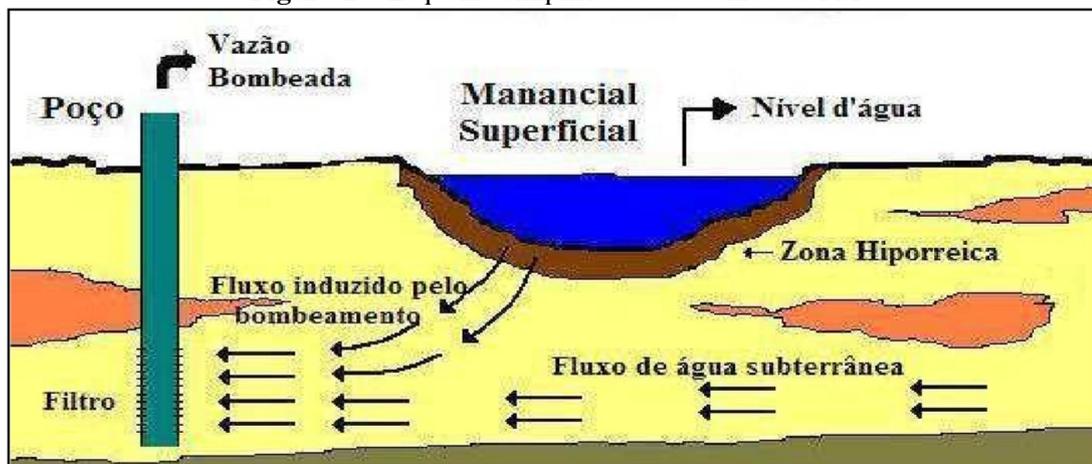
1. Introdução

A Filtração em Margem (FM) é um método alternativo de tratamento d'água que é bastante eficiente e de custo reduzido. Esta técnica se baseia na indução da água superficial de um rio ou lago através da ação de uma bomba instalada em um poço próximo às margens do manancial superficial. A água, ao passar pelos finos do solo, sofre processos que melhoram bastante a sua qualidade. O bombeamento causa um cone de depressão no poço coletor, gerando uma carga hidráulica inferior ao do manancial superficial, induzindo assim a água do manancial até o poço através do meio poroso (RAY, 2002).

Entre os processos em que a água é submetida no sistema de FM, estão os processos físicos, químicos e biológicos que são eficientes na melhoria da qualidade da água em termos de turbidez, micro-organismos, matéria orgânica natural, pesticidas, herbicidas, fármacos e compostos que causam sabor e odor (SAHOO et al., 2005).

A Figura 1 mostra como acontece este fenômeno. A água captada pela bomba é, na verdade, a mistura da água superficial induzida e da água subterrânea (SENS et al., 2006).

Figura 1 – Esquema simplificado da técnica de FM



. Fonte: Freitas (2014).

Uma das grandes vantagens da Filtração em Margem é o fato de que o aquífero aluvial é recarregado naturalmente pelo manancial. Por isso, uma das medidas para instalação de um poço coletor de FM é que ele não retire água de um aquífero confinado. As condições ideais para a implantação de um sistema de FM são os aquíferos permeáveis, de material graúdo, que estejam conectados hidráulicamente com os materiais do leito do rio. (PAIVA, 2009).

Outros pontos importantes a serem considerados são a distância entre o rio e o poço, e a distribuição granulométrica do solo. Ambos influenciam no tempo de viagem das partículas de água. Assim, se o tempo de viagem for muito pequeno, o tratamento não será muito eficiente, pois muitos contaminantes podem não ser removidos. Por outro lado, se o poço for muito distante e/ou o solo for muito fino, a maior parte da água a ser coletada será a própria água subterrânea (SENS et al., 2006).

2. Histórico da Filtração em Margem e sua utilização no mundo

Sistemas de FM têm sido operados na Europa desde a década de 1870 (RAY et al., 2002). Na Alemanha, como consequência de grandes epidemias bacterianas causadas por águas retiradas diretamente de rios no fim do século XIX, a extração direta de águas superficiais para abastecimento público caiu em descrédito e foi substituída ou suplementada por processos naturais ou artificiais de passagem de água em subsolo por sua

eficiência na remoção de micro-organismos.

Atualmente, aproximadamente 16% da água potável na Alemanha é produzida a partir de filtração em margem ou infiltração. Em Berlim, aproximadamente 70% de seu abastecimento de água é produzido a partir da filtração em margem e recarga artificial de águas subterrâneas, o que corresponde a um consumo total de 620.000 m³/dia. (SCHMIDT et al., 2003; PAIVA, 2009). Na Figura 2, é mostrada uma bateria de poços coletores de Filtração em Margem no Lago Tegel, em Berlim.

Segundo Tufenkji, Ryan, e Elimelech (2002), a Filtração em Margem é utilizada como forma de tratamento de até 80% de água para abastecimento na Suíça. Nos Países Baixos são 7%; na Alemanha, 16%; na Hungria, 40%; na Finlândia, 48% e na França, 50%. No resto do mundo, não é tão comum pela melhor disponibilidade de água superficial e subterrânea com boa qualidade.

No entanto, nos últimos anos o uso da Filtração em Margem tem crescido bastante em vários países do mundo. Nos Estados Unidos, esta técnica tem sido usada em estados como Nebraska, Kentucky, Texas e Califórnia; e várias instituições de ensino têm investido em pesquisas relacionadas. De acordo com Hunt (2003), a experiência americana com a filtração em margem começou em meados da década de 1930. Assim, os Estados Unidos acumulam mais de 80 anos de utilização desta tecnologia.

Figura 2 – Poços de Filtração em Margem no Lago Tegel, em Berlim.



Fonte: Freitas (2014).

Enquanto a Europa e Estados Unidos têm usado a FM no processo de abastecimento d'água por várias décadas. Outros países têm iniciado os investimentos nesta técnica muito mais recentemente (HU et al., 2016).

Os países emergentes têm grande potencial para utilização da tecnologia de FM (BOVING et al., 2014). Shamruk e Abdel-Wahab (2011) afirmam que o principal problema nos países em desenvolvimento não é a falta de disponibilidade de tecnologias, mas sim, o fato das partes interessadas desconhecerem alternativas disponíveis e a adequabilidade de uma tecnologia sobre outras em cada situação. O maior desafio é selecionar

uma tecnologia apropriada considerando problemas multifacetados incluindo viabilidade técnica e financeira, costumes e práticas, preferências e suporte institucional disponível.

A maioria dos países em desenvolvimento, embora tenham abastecimento de água suficiente, não possuem técnicas nem recursos econômicos para garantir acesso à água potável. Para estes países, existe uma necessidade urgente de desenvolver alternativas às técnicas clássicas de produção de água potável, adaptadas às suas condições econômicas e sociais (UNESCO, 2009). Assim, a Filtração em Margem se encaixa em sua realidade, por se tratar de uma técnica que depende de um fenômeno natural para produzir água de qualidade (BLAVIER et al., 2014).

Assim, vários países ao redor do mundo – sobretudo países emergentes - têm iniciado pesquisas e operações de Filtração em Margem como alternativa ao tratamento de água convencional nas últimas décadas.

A Coreia do Sul iniciou a operação de um sistema de FM em 2001, na cidade de Changwon (LEE; LEE, 2010). No Egito, um sistema de filtração às margens do Rio Nilo foi introduzido para o abastecimento de mais de 30 mil pessoas em 2004 (SHAMRUKH; ABDEL-WAHAB, 2008).

Na Tailândia, foi construído um sistema que simula a colmatação do leito do Rio Ping, na província de Chiang Mai, onde há déficit no abastecimento urbano e grande potencial de implantação do sistema de FM (PHOLKERN et al., 2015).

A Malásia também tem iniciado suas contribuições em pesquisas de FM através de modelagens numéricas usando MODFLOW. Estas pesquisas têm sido fruto de sua primeira estação de FM no país, localizada no estado de Selangor (MUSTAFA et al., 2016; SHAMSUDDIN et al., 2015).

Várias pesquisas também foram conduzidas na Índia, onde esta técnica tem mostrado resultados positivos, mesmo em locais onde as águas superficiais apresentam péssima qualidade (BOVING et al., 2014). Muitas cidades deste país já estão usando a técnica de FM. Em várias dessas cidades, nenhum tratamento adicional significativo é fornecido para o abastecimento urbano (SANDHU et al, 2011). A FM foi bem-sucedida em rios indianos com alta concentração microbiológica, como o rio Arani. *Escherichia* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp. e *Clostridium* spp. estavam presentes no rio e foram drasticamente reduzidos a partir da ação de um poço de produção à 400 metros da margem (PARIMALARENGANAYAKI et al., 2015).

A FM já é bastante utilizada na China. Existem mais de 300 estações de FM, que se concentram, sobretudo, no norte do país. Mais de 50 estações estão localizadas ao longo do Rio Amarelo (HU et al., 2016). Neste país, tem-se conduzido estudos sobre a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em rios intermitentes com clima bastante árido (Rio Donghe), e em rios cuja bacia possui clima semi-úmido continental (Rio Weihe) (MIN et al, 2013; WANG et al, 2016). Na China, a FM tem se mostrado uma tecnologia eficiente para aliviar a carência de água, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (HU et al., 2016).

3. Filtração em Margem no Brasil

No Brasil, apesar de não haver a utilização da Filtração em Margem no abastecimento público, muitas pesquisas têm sido feitas ao longo dos últimos dez anos. A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) é pioneira em pesquisas sobre esta técnica no país através de seu projeto piloto na Lagoa do Peri, em Florianópolis. Paralelamente, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) através de seu projeto piloto no Rio Beberibe, em Olinda, também tem contribuído significativamente com pesquisas científicas sobre a Filtração em Margem.

Em estudo realizado na Lagoa do Peri, em Santa Catarina, Esquivel, Pizzolatti e Sens (2012) investigaram a qualidade da água obtida por FM com a água bruta da lagoa e a água obtida por tratamento convencional usando filtração direta em uma estação de tratamento local. Os resultados mostraram que a água da lagoa possuía valores elevados de turbidez e cor aparente, parâmetros que o processo de FM reduziu seus

valores na ordem de 90%. Este valor foi superior aos 57% e 60% de remoção de cor aparente e turbidez, respectivamente, pelo processo de filtração direta na ETA.

Como única desvantagem caracterizada no estudo, observou-se condições anóxicas na água obtida no processo de FM. Isto se deve pelo grande processo de biodegradação da matéria orgânica. Mesmo assim, a FM garantiu um bom pré-tratamento na área de estudo, onde necessitou-se da realização de aeração e filtração em areia para complementação do tratamento, processos em que se pôde aproveitar a estrutura da ETA existente no local (ESQUIVEL; PIZZOLATTI; SENS, 2012).

Sens et al. (2006) avaliaram e concluíram que a FM é uma ótima técnica para a remoção de cianobactérias em pesquisa realizada na Lagoa do Peri. Ainda em Santa Catarina, Romero et al. (2010) provaram a eficácia da técnica de FM em estudo realizado em um lago de aquicultura e no Rio Itajaí do Sul, ambos no município de Ituporanga, onde observou-se um bom resultado na remoção de coliforme totais, E. Coli e pesticidas.

Em Pernambuco, vários estudos foram feitos em relação à tecnologia de FM, incluindo dissertações e teses. O projeto piloto existente, onde foram feitas as pesquisas, localiza-se na Estação Elevatória de Caixa D'água às margens do rio Beberibe. Outras informações importantes serão apresentadas mais adiante neste trabalho.

Além de Pernambuco e Santa Catarina, outras pesquisas têm sido feitas nos últimos anos em projetos pilotos iniciados em outros estados do Brasil. No município de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, fez-se um estudo de viabilidade de aplicação da técnica de FM. Constatou-se a necessidade de maior riqueza de dados e informações a respeito das formações hidrológicas e hidrogeológicas do local, com o propósito de escolha do melhor ponto de aplicação (CAMPOS, 2012).

Em Minas Gerais, Rocha e Marques (2016) realizaram uma investigação criteriosa para se conhecer a hidrogeologia local às margens de uma barragem no campus da Universidade Federal de Viçosa, a fim de caracterizar o aquífero e analisar a interação água subterrânea-superficial no sistema de Filtração em Margem. Assim, foi constatada a viabilidade de utilização deste sistema no local.

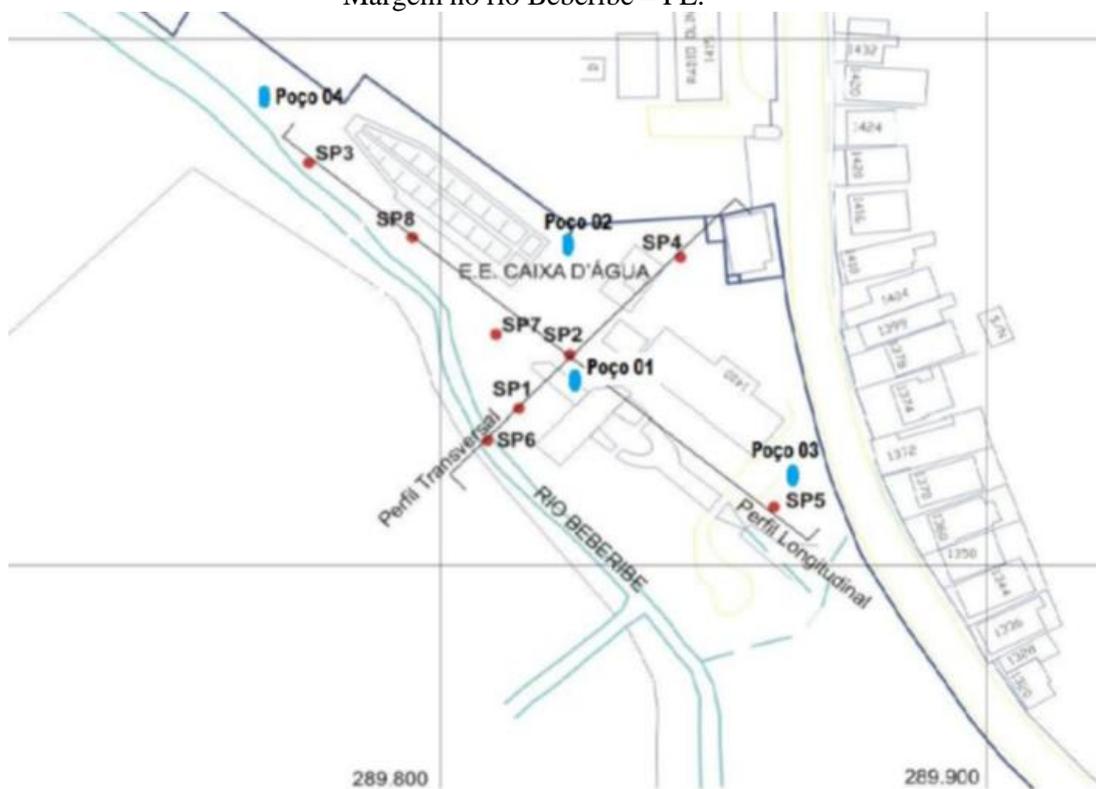
4. Filtração em Margem em Pernambuco

Diante da importância da técnica e da necessidade de obtenção de conhecimento sobre novas alternativas para o tratamento de água, em 2007, a UFPE iniciou seus trabalhos sobre Filtração em Margem, em parceria com a COMPESA, como um potencial método de tratamento de água em Pernambuco. Assim, foi implantada a primeira estação experimental de FM no estado, na Estação Elevatória de Caixa d'Água, em Olinda, às margens do Rio Beberibe. Várias pesquisas foram realizadas ao longo dos anos até então (PAIVA et al., 2010; DEMÉTRIO et al., 2013; VERAS et al., 2014; FREITAS et al., 2015; VERAS et al., 2016 ; FREITAS et al., 2017; VERAS et al., 2017; FREITAS, 2018).

Desde a sua implantação, foram construídos poços de observação, que são utilizados para o monitoramento piezométricos em diversos pontos da Estação Elevatória de Caixa d'Água, e poços de produção, que são os poços onde são instaladas as bombas. A Figura 3 apresenta a configuração completa dos poços de observação e de produção na estação experimental às margens do rio Beberibe-PE.

Os poços de observação (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6, SP7 e SP8) foram implantados a partir do aproveitamento dos furos de sondagens feitos para a investigação do subsolo no local com 20 metros de profundidade. Os poços de produção foram construídos com diâmetro de 150mm, profundidade de 15 metros e filtro entre 6 e 12 metros (PAIVA, 2009).

Figura 3 – Localização dos poços de observação e de produção na área experimental de Filtração em Margem no rio Beberibe – PE.



Fonte: Albuquerque (2015)

Paiva (2009) fez análises hidrogeológicas para a escolha do local de implantação da técnica em Pernambuco. Foi avaliado o desempenho da técnica nas condições locais e constatou o seu bom funcionamento, afirmando a sua capacidade de utilização como forma de tratamento de água para abastecimento urbano (PAIVA, 2009; PAIVA et al., 2010).

Demétrio et al. (2013) estudaram as características hidrogeológicas das aluviões do rio Beberibe, onde constataram que o rio tem comportamento efluente quando as bombas não estão funcionando. Além disso, foi visto que apesar das aluviões às margens do rio serem aquíferos rasos, estes são confinados com recarga linear ao longo do rio durante o bombeamento (DEMÉTRIO et al., 2013).

A zona hiporreica do rio Beberibe também foi estudada em seus aspectos físicos e biológicos, utilizando ensaios de infiltração e granulométricos e a caracterização biológica através de investigação da meiofauna hiporreica. Foram feitas análises qualitativas que reforçaram os resultados satisfatórios da técnica. (ALBUQUERQUE et al., 2014; VERAS et al., 2014; VERAS et al., 2016; VERAS et al., 2017; FREITAS, 2018).

No rio Beberibe, constatou-se a presença de micro-organismos patogênicos como *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. A FM foi eficiente na remoção destes protozoários. Assim, não foi identificada nenhuma forma de parasita patogênico de veiculação hídrica nos poços de produção (FREITAS et al., 2015; FREITAS et al., 2017).

Santos et al. (2014) pioneiramente fizeram estudos sobre a FM fora do projeto-piloto do rio Beberibe em Pernambuco. O objeto de seu estudo foi a implantação de um sistema de FM no agreste pernambucano, no reservatório de Mundaú, localizado no município de Garanhuns-PE. Este reservatório se encontrava bastante poluído e eutrofizado e a técnica de filtração em margem apresentou resultados bastante positivos, eliminando as cianobactérias presentes no reservatório e melhorando a qualidade físico-química da água. Mas, houveram problemas com a concentração de ferro, devido a teores já presentes no solo.

Guedes et al. (2018) compararam os dados de concentração de ferro na água produzida pelo sistema de FM em Garanhuns-PE com o de Ituporanga-SC. Em ambos os sistemas as concentrações de ferro na água de FM foram superiores às da água do manancial superficial. Foi constatado que, apesar do solo da região do agreste pernambucano se caracterizar por possuir uma menor quantidade de ferro em relação à região onde se localiza a cidade catarinense, foi observado uma concentração maior de ferro na água obtida em Garanhuns-PE, indicando que neste sistema houve uma maior transferência de ferro do aquífero para água durante o processo de FM.

5. Considerações Finais

Diante de todos os resultados positivos em vários locais do mundo obtidos através da técnica de Filtração em Margem apresentados neste artigo, fica evidente a sua importância como um bom método alternativo para o tratamento de água para abastecimento, levando em consideração os seus aspectos econômicos e qualitativos.

Além destes dois aspectos, a utilização da FM tem apresentado forte influência positiva sobre aspectos sociais, sobretudo em países em desenvolvimento, que devido à facilidade de implantação e do menor custo envolvido nesta técnica, resulta em um maior acesso à água de boa qualidade em comunidades menos favorecidas.

As pesquisas a respeito da FM já realizadas no Brasil, e especialmente em Pernambuco, são muito importantes para a comprovação da eficácia desta técnica na remoção de contaminantes, assim como, para dar informações que aprofundem o conhecimento sobre a FM considerando as características locais.

Desta maneira, a FM mostra-se como uma alternativa mundialmente comprovada para o tratamento de água. É necessário, porém, a continuação das pesquisas sobre o tema tendo por objetivo contribuir para um melhor desenvolvimento desta técnica, buscando bons resultados a fim de oferecer à população do Brasil e do mundo um melhor acesso à água de boa qualidade.

6. Agradecimentos

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro e a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) pela colaboração e parceria nas pesquisas sobre a Filtração em Margem realizadas em Pernambuco pelo Grupo de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco).

7. Referências

ALBUQUERQUE, T.B.V. **Caracterização física e biológica da Zona Hiporreica na interação rio-aquífero no Rio Beberibe – Pernambuco**. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2015.

ALBUQUERQUE, T. B. V.; CABRAL, J.J.S.P. ; PAIVA, A.L.R. ; BARCELLOS, R. L. ; FREITAS, D.A.

Uso do infiltrômetro de cilindro na investigação do fluxo vertical de água na zona hiporreica: estudo de caso no rio Beberibe- PE. **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Porto Alegre, RS. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal - RN. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2014. p. 1-10.

BLAVIER, J.; VERBANCK, M.A.; CRADDOCK, F.; LIÉGEOIS, S.; LATINIS, D.; GARGOURI, L.; RUA, G.F.; DEBASTE, F.; HAUT, B. Investigation of Riverbed Filtration Systems on the Parapeti River, Bolivia. **Journal of Water Process Engineering**, v.1, p27-36, 2014.

BOVING, T.B. CHOUDRI, B.S. CADY, P. CORDING, A. PATIL,K. REDDY, V. Hydraulic and Hydrogeochemical Characteristics of a Riverbank Filtration Site in Rural India. **Water Environment Research**, v. 86, n. 7, p. 636-648, 2014.

CAMPOS, L.P.S. **Filtração em Margem no tratamento de água: avaliação da aplicação da técnica no manancial da lagoa do Peri, Santa Catarina, e análise prévia de viabilidade de aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul**. Universidade Federal de Santa Catarina, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso, 2012.

DEMÉTRIO, J.G.A.; PAIVA, A.L.R.; FREITAS, D.A.; CABRAL, J.J.S.P. Características hidrogeológicas das aluviões do rio Beberibe na área da bateria de poços no bairro de Caixa D'água, Olinda-PE. **Águas Subterrâneas**, v.27, p.111-126, 2013.

ESQUIVEL, L.; PIZZOLATTI, B.; SENS, M. Tratamiento de agua potable por filtración inducida em uma laguna costera em el sur de Brasil. In: ROMERO, L; SEGALLA, B; LUIZ, M. **Tecnología en Marcha**. v. 25, n 4, p.23-32, 2012.

FREITAS, D. A. **Uso da técnica de filtração em margem para remoção de cryptosporidium spp. e giardia spp. e outros micro-organismos patogênicos no rio Beberibe – Pernambuco**. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado, Recife – PE , 2014.

FREITAS, D.A.; PAIVA, A.L.R.; CARVALHO FILHO, J.A.A.; CABRAL, J.J.S.P.; ROCHA, F.J.S. Occurrence of Cryptosporidium spp., Giardia spp. And other pathogenic intestinal parasites in the Beberibe River in the State of Pernambuco, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 48, p. 220-223, 2015.

FREITAS, D.A.; CABRAL, J.J.S.P.; ROCHA, F.J.S.; PAIVA, A.L.R.; SENS, M.L.; VERAS, T.B.A. Cryptosporidium spp. and Giardia spp. Removal by bank filtration at Beberibe river, Brazil. **River Research and Applications**, v. 33, p. 1-9, 2017.

FREITAS, J.B.A. **Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos**. Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Recife – PE, 2018.

GUEDES, T.L.; MICHELAN, D.C.; SANTOS, L.L.; PAIVA, A.L.R.; BURGARDT, T.; CABRAL, J.J.S.P.;

DALSASSO, R.L.; SENS, M.L. Occurrence of iron in bank filtration wells: case studies in Ituporanga (SC) and Garanhuns (PE). **Desalination and Water Treatment**, v. 101, p. 170-177, 2018.

HU, B.; TENG, Y.; ZHAI, Y.; ZUO, R.; LI, J.; CHEN, H. Riverbank Filtration in China: A Review and Perspective. **Journal of Hydrology**, v. 541, Part B, p. 914-927, 2016.

HUNT, H. American Experience in Installing Horizontal Collector Wells. In: RAY, C. MELIN, G. LINSKY, R. **Riverbank Filtration: Improving Source- Water Quality**. Water Science and Technology Library. 2003

LEE, S.I.; LEE, S.S. Development of site suitability analysis system for riverbank filtration. **Water Science and Engineering**, v. 3, n. 1, p.85-94, 2010.

MIN, L.; JINJIE, Y.; CHANGMING, L.; ZHU, J.; WANG, P. The Spatial variability of streambeds vertical conductivity in an intermitente river, northwestern China. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, p. 873-883, 2013.

MUSTAFA, S.; BAHAR, A.; AZIZ, Z.A.; SURATMAN, S. Modelling contaminant transport for pumping wells in riverbank filtration systems. **Journal of Environmental Management**, v.165, p.159-166, 2016.

PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J.J.S.P.; DEMÉTRIO, J.G.A.; SOBRAL, M.C.M. Filtração em Margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água – Estudo de caso: Rio Beberibe. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 24, n.1, p. 103-114, 2010.

PAIVA, A. L. R. **O processo de Filtração em Margem e um Estudo de Caso no rio Beberibe**. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2009.

PARIMALARENGANAYAKI, S.; BRINDHA, K.; SANKARAN, K.; ELANGO, L. Effect of recharge from a check dam and river bank filtration on geochemical and microbial composition of groundwater. **Saudi Society for Geosciences**, v. 8, n. 10, p. 8069-8076, 2015.

PHOLKERN, K.; SRISUK, K.; GRISCHEK, T.; SOARES, M.; SCHAFFER, S.; ARCHWICHAI, L.; SARAPHIROM, P.; PAVELIC, P.; WIROJANAGUD, W. Riverbed clogging experiments at potential river bank filtration sites along the Ping River, Chiang Mai, Thailand. **Environmental Earth Sciences**, v.73, p.7699-7709, 2015.

RAY, C. GRISCHEK, T. SCHUBERT, J. WANG, J. SPETH, T. A perspective of riverbank filtration. **American Water Works Association Journal**, v.94, n.4, Technology Collection, p. 149, 2002.

RAY, C. Riverbank filtration: Understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal. NATO Science Series. IV Earth and Environmental Sciences – v. 14, 2002.

ROCHA, S.; MARQUES, E. Caracterização Hidrogeológica de um Sistema de Filtração em Margem de Lago. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v.38, n.1, p.133-141, 2016.

ROMERO, L.; PIZZIOLATTI, B.; SOARES, M.; MICHELAN, D.; SENS, M. Bank filtration: Application in rural areas. Case studies in Santa Catarina, Brazil. **21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment 2010**; Guacimo; Costa Rica; 21 February, 2010.

SAHOO, G.B.; RAY, C; WANG, J.Z.; HUBBS, S.A.; SONG, R.; JASPERSE, J.; SEYMOUR, D. Use of artificial neural networks to evaluate the effectiveness of riverbank filtration. **Water Research**, v.39, p. 2505-2516, 2005.

SANDHU, C.; GRISCHEK, T.; KUMAR, P.; RAY, C. Potential for riverbank filtration in India. **Clean Technologies & Environmental Policy**, v. 13, n.2, p.295-316, 2011.

SANTOS, L.L.; CABRAL, J.S.P.; CIRILO, J.A.; FREITAS, D.A.; SENS, M.L.; ARAGÃO, R.; BARROS, T.H. Aplicação da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 49-58, 2014.

SCHMIDT, C.K.; LANGE, F.T.; BRAUCH, H.; KÜHN, W. **Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany**. TWZ-Report. DVGW – Water Technology Center (TZW), Germany. 2003.

SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. **Filtração em margem**. In: Pádua, V. L. (coord). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES- Prosab 4, p.173-236, 2006.

SHAMRUKH, M.; ABDEL-WAHAB, A. Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.10, n. 4, p. 351–358, 2008.

SHAMRUKH, M.; ABDEL-WAHAB, A. Water Pollution and Riverbank Filtration for Water Supply Along River Nile, Egypt. In: RAY, C.; SHAMRUKH, M. **Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries**. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Cap. 2. 2011.

SHAMSUDDIN, M.K.N.; SURATMAN, S.; ZAKARIA, M.P.; ARIS, A.Z.; SULAIMAN, W.N. Using particle tracking as a tool sustainable bank infiltration techniques: a case study in an alluvial área. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, n. 3, p.1571-1590. 2015.

TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; ELIMELECH, M. Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. **Environmental Science & Technology**. Colorado, USA, v. 36, n. 21, p. 423-428, 2002.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **United Water in a Changing World, The United Nations World Water Development Report 3**, World Water Assessment Programme. Istanbul, Turkey. 2009.

VERAS, T. B.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; BARRETO, A. F. S., Interação rio-aquífero e a meiofauna do ambiente hiporreico. **Águas Subterrâneas**, v.31, n. 1, p.20-35, 2017.

VERAS, T.B. ; CABRAL, J. J. S. P. ; PAIVA, A. L. R.; BARCELLOS, R.L. Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco State (Brazil). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, p. 674-684, 2016.

WANG, L.; SONG, J.; ZHANG, B.; GUO, H. Spatial and temporal variations of streambed vertical hydraulic conductivity in the Weihe River, China. **Water**, v. 8, n. 70, p. 1-16, 2016.