

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## FILTRAÇÃO INVERSA EM MARGEM APLICADA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE AMBIENTES AQUÁTICOS LÊNTICOS: AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA DE FILTRAÇÃO NO DESEMPENHO DE TRATAMENTO

\* Sergio Luiz Belló<sup>1</sup>  
Maurício Luiz Sens<sup>1</sup>  
Thyara Campos Martins Nonato<sup>1</sup>  
Augusto de Oliveira Neto<sup>1</sup>

## REVERSE FILTRATION IN THE MARGIN APPLIED FOR WATER TREATMENT OF LACTIC AQUATIC ENVIRONMENTS: EVALUATION OF THE DISTANCE OF FILTRATION IN THE TREATMENT PERFORMANCE

Recibido el 18 de agosto de 2020. Aceptado el 28 de enero de 2021

### Abstract

The aims of this study was to evaluate the filtration distance in an inverse riverbank filtration (IRB) system, used for the lentic environment water treatment. The system was applied in a full scale lake (volume of 2,156 m<sup>3</sup>) in southern Brazil. The treatment unit consists of four related stages, to the capture of water from the lake, followed by an infiltration ditch, from where the water seeps towards the lake, treating it by filtering the soil sediments and by the microbial action and a set of piezometers were installed to monitor flow and sample collection. During a period of 9 months, the classic parameters of water quality were monitored. The mean removal efficiency and average concentration was of 46.52% (134.09 – 71.71 mg L<sup>-1</sup>), 60.71% (57.94 – 46.83 mg L<sup>-1</sup>), 37.23% (6.3 – 3.98 mg L<sup>-1</sup>), 50.75% (4.65 – 2.29 mg L<sup>-1</sup>), 47.40% (2.70 -1.42 mg L<sup>-1</sup>), 90.81% (1.85 – 0.17 mg L<sup>-1</sup>) e 20 % (0.05 – 0.04 mg L<sup>-1</sup>) for TSS, COD, TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TP, IR and Mn, respectively. Moreover, the results showed that the treatment performance increased significantly as the filtration distance increased and Denitrification was the main mechanism associated with the removal of de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**Keywords:** bank filtration, filtration distance, pollutant, removal, denitrification, nitrogen series.

<sup>1</sup>Laboratório de Potabilização das Águas, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil.

\* Autor correspondente: Laboratório de Potabilização das Águas, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Universitário, Centro Tecnológico, Florianópolis, Santa Catarina. 88060-600, Brasil.

Email: [bellojba@hotmail.com](mailto:bellojba@hotmail.com)

## Resumo

Esse estudo avaliou a distância de filtração em um sistema de filtração em margem inversa (FMI) empregado para o tratamento de água de um ambiente lêntico. O sistema foi empregado em escala real em um lago (volume de 2.156 m<sup>3</sup>) no sul do Brasil. A unidade de tratamento consistiu em quatro etapas relacionadas, primeiramente com a captação de água do lago, seguido de uma vala de infiltração, de onde a água escoava em direção ao lago, tratando por filtração nos sedimentos do solo e pela ação microbiana e um conjunto de piezômetros foi instalado para o monitoramento do escoamento e coleta de amostras. Durante um período de 9 meses foram monitorados os parâmetros clássicos de qualidade de água. Identificou-se uma eficiência de remoção e concentração média na ordem 46.52% (134.09 – 71.71 mg L<sup>-1</sup>), 60.71% (57.94 – 46.83 mg L<sup>-1</sup>), 37.23% (6.3 – 3.98 mg L<sup>-1</sup>), 50.75% (4.65 – 2.29 mg L<sup>-1</sup>), 47.40% (2.70 -1.42 mg L<sup>-1</sup>), 90.81% (1.85 – 0.17 mg L<sup>-1</sup>) e 20 % (0.05 – 0.04 mg L<sup>-1</sup>) para SST, DQO, NT, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PT, Fe e Mn, respectivamente. Além disso, os resultados mostraram que o desempenho de tratamento aumentou significativamente ao longo da distância de filtração e a desnitrificação foi o principal mecanismo associado a remoção de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**Palavras chave:** filtração em margem, distância de filtração, remoção de poluentes, desnitrificação, série nitrogenada.

## Introdução

Em países tropicais corpos hídricos como rios, lagos e mares sempre tiveram múltiplas funções, atuando como meio de transporte, na produção de alimentos, e também sendo uma fonte direta para o abastecimento público (Blavuer *et al.*, 2014). No entanto, a urbanização e o desenvolvimento das cidades são fatos cada vez mais predominantes nesses locais. E nesse âmbito, essa dinâmica dificulta o gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente devido a demanda da água, tanto em termos de quantidade, como em qualidade (Shamsuddin *et al.*, 2013).

A poluição presente nos corpos hídricos superficiais reflete em características, as quais tornam o uso da água, indisponível não apenas para o abastecimento público, mas também para a qualidade dos ecossistemas aquáticos. A recuperação de um corpo hídrico além de melhorar a qualidade da água para que o ecossistema retorne ao seu equilíbrio inicial, é uma alternativa utilizada para recuperar o manancial a fim de utilizá-lo para o abastecimento público.

A recuperação e a renaturalização de rios e lagos é possível, embora na maioria das vezes com limitações, principalmente em locais onde não há áreas marginais disponíveis devido ao uso e ocupação, além dos custos econômicos, financeiros e sociais. Contudo, melhorias significativas podem ser obtidas através de novas técnicas da engenharia ambiental, tendo como ponto de partida ações estruturais e o pré-tratamento da água do corpo hídrico (Vanzela *et al.*, 2010).

Dentre as alternativas passíveis de serem utilizadas para melhorar a qualidade da água tem-se a filtração em margem (FM). Essa tecnologia pode ser um potencial sistema de tratamento ou pré-tratamento da água. O sistema de FM inclui a captação da água em poços específicos localizados nas margens dos corpos hídricos, os quais estão conectados hidráulicamente ao aquífero.

Durante a infiltração e transporte das águas superficiais para o poço, a qualidade da água melhora, principalmente, em relação a turbidez, cor, matéria orgânica natural, micropoluentes e organismos patogênicos (Romero-Esquivel *et al.*, 2017; Paiva *et al.*, 2010). Durante o período de passagem da água a ser tratada pela tecnologia de FM pelo solo, vários processos importantes ocorrem, os quais estão associados principalmente a filtração física, a sorção de compostos no meio filtrante, a troca catiônica gerando adsorção de íons, e também a degradação de poluentes por meio de rotas bioquímicas desempenhadas pelos microrganismos presentes no meio. A associação desses processos desencadeia um efetivo mecanismo de tratamento por meio de processos físicos químicos e biológicos melhorando consideravelmente a qualidade dos corpos hídricos. Além disso, a FM é considerada um sistema de baixo custo, quando comparado a outras tecnologias de tratamento, principalmente devido à ausência de necessidade de produtos químicos para a inativação de patógenos (Sens *et al.*, 2006; Paiva *et al.*, 2010).

Devido as diversas vantagens da utilização de FM para o pré-tratamento de abastecimento público, a possibilidade de utilizar a FM sobre uma nova estratégia operacional, e para uma nova finalidade apresenta-se como uma tecnologia emergente. Nesse sentido, realizar uma modificação na clássica tecnologia de FM, conhecida como filtração em margem inversa (FMI) pode ser uma interessante estratégia operacional, passível de realizar a recuperação de um corpo hídrico superficial através da interação entre o solo e os microrganismos presente no entorno do manancial.

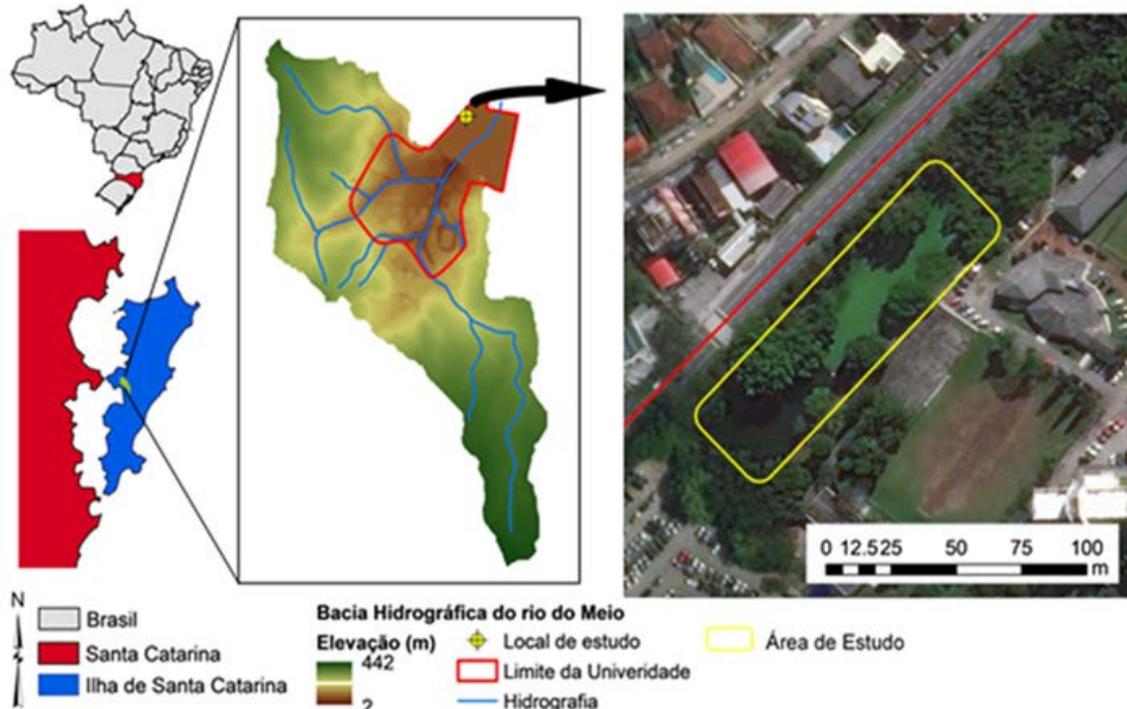
Na tecnologia de FMI utiliza-se o próprio sedimento da margem dor corpo hídrico como meio filtrante por onde a água do corpo hídrico será infiltrada, ocorrendo assim o processo de filtração. Posteriormente, a água será reconduzida novamente ao corpo hídrico superficial através da ação da gravidade pelo lençol freático, conforme as condições hidrogeológicas do local. Nesse sentido, a FMI surge como uma alternativa de pré-tratamento d'água, proporcionando a remoção de materiais em suspensão, microrganismos patogênicos, contaminantes químicos e biológicos, incorporados ao meio líquido realizando o processo de recuperação do corpo hídrico.

No entanto, assim como ocorre na tecnologia de FM, a distância em que a água a ser tratada é submetida ao processo de filtração, influência diretamente no processo de tratamento (Ray *et al.*, 2002). A distância do percurso de infiltração está diretamente relacionada com as condições redutoras e oxidativas do meio, a disponibilidade de carbono orgânico, bem como o tempo de detenção hidráulico (Masmamm *et al.*, 2008).

Apesar da grande importância da distância de percolação, pelo melhor do nosso conhecimento, atualmente a influência da distância de filtração nunca foi avaliada em sistemas tipo FMI. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar a distância de filtração em um sistema de FMI empregado para o tratamento de água de um ambiente lânticos, no sul do Brasil.

### Material e métodos

Esse estudo foi desenvolvido junto de um lago, classificado como lântico, localizado no sul do Brasil (27° 25' 44" S e 48° 31' 03" W). O lago possui um volume de 2.156 m<sup>3</sup> e está situado em um ambiente urbano junto a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (Figura 1).

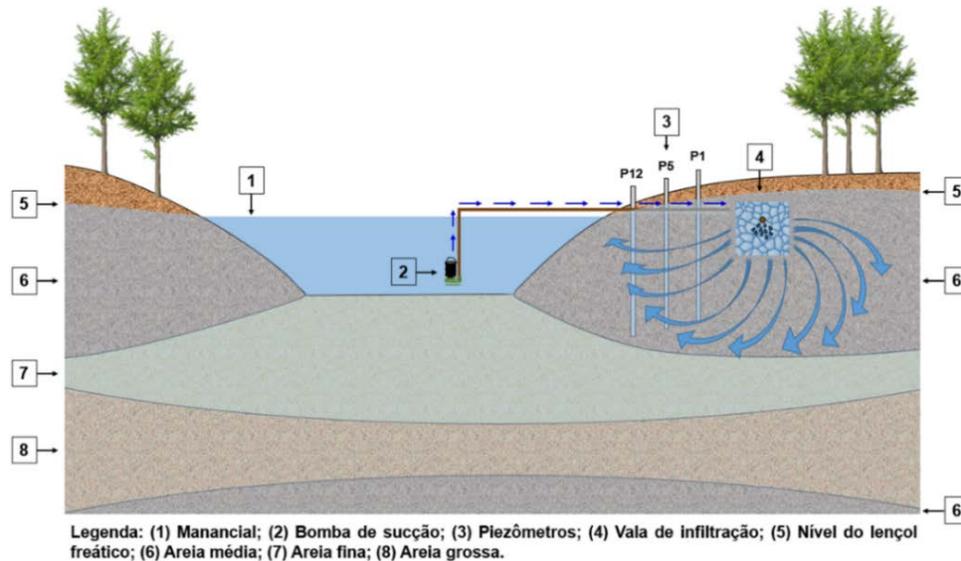


**Figura 1.** Localização da estrutura em estudo.

Fonte: elaborada pelos autores e imagem da área de estudo google maps.

### Descrição do sistema de filtração em margem inversa

A água superficial presente no lago foi coletada por um conjunto moto-bomba submersível (potência BCS-220 de 1/CV) fixada em uma estrutura metálica dentro do lago e foi conduzida por meio de uma tubulação subterrânea até uma vala de infiltração. Posteriormente ao processo de tratamento, a água retornou para o mesmo lago de onde foi coletada, por meio da gravidade do lençol freático (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema demonstrando o sistema de filtração em margem invertida.

Fonte: elaborada pelos autores.

A vala de infiltração possui uma sessão transversal de  $1 \text{ m}^2$  e comprimento de  $5 \text{ m}$ , com uma profundidade de  $1.6 \text{ m}$  da superfície, totalizando uma área útil de  $17 \text{ m}^2$ . Todo o perfil vertical e comprimento da vala foi preenchido com seixo rolado, com diâmetro médio de  $70 \text{ mm}$ , envolto de uma manta de geotêxtil a qual favoreceu o processo de infiltração da água. Ao longo de todo o comprimento da vala de infiltração foram instalados piezômetros, construídos seguindo recomendações da NBR 15495-1/2007, com a finalidade de monitorar a qualidade da água.

A alimentação da vala de infiltração foi realizada por meio de um sistema de alimentação com tubulações de PVC (diâmetro de  $32 \text{ mm}$ ), e para obter uma alimentação de forma homogênea ao longo do sistema, a entrada da distribuição foi projetada em um ponto mediano da vala de infiltração, ou seja, na metade da tubulação interna de drenagem, tendo  $2.5 \text{ m}$  para ambos os lados. Diariamente a vala de infiltração recebeu uma vazão de  $2500 \text{ L d}^{-1}$ , resultando assim, em uma taxa de aplicação de  $0.147 \text{ m}^3 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ .

#### Monitoramento do sistema de filtração em margem inversa

Durante o período do estudo (setembro/2019 a julho/2020) foi realizado o monitoramento físico, químico e biológico para identificar a qualidade da água tratada. As amostras foram coletadas em diferentes pontos do percurso ao longo do processo de filtração, representando diferentes distâncias de filtração. Nesse sentido, amostras foram coletadas em 4 pontos, sendo na entrada do sistema denominada água bruta junto ao lago, a uma distância de  $2 \text{ m}$  no piezômetro (P1), a  $5.5 \text{ m}$  no piezômetro (P5) e a  $8.0 \text{ m}$  no piezômetro (P12) todos os pontos ao longo do fluxo de filtração.

As coletas e análises seguiram uma frequência semanal e os parâmetros avaliados foram turbidez, cor verdadeira, cor aparente, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), potencial redox (Eh), sólidos suspensos totais (SST), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), nitrogênio amoniacal ( $N-NH_4^+$ ), nitrogênio nitrito ( $N-NO_2^-$ ), nitrogênio nitrato ( $N-NO_3^-$ ), fósforo total (PT), ferro (Fe) e manganês (Mn). Todas as análises foram realizadas seguindo recomendações de APHA (2017).

### Análises estatísticas

A normalidade dos dados referente a qualidade da água tratada foi verificada por meio do teste Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, identificando que a os dados apresentaram uma distribuição normal, uma análise de variância Anova foi aplicado para avaliar se ocorreu diferença estatística entre as diferentes distâncias do processo de filtração (2 m, 5.5m e 8m). Todas as análises foram conduzidas com um nível de significância de 0.05 e foram realizadas com o software Statistic 12.0.

### **Resultados e discussão**

Nas Tabelas 1 e 2 apresentam-se os valores médios e desvio padrão do desempenho de tratamento do sistema de FMI ao longo das diferentes distâncias de filtração avaliadas. Na Tabela 1 a uma distância de filtração de 2.0m, e na Tabela 2 a uma distância de filtração de 5.5m e 8.0m.

De forma geral, observou-se que maior distância de filtração promoveu um maior desempenho de tratamento para todos os parâmetros avaliados (Figura 3). Além disso, identificou-se diferença estatística ( $p < 0.05$ ) entre as diferentes distâncias para todos os parâmetros avaliados.

Remoções tanto de cor, como turbidez foram identificadas com o aumento da distância de filtração, resultados que veem de encontro com estudo da FM de (Guedes, 2018). Ao mesmo tempo, o mesmo comportamento foi identificado para SST nas pesquisas de (Michelan, 2010; Esquivel, 2012), onde a eficiência de remoção aumentou ao longo do percurso de infiltração (16.65%, 35.11% e 46.52% para 2 m, 5.5 m e 8 m, respectivamente), liberando a água tratada com concentrações na ordem de  $71.71 \text{ mg L}^{-1}$ , e também para a matéria orgânica carbonácea, em termos de DQO, onde remoções médias foram identificadas na ordem de 19.17%, 43.71% e 60.71% para 2 m, 5.5 m e 8 m, respectivamente, resultando em concentrações na ordem de  $22.76 \text{ mg L}^{-1}$ . Esses resultam na remoção (consumo de oxigênio) de DQO foram obtidos também por (Freitas, 2010) através da FM. (Tabelas 1 e 2) e (Figura 3).

**Tabela 1.** Valores médios e desvio padrão identificados para o sistema de filtração em margem invertida na distância de filtração de 2.0 m.

Parâmetros n=41	Água bruta	Distância 2.0 m	Eficiência média de remoção (%)
Turbidez (NTU)	22.37 (6.9)	19.95 (4.7)	10.81
Cor aparente (uH)	261.23 (77.9)	232.64 (68.4)	10.94
Cor verdadeira (uH)	37.33 (8.7)	29.19 (5.2)	21.80
pH*	6.54 (0.7)	6.30 (0.3)	-
OD*	3.76 (1.65)	1.00 (0.4)	-
Eh (mV)*	61.59 (5.7)	-123.21 (8.9)	-
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	134.09 (35.1)	111.76 (30.3)	16.65
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	57.94 (13.4)	46.83 (11.1)	19.17
NT (mg.L <sup>-1</sup> )	6.30 (2.83)	6.0 (10.4)	5.00
N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	4.65 (1.7)	3.57 (1.3)	23.22
N-NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0.05 (0.01)	0.05 (0.01)	NR
N-NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	1.37 (0.5)	1.22 (0.3)	10.94
PT (mg.L <sup>-1</sup> )	2.70 (0.5)	2.28 (0.4)	15.55
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	1.85 (0.4)	1.52 (0.5)	17.83
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	0.05 (0.01)	0.05 (0.01)	NR

NR=Não houve remoção; D.P.= Desvio padrão; n= número de amostras

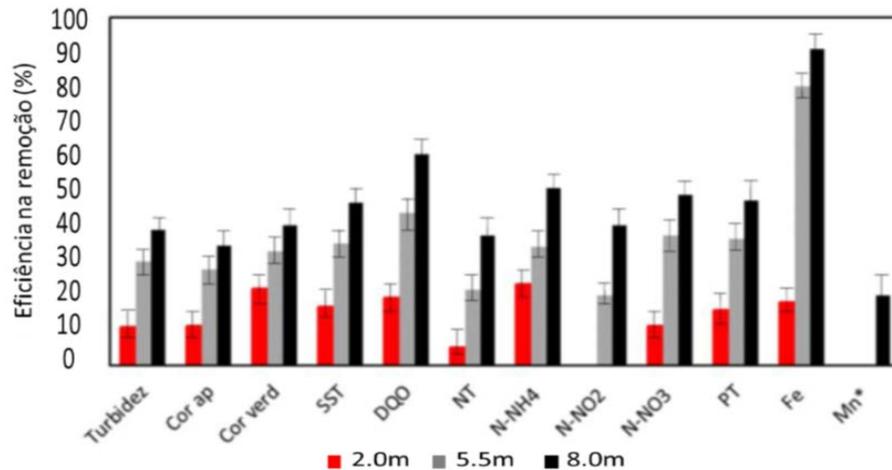
\* Não identificou-se diferença estatística entre os diferentes pontos coletados.

**Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão identificados para o sistema de filtração em margem invertida nas distâncias de filtração de 5.5 m e 8.0 m.

Parâmetros n=41	Água bruta	Distância 5.5 m	Eficiência média de remoção (%)	Distância 8.0 m	Eficiência média de remoção (%)
Turbidez (NTU)	22.37 (6.9)	15.68 (3.1)	29.90	13.67 (3.1)	38.89
Cor aparente (uH)	261.23 (77.9)	189.11 (28.8)	27.60	171.35 (28.6)	34.40
Cor verdadeira (uH)	37.33 (8.7)	25.16 (4.4)	32.60	22.38 (4.6)	40.04
pH*	6.54 (0.7)	6.42 (0.4)	-	6.32 (0.4)	-
OD*	3.76 (1.65)	1.10 (0.4)	-	1.55 (0.6)	-
Eh (mV)*	61.59 (5.7)	-135.80 (7.6)	-	-116.66 (8.3)	-
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	134.09 (35.1)	87.00 (23.3)	35.11	71.71 (19.1)	46.52
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	57.94 (13.4)	32.61 (9.6)	43.71	22.76 (9.4)	60.71
NT (mg.L <sup>-1</sup> )	6.30 (2.83)	5.01 (2.4)	21.7	3.98 (1.87)	37.23
N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	4.65 (1.7)	3.07 (1.3)	33.97	2.29 (1.1)	50.75
N-NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)	20.00	0.03 (0.01)	40.00
N-NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	1.37 (0.5)	0.86 (0.2)	37.22	0.70 (0.2)	48.90
PT (mg.L <sup>-1</sup> )	2.70 (0.5)	1.72 (0.4)	36.29	1.42 (0.4)	47.40
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	1.85 (0.4)	0.37 (0.1)	80.00	0.17 (0.08)	90.81
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	0.05 (0.01)	0.05 (0.05)	NR	0.04 (0.005)	20.00

NR=Não houve remoção; D.P.= Desvio padrão; n= número de amostras

\* Não identificou-se diferença estatística entre os diferentes pontos coletados.

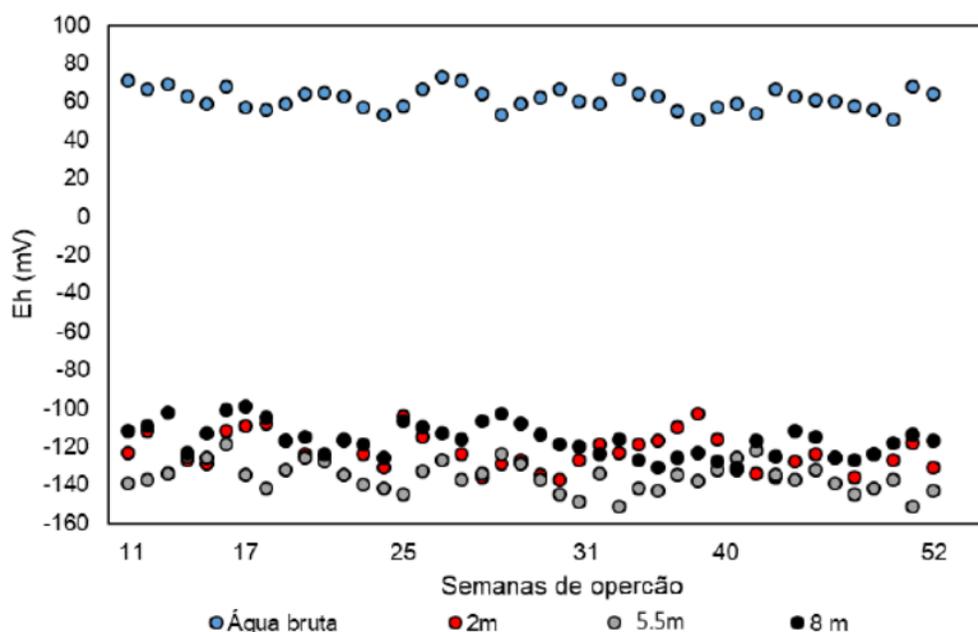


**Figura 3.** Desempenho de tratamento do sistema de filtração em margem inversa em diferentes distâncias de filtração. \*eficiências de remoção foram identificadas apenas a uma distância de 8 m

Os valores de pH mantiveram-se ligeiramente menores e estáveis ao longo de todo o percurso de infiltração em comparação com a água bruta, apresentando-se próximos da faixa da neutralidade, em todos os pontos avaliados ao longo do tempo (Tabelas 1 e 2), resultados equivalentes aos estudos de (Tyagi et al, 2013; Hamdam, Sensoy e Mansur, 2013; Blavier *et al.*, 2014; Guedes, 2018).

Como esperado foi identificada respiração anaeróbia devido ao comportamento dos valores de Eh onde foram caracterizados ambientes redutores predominantes (-123.21mV), (-135.80mV) e (-116.66mV) ao longo do percurso (Figura 4), ocorrendo condições redox proporcionado a biodegradação da matéria orgânica onde os microrganismos após consumirem oxigênio consomem outros receptores de elétrons NO<sub>3</sub>, Mn, Fe e Sulfato. Além disso, identificou-se um comportamento interessante para Fe e Mn. Um expressivo aumento de remoção de Fe foi identificado após uma distância de 2 m de filtração. As eficiências médias de remoções foram na ordem de 17.83% para 2 m, 80% para 5.5 m e 90.81% para 8 m de filtração. Em relação a Mg identificou-se remoção apenas aos 8 m de filtração (6%). Esse comportamento está diretamente atrelado as condições oxidativas e redutoras do ambiente. Se a água superficial tiver um baixo teor de oxigênio dissolvido, provavelmente durante a passagem subterrânea da água condições anaeróbias serão predominantes. Esse fator pode fazer com que o ferro e o manganês se tornem solúveis. Assim, esses elementos podem ser atraídos para o poço de águas subterrâneas (Shamsuddin *et al.*, 2013). Os resultados obtidos são semelhantes de (Esquivel, 2012) em estudo com a FM. A demais, é importante ressaltar também, a diminuição das concentrações de OD

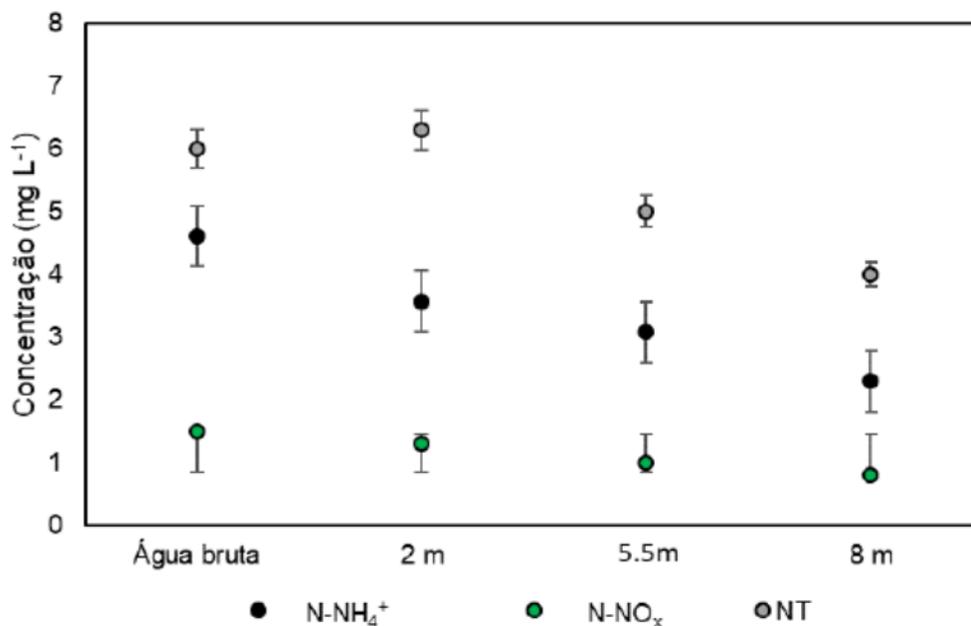
presente nas amostras coletadas em diferentes distâncias de filtração (1.0, 1.1, 1.5 mg L<sup>-1</sup> para 2 m, 5.5 m e 8 m respectivamente) quando comparado a água bruta (3.76 mg L<sup>-1</sup>); onde ocorre presença de oxigênio da água nos pontos de coletas devido o contato da interface água/atmosfera. Durante o percurso da água no manancial até o poço de FM, a concentração de OD tende a sofrer uma queda, pois o mesmo é consumido por bactérias aeróbias para degradação de matéria orgânica presente na água (Bourg e Bertin, 1993 Stuyfzand *et al.*, 2004) (Tabelas 1 e 2) e (Figura 3).



**Figura 4.** Valores de potencial redox (Eh) identificados na água bruta e em diferentes distâncias de infiltração ao longo do período monitorado.

Na Figura 5 apresenta-se os valores médios de concentração da série nitrogenada identificadas ao longo do percurso de filtração. A eficiência de remoção média de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi de 23.22%, 33.97% e 50.75% para 2 m, 5.5 m e 8m, respectivamente (Figura 3). Apesar de identificar um ligeiro aumento na eficiência de remoção de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com o aumento da distância de filtração, a produção de nitrogênio oxidado não aumentou ao longo do percurso, apresentando valores na ordem de 1.22, 0.86 e 0.70 mg L<sup>-1</sup> de N-NOX para 2 m, 5.5 m e 8 m, respectivamente. Esse comportamento mostrou que a nitrificação não foi o principal mecanismo associado a remoção de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Em sistemas tipo FM, comumente a remoção de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pode ser removida por meio do processo de adsorção no solo, sendo, portanto, um armazenamento temporário, até ocorrer a saturação do material filtrante (Abdalla *et al.*, 2016). Por outro Lado, a eficiência de remoção de NT

ligeiramente aumentou ao longo do percurso de infiltração (5%, 21% e 37% para 2 m, 5.5 m e 8m, respectivamente). Esses resultados indicam que o processo de desnitrificação ocorreu com o aumento da distância de filtração (Tabelas 1 e 2) e (Figura 3). Em um estudo conduzido em sistema FM, mostrou que devido as condições redutoras ao longo do percurso de filtração, associado da disponibilidade de carbono orgânico no meio, a desnitrificação se torna propícia com o aumento da distância (Massmann *et al.*, 2008).



**Figura 5.** Valores médios e desvio padrão da série nitrogenada identificada na água bruta e em diferentes distâncias de infiltração ao longo do período monitorado

Em relação ao PT, observou-se uma maior eficiência de remoção ao longo do percurso de filtração, especialmente após uma distância de 2 m (15%, 34% e 45% para 2 m, 5.5 m e 8 m, respectivamente), liberando a água tratada com concentrações média de PT de 1.43 mg L<sup>-1</sup> (Tabelas 1 e 2) e (Figura 3). Esses resultados são semelhantes aos resultados no estudo de Paiva (2009) para a FM.

### Conclusões

Baseado no monitoramento realizado ao longo de 9 meses da distância de filtração de um sistema de filtração em margem inversa, empregada para o tratamento de água de um lago em escala real, conclui-se que:

- As eficiências na remoção de todos os poluentes aumentaram com a maior distância de filtração. Além disso observou-se um aumento significativo de remoção de matéria, material particulado e nutrientes após 2 m de filtração;
- A predominância de condições redutoras associado da disponibilidade de matéria orgânica carbonácea ao longo de todo o percurso de filtração favoreceu o processo de desnitrificação. A desnitrificação foi o principal mecanismo associado a remoção de  $\text{N-NH}_4^+$ .
- A remoção de manganês ocorreu apenas aos 8 m de filtração.

### Referências bibliográficas

- Abdalla, F., Shamrukh, M. (2016) Quantification of River Nile/Quaternary aquifer exchanges via riverbank filtration by hydrochemical and biological indicators, Assiut, Egypt. *Journal of Earth System Science*, **125**(8), 1697-1711.
- APHA, American Public Health Association (2017) *Standard methods for examination of water and wastewater*, 23a ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, 1496 pp.
- ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas (2008) NBR 15495-1/08: *Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares*, Rio de Janeiro, 24 pp.
- Blavier, J., Verbancj, M. A., Craddock, F., Loégeois, S., Latinis, D., Gargouri, L., Flores Rua, G., Debaste, F., Haut, B. (2014) Investigation of riverbed filtration systems on the Parapeti river, Bolívia, *Journal of Water Process Engineering*, **1**, 27-36.
- Bourg, A. C. M., Bertin, C. (1993) Biogeochemical processes during the infiltration of river water into na aluvial aquifer, *Environmental Science Technology*. **27**, 661-666.
- Esquivel, L. G. R. (2012) *Remoção de matéria orgânica natural e precursors de trialometanos por filtração em margem na Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil*, Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 246 pp.
- Freitas, D. A. de (2010) *O emprego da técnica de filtração em margem para tratamento de água no rio Beberibe, região metropolitana do Recife*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 132 pp.
- Guedes, T. L. (2018) *Avaliação do desempenho de um sistema de filtração em margem de rio com bombeamento fotovoltaico*, Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 207 pp.
- Hamdam, A. M., Sensoy, M. M., Mansour, M. S. (2013) Evaluating the effectiveness of bank infiltration process in New Aswan, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*. **6**, 4155-4165.
- Massmann, G., Nogeitzig, A., Taute, T., Pekdeger, A. (2008) Seasonal and spatial distribution of redox zones during lake bank filtration in Berlin, Germany. *Environmental Geology*, **54**, 1, 53-65. <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-007-0792-9>
- Michelan, D. C. G. Dos S. (2010) *Filtração Em Margem De Rio Precedendo a Filtração Lenta, Para Remoção de Carbofurano, em Tratamento de Água Para Consumo*, Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 312 pp.
- Paiva, A. L. R. (2009) *O processo de filtração em margem e um estudo de caso no rio Beberibe*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 151 pp.

- Paiva, A.L.R., Cabral, J. J. S. P., DEMÉTRIO, J. G. A., SOBRAL, M. C. M. (2010) Filtração em margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água – estudo de caso: rio Beberibe, *Águas Subterrâneas*, **24**(1), 103-114.
- Ray, C., Soong, T. W., Lian, Y Q., Roadcap, G. S. (2002) Effect of flood-induced chemical load on filtrate quality at bank filtration sites, *Journal of Hydrology*, **266**(3-4) 235-258.
- Romero-Esquivel, L. G., Grischek, T., Pizzolatti, B. S., Mondardo, R. I., Sens, M. L. (2017) Bank filtration in a coastal lake in South Brazil; water quality, natural organic matter (NOM) and redox conditions study, *Clean Technologies and Environmental Policy*, **19**(8), 2007-2020.
- Sens, M. L., Dalsasso, R. L., Mondardo, R. I., Melo Filho, L. C. (2006) *Filtração em Margem. In: Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento da água para consumo humano. PROSAB 4, ABES, Rio de Janeiro*, **1**(5), 173-236.
- Shamsuddin, M. K. N.; Sulaiman, W. N. Az., Suratman, S., Zakaria, M. P., Samding, K. (2013) Conjunctive use of surface water and groundwater via the bank infiltration method, *Arabian Journal Of Geosciences*, **7**(9) 3731-3753. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-013-1036-9>
- Stuyfzand, P., Juhász-Holterman, M., Lange, W. (2004) Riverbank filtration in Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions, *NATO Advanced Research Workshop: Clogging in Riverbank Filtration*, Bratislava.
- Tyagi, S., Dobhal, R., Kimothi, P. C., Adlakha, L. K., Singh, P., Uniyal, D. P. (2013) Studies of River Water Quality Using River Bank Filtration in Uttarakhand, India, *Water Quality, Exposure and Health*, **5**, 139-148.
- Vanzela, L. S., Hernandez, F. B. T., Franco, R. A. M. (2010) Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **14**, 55-64.