



## Tratamento solo aquífero de efluente de lagoa de polimento como alternativa ao reuso agrícola

## Soil aquifer treatment of polishing pond effluent as an alternative to agricultural reuse

Wilza Lopes da Silva<sup>a</sup>, Antonielly dos Santos Barbosa<sup>b</sup>, Gleydson Kleyton Moura Nery<sup>a</sup>, Janiele França Nery<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional do Semiárido-INSA. Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n, Serrotão, Campina Grande, Paraíba, Brasil. CEP: 58434-700. E-mail: [wilza.lopes@insa.gov.br](mailto:wilza.lopes@insa.gov.br), [gleydson.kleyton@gmail.com](mailto:gleydson.kleyton@gmail.com), [janele.biologa@gmail.com](mailto:janele.biologa@gmail.com).

<sup>b</sup> Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. Rua Aprígio Veloso, n. 882, Bairro Universitário, Campina Grande, Paraíba, Brasil. CEP: 58428-830. E-mail: [antoniellybarbosa@yahoo.com.br](mailto:antoniellybarbosa@yahoo.com.br).

### ARTICLE INFO

Recebido 05 Out 2021

Aceito 03 Dez 2022

Publicado 21 Dez 2022

### ABSTRACT

The treatment of effluents for agricultural reuse is a sustainable alternative, as it provides a perennial source of water and nutrients, in addition to promoting the qualitative and quantitative protection of water resources. The Soil Aquifer Treatment (TSA) in basins or infiltration channels allows the treatment through the passage of effluent in the soil, with the removal of organic matter, pathogens, and other compounds harmful to crops. Therefore, the objective of this work was to evaluate the treatment of effluents from polishing ponds in TSA systems, to improve the quality of the effluent to be used in irrigation. For this, an infiltration column filled with sand, previously characterized, by a volume of 7.85 L and a height of the filter medium of 80 cm was used. Daily, the effluent from the lagoon was evenly distributed in the upper part of the infiltration column, and the filtered effluent was collected in the lower part. As a result, organic matter removals of 61% and 72% were obtained, for Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD), respectively, with a 53% reduction of suspended material, nutrient conservation, and sanitary quality meeting the criteria established by WHO 2006. The TSA system showed improvements in the quality of the effluent from the lake, making it a viable and safe alternative for water reuse in agricultural practices.

**Keywords:** Infiltration columns, irrigation, nutrients, preservation.

### RESUMO

O tratamento dos efluentes para o reuso agrícola é uma alternativa sustentável, uma vez que fornece uma fonte perene de água e nutrientes, além de promover a proteção quali-quantitativa dos recursos hídricos. O Tratamento Solo Aquífero (TAS) em bacias ou canais de infiltração possibilita o tratamento através da passagem do efluente no solo, com remoção de matéria orgânica, patógenos e outros compostos prejudiciais às culturas. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar o tratamento de efluentes de lagoas de polimento em sistemas TAS, como forma de melhorar a qualidade do efluente para ser utilizado na irrigação. Para isso, foi utilizado uma coluna de infiltração preenchida de areia, caracterizada previamente, com volume de 7,85 L e altura do meio filtrante de 80 cm. Diariamente o efluente da lagoa foi distribuído de forma uniforme na parte superior da coluna de infiltração, e o efluente filtrado coletado na parte inferior. Como resultado foi obtido remoções de matéria orgânica de 61% e 72%, para Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), respectivamente, redução de 53% de material em suspensão, a conservação dos nutrientes e qualidade sanitária atendendo aos critérios estabelecidos pela OMS 2006. Desse modo, o sistema TAS apresentou melhorias na

---

qualidade do efluente da lagoa, tornando-se uma alternativa viável e segura para reuso de água nas práticas agrícolas.

**Palavras-Chave:** Colunas de infiltração, irrigação, nutrientes, preservação.

---

## Introdução

O planejamento de projetos para tratamento e reuso de esgoto está aumentando, especialmente nos países em desenvolvimento. Para esse efeito, essas águas estão ganhando força como uma fonte alternativa confiável, mudando o método de gestão de tratamento e descarte para reutilização, reciclagem e recuperação de recursos. Em muitos países, é possível observar a implementação de tratamento e reuso de águas residuárias domésticas para superar a escassez de abastecimento de água, distribuição desequilibrada, poluição e outras deficiências relacionadas com a disponibilidade de água (Faria et al., 2020; Nguyen et al., 2020).

Tecnologias inovadoras de gestão da água como o armazenamento de água tratada em sistemas de gestão de recarga de aquíferos, podem aumentar consideravelmente a disponibilidade de águas subterrâneas e, portanto, contribuir no enfrentamento dos desafios da escassez de água. Além disso, a qualidade da água pode ser melhorada durante o processo de infiltração na zona vadosa e saturada, através de sistemas de tratamento de solo-aquífero, como resultado de reações químicas e biológicas, promovendo a associação entre o paradigma do tratamento e reutilização da água com a gestão de recursos hídricos (Hohne et al., 2021).

A recarga gerenciada de aquíferos inclui um conjunto de métodos com o objetivo de manter, melhorar e proteger os sistemas de água subterrânea sob estresse. Especialmente em regiões áridas ou regiões semiáridas onde a recarga natural muitas vezes não é suficiente para atender a demanda local de água, levando a superexploração dos recursos hídricos subterrâneos e, como consequência, a diminuição dos lençóis freáticos e aumento da salinização. A recarga gerenciada de aquífero pode ser usada em combinação com outras técnicas de gestão de águas, como reciclagem de águas residuárias, coleta de águas pluviais, intrusão salina de águas subterrâneas e gestão e mitigação de enchentes (Bouwer, 2002; Ringleb, Sallwey & Stefan, 2016).

Dentre os processos de recarga gerenciada de aquífero, os mais comuns e econômicos são os sistemas de Tratamento de Aquífero do Solo (TAS), como por exemplo lagoas e/ou bacias de infiltração, inundação controlada, excesso de irrigação. Os custos associados aos sistemas TAS são, em média, 40% menor que os outros sistemas de tratamento convencionais operando na

superfície. As lagoas ou bacias de infiltração mais populares são lagoas escavadas no solo ou em terreno aberto cercado por um banco que armazena a água a ser recarregada, visando a infiltração da água através de solos permeáveis. Esses métodos são normalmente aplicados em aquífero não confinado na superfície do solo (Barbosa & Mattos, 2008; Zhang et al., 2020).

É importante ressaltar, que a utilização do solo para tratamento de propicia um tratamento in situ, o que depende do tipo e características do efluente, para assim eliminar a necessidade de sistemas de tratamento avançados. Nos sistemas TAS são envolvidos processos físicos, químicos e biológicos, que promovem a remoção e/ou redução dos diversos poluentes. Na passagem do efluente, ocorre a precipitação física das partículas suspensas, que se acumulam nas paredes dos poros, reduzindo assim a permeabilidade do meio. Efluentes com grandes quantidades de sólidos podem dificultar o desempenho do tratamento, por promover o entupimento. Desse modo, também ocorre como resultado, a dissolução, precipitação e outros processos de reação, que pode promover alterações na qualidade do efluente, que ocasiona o tratamento do mesmo, ou também a formação de precipitados químicos que podem acarretar em entupimento. Paralelamente também ocorre os processos biológicos um dos principais responsáveis pelo tratamento e melhoria da qualidade do efluente; nesse tratamento ocorre a formação de um biofilme que é composto de comunidades microbianas, que degradam materiais presentes no efluente para obtenção de fonte de alimento e energia (Zhang et al., 2020).

Nesse contexto, estudos e pesquisas passaram a se difundir sobre os sistemas de TAS, sendo bastante empregados em Israel, tendo primeiro sido instalado em 1977 na bacia de infiltração de Soreq (Mienis & Arye, 2018). Esses sistemas proporcionam melhorias a qualidade das águas de estação de tratamento municipais, sendo uma fonte alternativa para a irrigação agrícola. Além disso, remove com eficiência microrganismos, sólidos em suspensão, matéria orgânica, entre outros constituintes. Promovendo assim, o armazenamento de água subterrânea para superar o desequilíbrio temporal entre a água local demanda e disponibilidade garantindo assim a água para irrigação em qualquer época do ano (Dillon, 2005; Mienis & Arye, 2018).

Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar o tratamento de efluentes de lagoas de polimento em

TAS, como forma de melhorar a qualidade do efluente para ser utilizado na agricultura.

**Material e Métodos**

A pesquisa foi realizada no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado na cidade de Campina Grande, Paraíba, com

coordenadas geográficas de 7°15'08.90"S e 35°56'44.56"O. O experimento foi desenvolvido em três etapas, que contempla a estruturação do sistema experimental, as condições operacionais do sistema TAS e o monitoramento da eficiência do sistema (Figura 1).

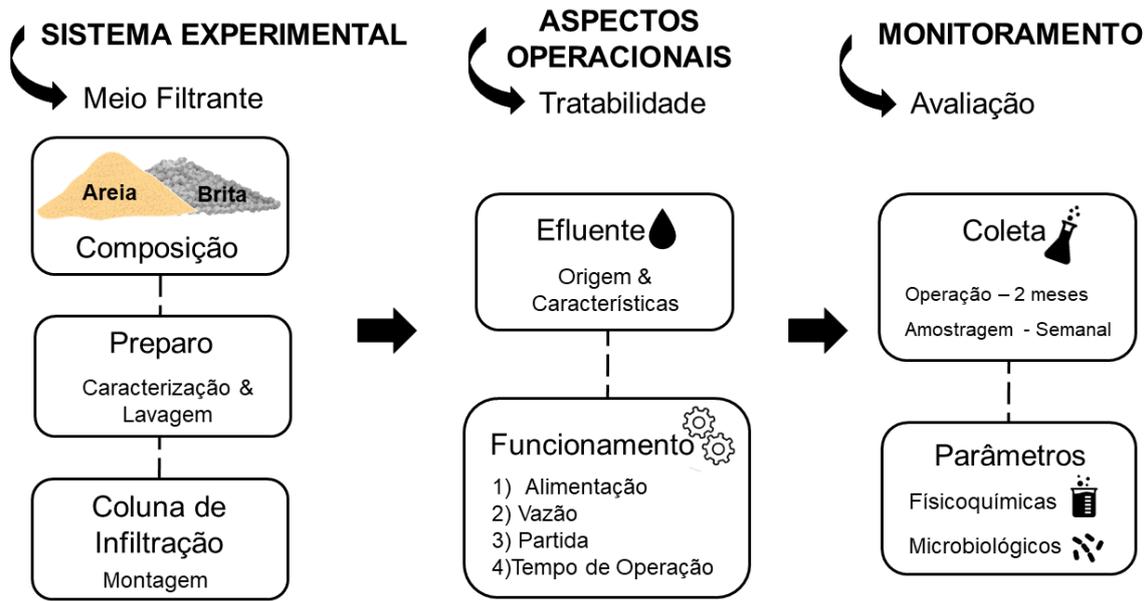


Figura 1. Etapas metodológicas do estudo. Fonte: Lopes et al. (2021).

*Sistema experimental*

A coluna de infiltração foi construída em tubo PVC, de diâmetro de 50 mm, com altura de 1,5 metros. Seu interior foi preenchido com uma camada de brita, seguida de uma camada de areia, outra de brita e um camada livre (*headspace*) para o preenchimento com o efluente da lagoa para ser tratado (Figura 2).

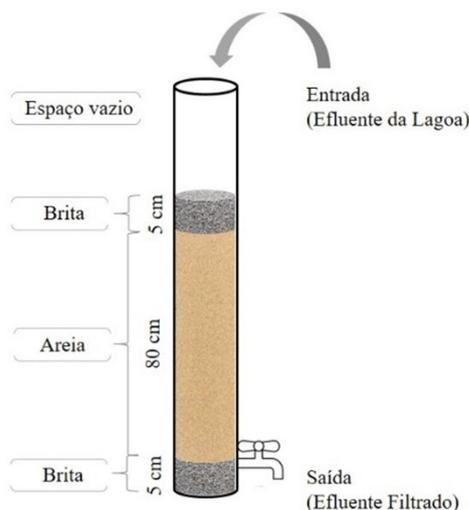


Figura 2. Coluna de infiltração para simular o sistema de Tratamento de Aquífero do Solo (TAS). Fonte: Lopes et al. (2021).

A areia e a brita foram previamente lavadas e secas; sendo ainda realizado a padronização da areia por meio da separação em peneira granulométrica de abertura de 2mm, sendo classificada como areia média conforme a ABNT NBR 6502/1993. A brita nº 2 foi utilizada na base inferior e superior do meio filtrante, para suporte e retenção dentro do sistema e para distribuição uniforme do efluente da lagoa, respectivamente.

*Aspectos operacionais*

O efluente (entrada) para tratamento no sistema TAS foi proveniente do sistema de tratamento de esgoto da sede do INSA que é constituído por taque séptico, reator UABS e lagoas de polimento. O efluente final desse sistema de tratamento apresenta concentrações de matéria orgânica e de nutriente, cor elevada e material em suspensão resultante das atividades biológicas do tratamento.

Para adequação e identificação de falhas operacionais, a coluna de infiltração foi submetida a um “pré-teste”, com distribuição de água na superfície do sistema, para remover impurezas retidas durante a sua montagem, bem como para uma avaliação da capacidade de infiltração do mesmo e determinar a vazão de tratamento do

sistema, sendo admitida uma vazão de 0,01 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>. Esse processo foi realizado durante duas semanas.

Após o pré-teste do sistema, ele foi alimentado diariamente com o efluente disposto no *headspace* da coluna de infiltração. Por gravidade, o efluente filtrado (saída) foi coletado usando uma torneira de passagem, e armazenado em balde, resultando em um volume de 10 L de efluente tratado diariamente. Esse procedimento foi realizado entre os meses de fevereiro e março de 2020.

#### Monitoramento

Para avaliação da eficiência do sistema TAS e da qualidade final do efluente foram realizadas durante os dois meses de operação, análises semanais da entrada (efluente da lagoa) e da saída (efluente filtrado) das variáveis demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos totais dissolvidos (STD), pH, turbidez, condutividade elétrica, amônia, fósforo e *Escherichia coli*, todos

segundo os métodos preconizados pelo APHA (2017).

#### Análise estatística

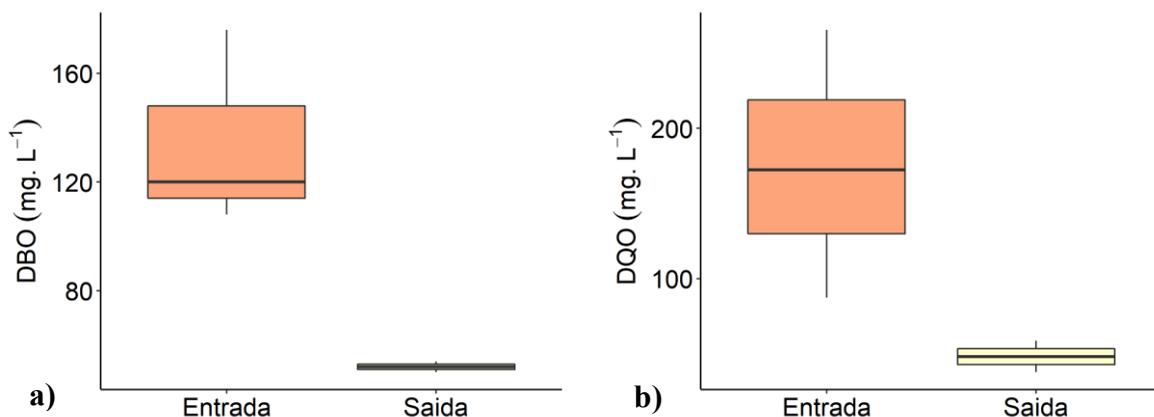
Foram realizadas medidas descritivas de tendência central e dispersão. O conjunto de dados atendeu aos critérios de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade (teste de Levine) sendo aplicado teste t-student pareado no intuito de avaliar diferenças entre os valores de entrada e saída do tratamento para as variáveis. Todas as análises foram realizadas no *software* R (R Core Team, 2021) utilizando os pacotes Car (Fox & Weisberg, 2019), ggplot2 (Wickham, 2016) e dplyr (Wickham et al., 2021).

#### Resultados e Discussão

O sistema TAS para o pós-tratamento do efluente de lagoas de polimento proporcionou reduções nas concentrações de material orgânico e em suspensão, além de patógenos. Os resultados dos parâmetros monitorados no efluente de entrada e saída do sistema TAS são apresentados na Tabela 1 e na Figura 3.

Tabela 1. Caracterização da entrada e da saída do efluente do sistema TAS. Fonte: Lopes et al. (2021).

| Variáveis                     | Entrada |      | Saída |       | Remoção % | t           | p           |
|-------------------------------|---------|------|-------|-------|-----------|-------------|-------------|
|                               | Média   | ±SD  | Média | ±SD   |           |             |             |
| DBO (mg.L <sup>-1</sup> )     | 134,7   | 36,3 | 52    | 2     | 61,4      | 3,9         | 0,06        |
| DQO (mg.L <sup>-1</sup> )     | 175,1   | 89,0 | 48,25 | 10,45 | 72,4      | 2,3         | 0,14        |
| Turbidez (NTU)                | 97,6    | 2,1  | 45,5  | 8,0   | 53,4      | <b>10,9</b> | <b>0,01</b> |
| SSV (mg.L <sup>-1</sup> )     | 206,0   | 76,0 | 141   | 7     | 31,6      | 1,4         | 0,30        |
| SDT (mg.L <sup>-1</sup> )     | 475,0   | 15,0 | 463,3 | 10,4  | 2,5       | 3,5         | 0,70        |
| Condutividade (µS/cm)         | 1125,0  | 1,7  | 765,6 | 1,1   | 31,9      | 0,38        | 0,73        |
| pH                            | 8,2     | 0,4  | 8,1   | 0,5   | 1,5       | 0,25        | 0,82        |
| Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )  | 37,1    | 2,8  | 28,45 | 1,75  | 23,3      | <b>7,4</b>  | <b>0,01</b> |
| Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> ) | 10,7    | 0,9  | 10,08 | 0,06  | 5,7       | 1,1         | 0,30        |



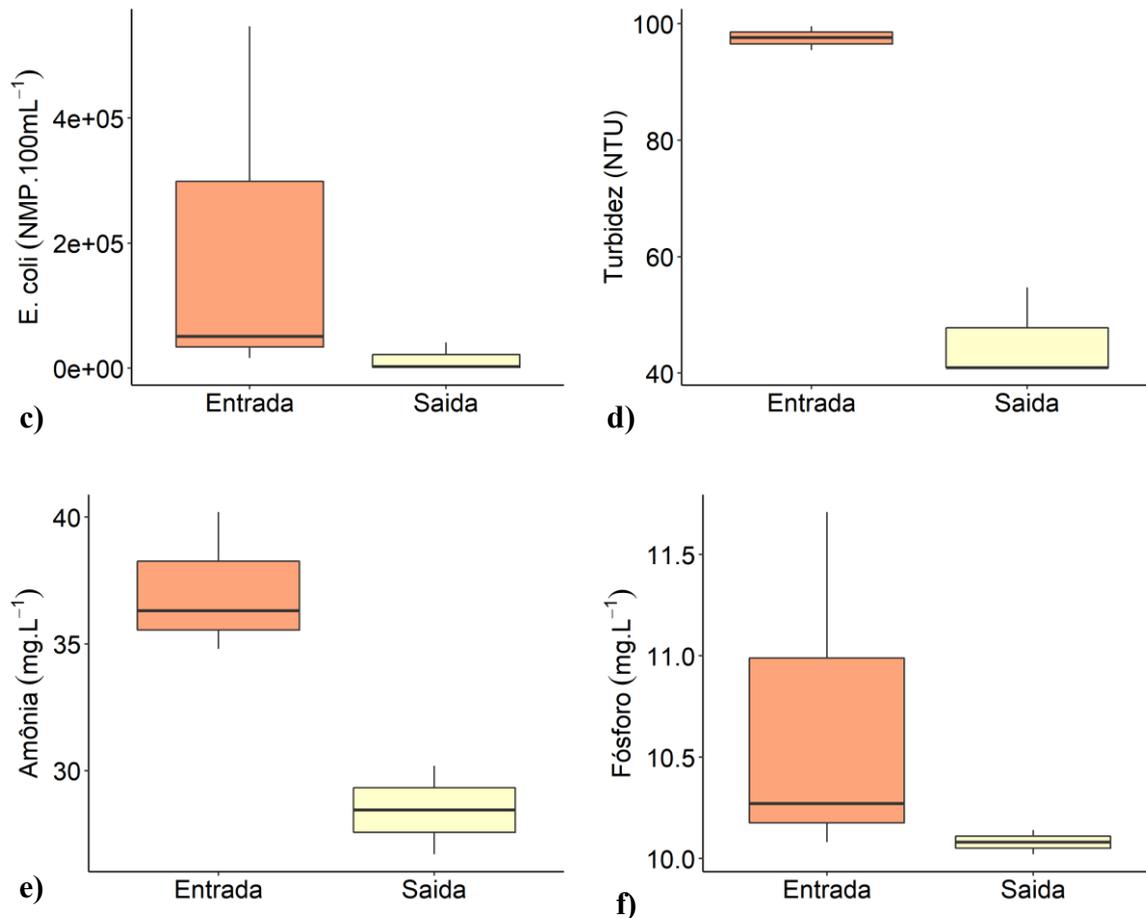


Figura 3. Resultados do efluente de entrada e saída do sistema de Tratamento de Aquífero do Solo (TAS) para os parâmetros: a. DBO; b. DQO; c. *Escherichia coli*; d. turbidez; e. amônia; f. fósforo. Fonte: Lopes et al. (2021).

A matéria orgânica presente nos efluentes de lagoas pode ser removida por biodegradação, assimilação microbiana ou adsorvidos nos materiais filtrantes (areia) do sistema TAS. A matéria orgânica do efluente é composta por diferentes tipos de orgânicos: compostos refratários, substratos residuais degradáveis, intermediários, compostos orgânicos complexos e produtos microbianos solúveis (SMPs) (Maeng et al., 2011).

Com base na Figura 3ab, observa-se reduções nas concentrações de matéria orgânica, a partir do sistema TAS, a qual promoveu uma eficiência de remoção de 72% e 61% para DQO e DBO, respectivamente (Tabela 1).

A eficiência dos sistemas TAS para remoção de matéria orgânica (medidos através de DBO, DQO ou carbono orgânico) é bastante relatado na literatura, na qual proporcionam níveis de tratamento elevados (até 90%) para compostos orgânicos totais e dissolvida (Lin et al., 2008; Maeng et al., 2011; Navad et al., 2017).

Analisar a quantidade de materiais em suspensão nos efluentes a serem tratados em sistema TAS é de fundamental importância, pois

estes influenciam no tempo e desempenho do sistema (Jokela et al., 2017; Coutinho et al., 2018). Efluentes secundários de sistemas de tratamento de esgoto normalmente contêm concentrações mais baixas dessas partículas (Page et al., 2018).

No entanto, mesmo após a etapas de tratamento, o efluente de lagoas de polimento apresenta coloração esverdeada e presença de materiais em suspensão proveniente do crescimento de algas. Isso acontece uma vez que o efluente contém nutrientes e pela radiação solar, condições que favorecem o crescimento e proliferação das mesmas. Vale ressaltar, que estas condições de temperatura e aumento do pH (pela baixa profundidade e atividade fotossintética) favorece o processo de desinfecção, ou seja, a remoção de patógenos (von Sperling, 2002).

Com base nos resultados da Tabela 1 e Figura 3d, observa-se que o sistema apresentou remoções significativas na turbidez (53%) do efluente. Esta variável está relacionada a presença de partículas coloidais (<1000 nm) e grosserias (>1000 nm), tais como de argila, silte, materiais orgânicos e inorgânicos, plâncton e outros organismos microscópicos (Silva, 2001). No

entanto, os sólidos suspensos voláteis constituem a fração dos sólidos orgânico presente na amostra, apresentou baixa redução, podendo estar relacionada a degradação do material orgânico para as atividades metabólicas dos microrganismos ou retenção do material na camada filtrante.

As águas de processos de recarga de aquífero contêm níveis de salinidade natural, derivados de sais inorgânicos, matéria orgânica dissolvida e pequeno material coloidal. Os constituintes inorgânicos da fonte as águas podem ser caracterizadas por medidas como condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e sodicidade (Page et al., 2018). A partir do sistema TAS é possível perceber redução na condutividade elétrica (Tabela 1), apresentando um efluente na saída do tratamento com  $765,6 \pm 1,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  ( $0,77 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

O efluente da saída do sistema TAS atende aos valores estabelecidos pelas normativas para a condutividade elétrica, sendo  $< 3000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Resolução COEMA nº 2/2017) e  $< 2,9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (CETESB, 2010). De acordo com a USEPA (2012) a condutividade elétrica e os SDT determinam o grau de restrição à irrigação, sendo estes: nenhum ( $< 0,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $< 450 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) moderado ( $0,7 - 3,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $450 - 2000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e forte ( $> 3,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $> 2000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Com base nessa classificação, o efluente apresenta grau de restrição à irrigação moderado.

Ainda avaliando aos padrões de reuso da USEPA (2012), os valores de pH (Tabela 1) apresenta-se dentro da faixa estabelecida para irrigação, na qual é recomendado valores de pH entre 6 e 9.

Do ponto de vista de aspectos sanitários a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) estabelece limites para *E. coli* de até  $10^5 \text{ NMP}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  para irrigação irrestrita e de  $10^4$  a  $10^6 \text{ NMP}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  para irrigação restrita. O efluente da saída do sistema TAS apresentou concentração média de *E. coli* de até  $1,46 \times 10^4 \text{ NMP}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$  (Figura 3c) atendendo aos padrões para reuso irrestrito e restrito, exceto para as categorias de irrigação irrestrito de cultivo de raízes, tubérculos ou irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo ( $\leq 10^3 \text{ NMP}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ).

Com relação as concentrações de nutrientes na entrada e na saída, o nitrogênio avaliado a partir da amônia, foram de  $37,1 \pm 2,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e  $28,5 \pm 1,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para entrada e saída, respectivamente, resultando numa baixa remoção 23% (Tabela 1). Como as colunas de infiltração operaram em regime contínuo, ou seja, está sempre preenchida com o efluente da lagoa, não havia

entrada de oxigênio no seu interior, e dessa forma não ocorreu o processo de nitrificação.

Mienis & Arye (2018) mostraram que as transformações das formas de nitrogênio encontradas nas águas dos poços de observações (após o processo de TAS) variaram em função do regime de operação e distribuição do efluente no sistema. Para os anos que houve aeração, com intervalos nos ciclos de infiltração, foi observada a presença de nitrato nas águas. No entanto, nos períodos sem aeração não foi observada concentração de nitrato nas águas dos poços, indicando que não ocorreu a nitrificação. Isso foi atribuído ao regime de infiltração contínua, na qual a amônia ficou presente nas águas do aquífero.

Apesar de não ser esperado, foram observadas remoções significativas para as concentrações de amônia (Tabela 1 e Figura 3e), visto que o sistema TAS não apresentou entrada de oxigênio. Este fato pode estar relacionado com a remoção do material em suspensão, representado pelas medidas de turbidez. Correlação positiva e significativa foi verificada entre as concentrações de amônia e turbidez ( $r = 0,88$ ;  $p < 0,05$ ).

No que diz respeito às concentrações de fósforo, estas se mantiveram constantes ao longo do período de operação do sistema TAS, sendo o efluente de entrada do sistema concentração de  $10,7 \pm 0,9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e na saída de  $10,1 \pm 0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Tabela 1 e Figura 3f). Para esse tipo de sistema e nessas condições, esperava-se não haver remoção ou uma baixa remoção (que poderia ocorrer pela remoção do material em suspensão, pela presença de fósforo particulado). No entanto, ressalta-se que o intuito da pesquisa é a conservação dos nutrientes, e dessa forma, o sistema apresentou desempenho satisfatório para a qualidade de águas, visando o reuso agrícola.

## Conclusão

A disposição de efluentes de lagoas de polimento em sistema TAS propicia remoções significativas de matéria orgânica e em suspensão, melhorando a qualidade do efluente.

O efluente final apresenta-se seguro, do ponto de vista de qualidade sanitária, bem como do ponto de vista da segurança no sistema de irrigação, além da conservação dos nutrientes necessários ao reuso agrícola. Assim, o sistema TAS pode ser considerado uma alternativa viável para o pós-tratamento de efluentes de lagoas de polimento, sendo uma tecnologia sustentável que promove a preservação do meio ambiente e a proteção da saúde da população.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) pelo apoio financeiro feito por meio da concessão de bolsas aos pesquisadores, ao INSA pela disponibilização da estrutura laboratorial para desenvolvimento das análises.

## Referências

- ABNT. 1993. Técnicas, Análise Granulométrico-Rochas e Solos. NBR 6502.
- APHA. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition: Washington. 1496p.
- Barbosa, C. M. S.; Mattos, A. 2008. Conceitos e diretrizes para recarga artificial de aquíferos. Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal-RN.
- Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: Hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10, 121-142.
- COEMA nº 2/2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002.
- CETESB. 2010. Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Norma Técnica P4-002, 1ª Edição, 20p.
- Coutinho, J. V.; Almeida, C. N.; Silva, E. B.; Stefan, C.; Athayde Júnior, G. B.; Gadelha, C. L. M.; Walter, F. 2018. Managed aquifer recharge: study of undisturbed soil column tests on the infiltration and treatment capacity using effluent of wastewater stabilization pond. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 23, 50, 1-9.
- Dillon, P. 2005. Future management of aquifer recharge. *Hydrogeology Journal*, 13, 313-316.
- Faria, D.; Oliveira, A.; Baeza, J. A.; Miera, B. S.; Calvo, L.; Gilarranz, M. A.; Naval, L. 2020. Sewage treatment using Aqueous Phase Reforming for reuse purpose. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101413.
- Fox, J.; Weisberg, S. 2019. An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. Available at: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Hohne, D.; Esterhuyse, C.; Fourie, F.; Gericke, H.; Esterhuyse, S. 2021. Enhancing groundwater recharge in the main Karoo, South Africa during periods of drought through managed aquifer recharge. *Journal of African Earth Sciences*, 176, 104007.
- Jokela, P.; Eskola, T.; Heinonen, T.; Tantt, U.; Tyrväinen, J.; Artimo, A. 2017. Raw Water Quality and Pretreatment in Managed Aquifer Recharge for Drinking Water Production in Finland. *Water*, 9, 2, 1-16.
- Maeng, S. K.; Sharma, S. K.; Lekkerkerker-Teunissen, K.; Amy, G. L. 2011. Occurrence and fate of bulk organic matter and pharmaceutically active compounds in managed aquifer recharge: A review. *Water Res.*, 45, 10, 3015-3033.
- Lim, M. -H.; Snyder, S. A.; Sedlak, D. L. 2008. Use of biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) to assess the potential for transformation of wastewater-derived contaminants in surface waters. *Water Research*, 42, 12, 2943-2952.
- Mienis, O.; Arye, G. 2018. Long-term nitrogen behavior under treated wastewater infiltration basins in a soil-aquifer treatment (SAT) system. *Water Research*, 134, 192-199.
- Nadav, I.; Tarchitzky, J.; Chen, Y. 2017. Water repellency reduction using soil heating in infiltration ponds of a wastewater soil aquifer treatment (SAT). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180, 142-152.
- Nguyen, A. C.; Nguyen, D. D.; Tran, Q. B.; Nguyen, T. T. H.; Tran, T. K. A.; Tran, T. C. P.; Nguyen, T. H. G.; Tran, T. N. T.; La, D. D.; Chang, S. W.; Balasubramani, R.; Chung, W. J.; Yoon, Y. S.; Nguyen, V. K. 2020. Two-step system consisting of novel vertical flow and free water surface constructed wetland for effective sewage treatment and reuse. *Bioresource Technology*, 306, 1-8.
- Page, D.; Bekele, E.; Vanderzalm, J.; Sidhu, J. 2018. Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management. *Water*, 10, 3, 1-16.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/>
- Ringleb, J.; Sallwey, J.; Stefan, C. 2016. Assessment of Managed Aquifer Recharge through Modeling-A Review. *Water*, 8, 1-31.
- Silva, S. A. 2001. Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias/ Salomão Anselmo Silva. Rui de Oliveira. Campina Grande, Paraíba. 266p.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. 2012. Guidelines for water reuse. 643p.

- Von Sperling, M. 2002 Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.
- WHO. World Health Organization. 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva. 196p.
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. 268p.
- Wickham, H.; François, R.; Henry, L.; Müller, K. 2021. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.6. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Zhang, H.; Xu, Y.; Kanyerere, T. 2020. A review of the managed aquifer recharge: Historical development, current situation and perspectives. Physics and Chemistry of the Earth, 118-119, 102887.