



II-711 - APLICAÇÃO DE WETLAND COMO SISTEMAS DE PÓS TRATAMENTO DE EFLUENTES: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO NA REGIÃO DO PAJEÚ

Antonio Renê Benevides de Melo⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). PhD em Engenharia Química e Biológica pela Universidade do Minho (UMinho - Portugal). Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

Lívia Thays Mariano Lima⁽²⁾

Técnica em Saneamento pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

Ellen Larissa de Queiroz Gonçalves⁽³⁾

Técnica em Saneamento pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

Kennedy Francys Damascena⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Maurício de Nassau (UniNassau). Mestre e Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

Cristiano Leal⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental pelo Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior Agrária de Coimbra, Portugal. PhD em Engenharia Química e Biológica pela Universidade do Minho (UMinho - Portugal). Doutor Pesquisador no ¹Centro Tecnológico das Indústrias do Couro (CTIC), Alcanena - Portugal. ²CERNAS – IPSantarém, Escola Superior Agrária de Santarém, Santarém - Portugal.

Endereço⁽¹⁾: Rua Edson Barbosa de Araújo, s/n, Bairro Manoela Valadares – Afogados da Ingazeira - PE - CEP: 56800-000 - Brasil - Tel: (81) 3211-1207 - e-mail: rene.benevides@afogados.ifpe.edu.br

RESUMO

O lançamento indiscriminado dos esgotos domésticos sem tratamento, ou parcialmente tratados, é um dos principais motivos de poluição da água, gerando diversos efeitos degradantes, o que interfere diretamente na qualidade da água e nos seus usos benéficos. Este projeto, que foi realizado na instalação piloto do IFPE, teve como objetivo principal divulgar a utilização da técnica de wetland como pós tratamento dos efluentes oriundos do sistema da fossa séptica e do filtro anaeróbio do *Campus* Afogados da Ingazeira. O sistema proposto apresentou eficiência na remoção de matéria orgânica (80%) avaliada em termos de demanda química de oxigênio (DQO) e turbidez (77%). Remoção de nitrogênio (NH₃) e cor ficaram em torno de 40%. Para microrganismos, 96% de remoção foi alcançada, o que indica uma melhora na qualidade do efluente, porém um processo de desinfecção complementar precisaria ser utilizado para que fosse possível o seu reúso de acordo com as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS). Os resultados encontrados indicam que a técnica de wetland pode ser extremamente importante para auxiliar no tratamento dos esgotos da região do semiárido, contribuindo para a melhoria dos efluentes tratados e para a sustentabilidade hídrica da região do Pajeú.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto, Reúso, Wetland.

INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma preocupação crescente em diversas regiões ao redor do mundo, intensificando-se com o avanço das mudanças climáticas. Esse fenômeno tem levado comunidades em todo o mundo a enfrentar desafios relacionados ao abastecimento de água, agravados pela crescente demanda, secas prolongadas, esgotamento e contaminação das águas superficiais e subterrâneas, além da dependência de fontes únicas de abastecimento. Diante deste cenário, o reúso da água surge como uma alternativa para mitigar estes desafios,



oferecendo uma solução viável de longo prazo que contribui para a gestão dos recursos hídricos e a criação de novas fontes de abastecimento de água.

As águas residuais tratadas podem ser reutilizadas em uma variedade de aplicações, incluindo a agricultura, recarga de aquífero, resfriamento de água industrial, aquacultura, aplicações domésticas (descargas em banheiro), combate à incêndios, irrigação de jardins e campos de futebol, e até mesmo em fontes de recreação (ALMUKTAR; ABED; SCHOLZ, 2018). O potencial uso de águas residuais depende das suas características, que determinam os métodos e os níveis requeridos de tratamento necessários. De modo geral, para o reúso na irrigação agrícola exige-se um tratamento com baixa complexidade, enquanto o reúso doméstico demanda processos de tratamento altamente sofisticados (METCALF & EDDY, 2003).

A irrigação agrícola destaca-se como o principal destino para aplicação de águas residuais tratadas. No Japão, cerca de 41% da água reciclada é destinada à agricultura; na Califórnia, Estados Unidos, essa proporção é de 60%; e na Tunísia, de 15%. Além disso, nos países em desenvolvimento, a aplicação no solo sempre foi o principal meio de eliminação de águas residuais urbanas, bem como de satisfação das necessidades de irrigação. Na China, cerca de 1,33 milhões de hectares de terras agrícolas são irrigados com águas residuais não tratadas ou parcialmente tratadas das cidades, enquanto na Cidade do México, mais de 70 mil hectares de terras agrícolas recebem águas residuais tratadas para fins de irrigação. Considerando que mais de 70% da água consumida globalmente é para fins de irrigação agrícola, a utilização de águas residuais tratadas para este propósito tem um grande potencial, especialmente quando se considera a reutilização de nutrientes essenciais para a produção vegetal, como nitrogênio e fósforo (ALMUKTAR; ABED; SCHOLZ, 2018).

Os esgotos domésticos, quando lançados no meio ambiente sem tratamento adequado, podem causar grandes impactos ambientais devido à presença de matéria orgânica, sólidos, nutrientes, microrganismos patogênicos, e micropoluentes, como metais pesados e compostos farmacêuticos dentre outros constituintes (AKHTAR et al., 2021). Nesse contexto, o lançamento indiscriminado dos esgotos domésticos in natura ou parcialmente tratados, é uma das principais causas de poluição dos recursos hídricos, afetando diretamente a qualidade da água e seus usos benéficos (LIN; YANG; XU, 2022).

Os sistemas tradicionais de tratamento de águas residuais apresentam elevada demanda energética e altos custos operacionais e de investimento. Nos países em desenvolvimento, esses sistemas não atingem eficiências satisfatórias devido à falta de conhecimento técnico e ao não cumprimento das legislações vigentes (MUSTAFA, 2013). Neste sentido, os sistemas de tratamento baseados em wetlands emergem como uma alternativa viável, oferecendo capacidades similares de remoção de poluentes, mas apresenta vantagens em termos de custos de manutenção e energia necessária para a operação.

Nas últimas décadas, diversos estudos têm explorado o uso da tecnologia de wetland para o tratamento de águas residuais, seguindo a reutilização em diferentes aplicações (ALMUKTAR; ABED; SCHOLZ, 2018). Em termos de eficiência, os sistemas de wetlands demonstram boa capacidade de remoção de matéria orgânica e nitrogênio ($\approx 50\%$), e são mais particularmente eficazes na remoção de sólidos suspensos, com eficiência $>70\%$ (MUSTAFA, 2013; ROUSSEAU et al., 2008). Contudo, estudos mais recentes demonstraram maior eficiência para a remoção de nitrogênio (83%) num sistema de wetland (ZHANG; JI; PEI, 2021). No que diz respeito à remoção de microrganismos patogênicos, observa-se uma redução nas concentrações destes, porém uma remoção superior a 99% requeira a integração de métodos de desinfecção pós-tratamento de wetlands (AZAIZEH et al., 2013).

A aplicação desta tecnologia como pós-tratamento de efluentes domésticos e a avaliação do seu potencial de reúso em regiões com elevada escassez hídrica ainda demandam investigação aprofundada, sendo de maior relevância. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da técnica de wetland como pós-tratamento dos efluentes oriundos do sistema de fossa séptica. A performance do sistema foi avaliada em termos de remoção de demanda química de oxigênio (DQO), amônia (NH_3), turbidez, cor e microrganismos (coliformes fecais). Além disso, foi analisado o potencial de reúso dos efluentes tratados de acordo com as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foi desenvolvido um sistema piloto de 20 L, com 50 cm de altura e diâmetro de 30 cm (Figura 1). Foi adotado o fluxo vertical ascendente de deslocamento do efluente, passando pelo meio filtrante e como espécie vegetal foi utilizada a gramínea *Paspalum Notatum Fluegge*. O efluente aplicado no sistema proposto, foi coletado através de bombeamento numa vala de infiltração após a unidade de fossa séptica e armazenado numa caixa de acumulação que, por gravidade, era direcionado para o wetland a uma taxa de 50 L/m²-dia pelo período de março a novembro, totalizando nove meses de operação do sistema. O trabalho foi desenvolvido no Campus Afogados da Ingazeira do Instituto Federal de Educação, Ciência Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

A unidade proposta (wetland) foi construída em PVC com 30 cm de diâmetro e 50 centímetros de comprimento. O lado externo coberto com folha de alumínio para proteger o material da exposição solar. Para controlar a vazão foi utilizada uma válvula de distribuição na parte inferior da caixa de acumulação do esgoto, com isso, a vazão permaneceu constante durante todo o tempo.

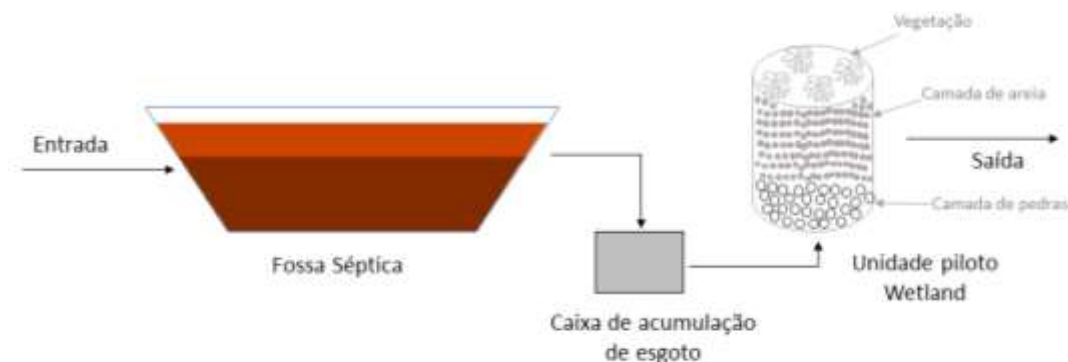


Figura 1 - Detalhe do sistema de tratamento composto por fossa séptica seguida pela unidade piloto Wetland.

O leito filtrante da unidade proposta possuía granulometria de acordo a Tabela 1, com altura de 0,50 metros, sendo a camada suporte com 10 centímetros de espessura e sua granulometria variando de 50 mm a 19 mm.

Tabela 1 – Granulometria do sistema piloto wetland.

Camada	Espessura (cm)	Tamanho (mm)
Quarta	10	3 a 1,5
Terceira	10	6 a 4
Segunda	10	12 a 6
Primeira	10	19 a 12
Suporte	10	25 a 19

O monitoramento do sistema foi realizado em termos de concentrações de matéria orgânica (DQO) e nitrogênio amoniacal (NH₃), conforme metodologia descrita no Standard Methods (APHA, 1998). Turbidez e cor foram determinados através de equipamentos específicos, da marca Alforkit. Coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*, seguiram a metodologia de tubos múltiplos, também descrita no Standard Methods (APHA, 1998).

A avaliação de eficiência do sistema foi obtida através da equação,

$$E(\%) = \frac{C_0 - C_1}{C_0} * 100$$

Onde $E(\%)$, é a eficiência de remoção do parâmetro selecionado, em porcentagem (%); C_0 é a concentração do parâmetro no afluente ao sistema wetland; e C_1 é a concentração do parâmetro no efluente ao sistema wetland.

Estatística discriminante dos dados obtidos (médias e desvio padrão) foi adotada para verificar o comportamento dos resultados. Além disso, empregou-se a técnica de box-plot (diagramas de blocos) para encontrar possíveis outliers, ou pontos distantes do comportamento da maior parte das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para DQO em termo de concentrações, foram em média de 226 mg/L (± 180 , desvio padrão) para o afluente, e 39 ± 24 mg/L para o efluente. Para o nitrogênio amoniacal, em média, foram encontrados valores de 60 ± 18 mg/L para o afluente, e 34 ± 25 mg/L para o efluente. Considerando a eficiência do sistema, para a DQO foi alcançada 80% de remoção, e para o NH_3 a remoção foi de 43%, estando estes valores em consonância com a literatura. Resultados semelhantes foram obtidos por (ZHANG; JI; PEI, 2021), que alcançaram remoções da ordem de 77% e 59% para DQO e nitrogênio amoniacal, respectivamente. Também, Mustafa (2013) encontrou reduções médias na DBO de 50% e para o nitrogênio amoniacal a remoção foi de 49%.

Na Figura 2a, é possível verificar que além da redução das concentrações de DQO, o sistema proposto reduziu a flutuação nos resultados ao longo do período operacional. Esta baixa variação dos dados é um promissor resultado, pois demonstra consistência do sistema utilizado na redução da carga orgânica aplicada. Na Figura 2b, estão apresentados os resultados para o nitrogênio amoniacal. Apesar de ter obtido redução nas concentrações de NH_3 , os valores encontrados demonstraram maior flutuação, o que indica variações ao logo do período experimental. Como a remoção de nitrogênio está condicionada à formação de biofilme, especialmente com bactérias autotróficas, que por norma necessitam de mais tempo para se desenvolverem em comparação às bactérias heterotróficas (BITTON, 2005), é possível que os diferentes resultados tenham sido obtidos em períodos distintos (início/fim) da operação do sistema proposto.

Para a turbidez e cor, reduções da ordem de 73 e 53% foram obtidas, respectivamente. Estas remoções resultaram em valores médios de $24,70 \pm 13$ NTU e 123 ± 44 uCor. Na Figura 3a e 3b, observa-se que após o wetland há uma brusca redução na variação dos resultados, indicando que, assim como para a DQO, o sistema conseguiu resultados consistentes para a remoção destes dois parâmetros. Além disso, em termos de avaliação microbiológica, apesar do sistema ter conseguido reduzir em 96% as concentrações de E. Coli, (dados não mostrados) segundo as recomendações da OMS (Tabela 2), seria necessário a utilização de uma técnica de desinfecção complementar para o reúso doméstico do esgoto. Porém, para o reúso na agricultura em culturas que não sejam consumidas cruas, o efluente produzido se enquadraria nas diretrizes estabelecidas, com os valores de DQO e turbidez dentro do limite adotado para a irrigação com águas residuais tratadas, o que torna os resultados deste trabalho extremamente promissores por permitirem que uma nova fonte hídrica esteja disponível na região do semiárido brasileiro.

Tabela 2: Parâmetros para o reúso de efluentes de acordo com as recomendações da OMS.

Parâmetro	Resultados	OMS
Matéria Orgânica (DQO) (mg/L)	39,0	$\leq 10^a$ *; $\leq 30^b$ *
Turbidez (NTU)	24,7	≤ 30
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	>1000	≤ 200

* valores considerando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO); valor para culturas que podem ser comidas cruas; b. valor para culturas de cereais e forragens.

A Figura 2 contém os resultados de DQO e NH_3 obtidos ao longo do experimento, considerado o afluente e efluente ao sistema wetland proposto.

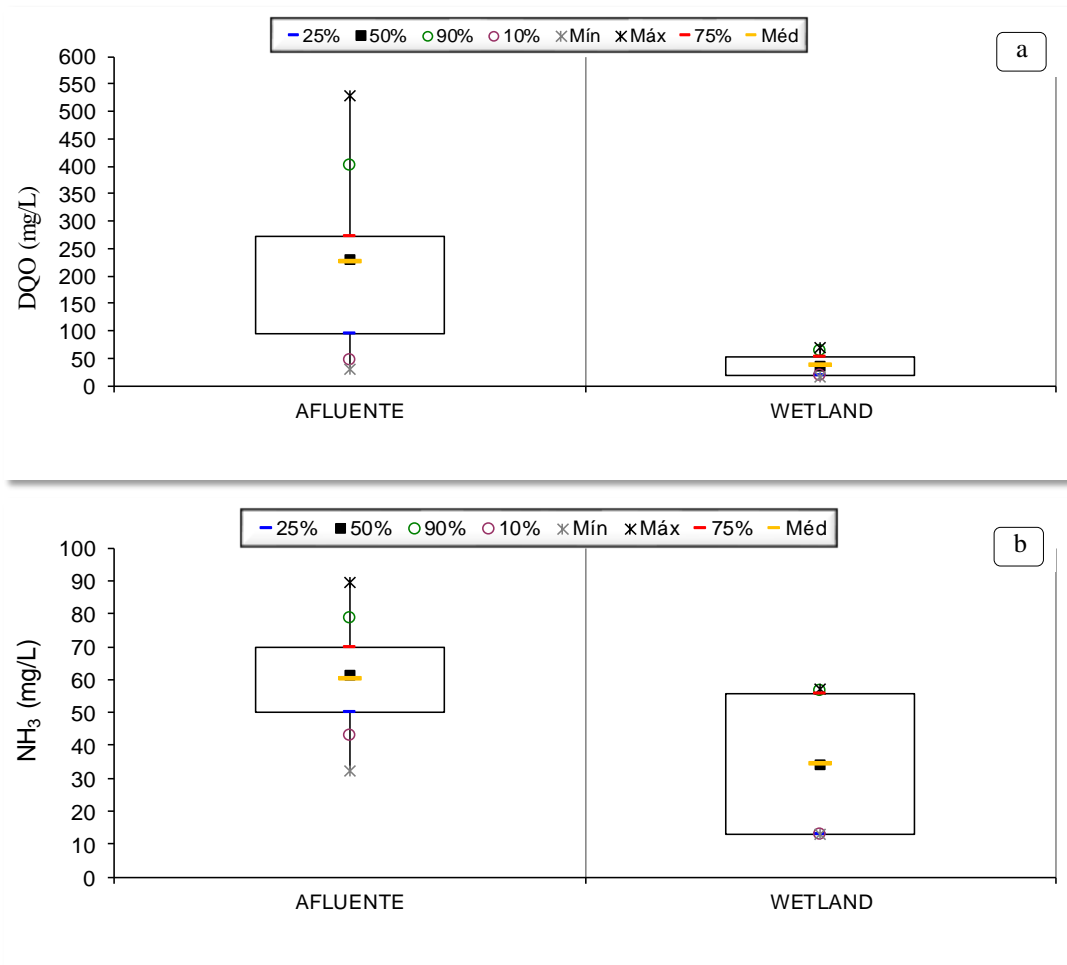
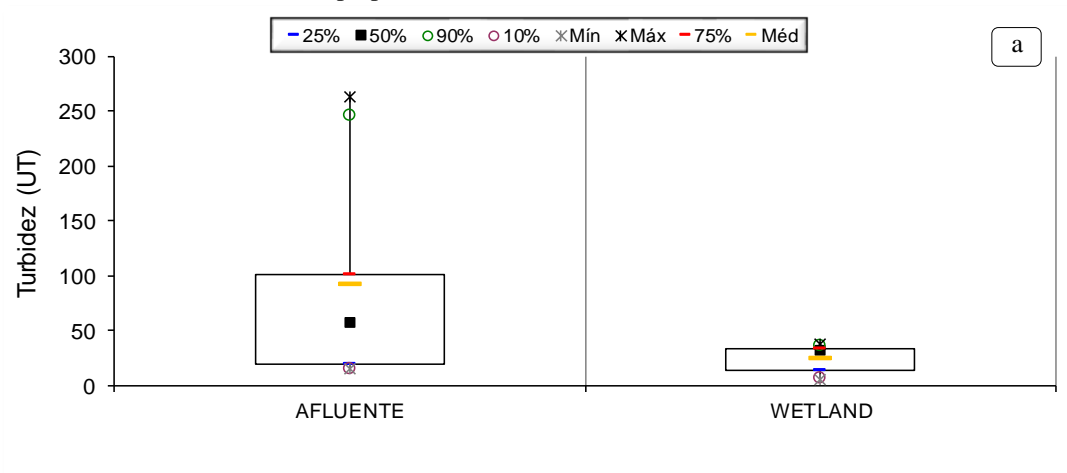


Figura 2: Box-plot apresentando as concentrações afluentes e após o sistema wetland. (a) concentrações de DQO (mg/L); e (b) concentrações de NH₃ (mg/L).

Na Figura 3 estão apresentados os resultados de Turbidez e Cor alcançados ao longo do experimento, considerado o afluente e efluente ao sistema wetland proposto.



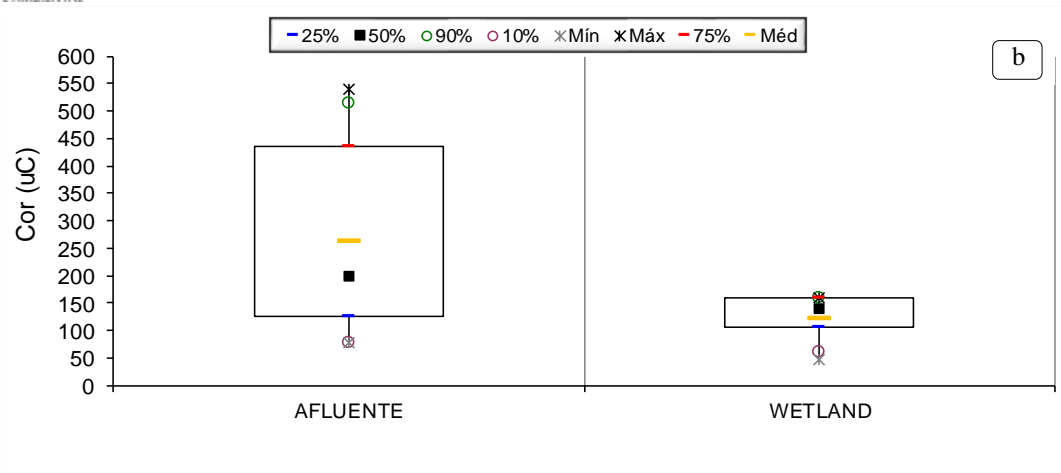


Figura 3: Box-plot apresentando os resultados do esgoto afluente e após o sistema wetland. (a) resultados de turbidez (NTU); e (b) resultados de cor (uCor).

De acordo com o levantamento feito por Souza e Cordeiro (2022), o Campus do IFPE Afogados da Ingazeira apresenta um consumo mensal de água de $\approx 134 \text{ m}^3$. Considerando um coeficiente de retorno como esgoto na ordem de 0,8, estima-se que o *Campus* produza cerca de $107 \text{ m}^3/\text{mês}$ de esgoto. A área verde existente no *Campus*, predominantemente com a gramínea *Paspalum Notatum*, abrange aproximadamente 700 m^2 . Assim, ao se observar a necessidade hídrica desta espécie, que é de $5 \text{ L de água}/\text{m}^2$ (ALDRIGHI et al., 2020), o volume mensal de água necessário para suprir a demanda hídrica é de $109,5 \text{ m}^3$.

Diante disto, a promoção do reúso da água no *Campus* poderia eliminar totalmente a necessidade de utilizar água potável para a irrigação dos jardins, uma vez que, nos dias com chuva não haveria a necessidade de acionar o sistema de irrigação. Esta abordagem, não apenas otimiza a gestão dos recursos hídricos do *Campus*, reduzindo o consumo de água potável, mas também diminui significativamente os custos associados. Ainda, segundo Souza e Cordeiro (2022), o custo mensal de água do *Campus* é de R\$ 1.180,41 reais, e caso o reúso seja implementado, seria possível reduzir o custo com o consumo de água em $\approx 84\%$, reduzindo o valor da conta de água para aproximadamente R\$ 185,00 reais. Além dos benefícios econômicos, a utilização desta tecnologia contribuiria de forma positiva para a região do semiárido brasileiro. Primeiro, por ser uma técnica adequada para o tratamento dos esgotos, e segundo por proporcionar o reúso do esgoto tratado.

CONCLUSÕES

Em suma, o trabalho desenvolvido apresentou como principais contribuições o desenvolvimento de um sistema alternativo e eficiente de tratamento de esgoto, capaz de melhorar a qualidade do esgoto tratado. Em relação aos parâmetros avaliados, obteve-se ao longo do experimento consistentes reduções de matéria orgânica, turbidez e cor. Para o nitrogênio, apesar da redução da ordem de 43%, a variação nos dados indicou que, possivelmente, para este parâmetro, seria necessário um período mais longo de operação para obter resultados com menor flutuação. Para uma remoção mais eficiente de microrganismos patogênicos, sugere-se utilizar uma técnica complementar de desinfecção após o sistema de wetland, uma vez que os resultados obtidos foram superiores aos limites estabelecidos para o reúso.

Por fim, espera-se que, com os resultados deste trabalho, a comunidade do sertão do Pajeú possa fazer uso desta tecnologia para tratar de forma adequada os esgotos/efluentes nas comunidades que circundam a zona urbana e a breve prazo incluir o reúso de efluentes tratados para diversos fins. Essa prática não só contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também promove uma gestão mais eficiente e econômica dos recursos hídricos, crucial para regiões que enfrentam escassez de água.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKHTAR, Naseem; SYAKIR ISHAK, Muhammad Izzuddin; BHAWANI, Showkat Ahmad; UMAR, Khalid. Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review. *Water*, v. 13, n. 19, p. 2660, 2021. DOI: 10.3390/w13192660. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2660>.
2. ALDRIGHI, Michel; JARDIM, Carlos Cesar Silva; JÚNIOR, José Alves; BATTISTI, Rafael; CASAROLI, Derblai; EVANGELISTA, Adão Wagner Pego. Necessidades hídricas das grammas batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) e esmeralda (*Zoysia Japônica* Steud) estimadas por sensoriamento remoto. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 47020–47032, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-367. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13232/11123>.
3. ALMUKTAR, Suhad A. A. N.; ABED, Suhail N.; SCHOLZ, Miklas. Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 24, p. 23595–23623, 2018. DOI: 10.1007/s11356-018-2629-3.
4. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater: 20th ed. American P ed. v. 37
5. AZAIZEH, H.; LINDEN, K. G.; BARSTOW, C.; KALBOUNEH, S.; TELLAWI, A.; ALBALAWNEH, A.; GERCHMAN, Y. Constructed wetlands combined with UV disinfection systems for removal of enteric pathogens and wastewater contaminants. *Water Science and Technology*, v. 67, n. 3, p. 651–657, 2013. DOI: 10.2166/wst.2012.615. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article/67/3/651/17265/Constructed-wetlands-combined-with-UV-disinfection>.
6. BITTON, Gabriel. *Wastewater Microbiology*. Third Edit ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005. DOI: 10.1002/0471717967. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/0471717967>.
7. LIN, Li; YANG, Haoran; XU, Xiaocang. Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, v. 10, n. June, 2022. DOI: 10.3389/fenvs.2022.880246. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.880246/full>.
8. METCALF & EDDY, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2003.
9. MUSTAFA, Atif. Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse: A Case Study of Developing Country. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 4, n. 1, p. 20–24, 2013. DOI: 10.7763/IJESD.2013.V4.296. Disponível em: <http://www.ijesd.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=41&id=580>.
10. ROUSSEAU, D. P. L.; LESAGE, E.; STORY, A.; VANROLLEGHEM, P. A.; DE PAUW, N. Constructed wetlands for water reclamation. *Desalination*, v. 218, n. 1–3, p. 181–189, 2008. DOI: 10.1016/j.desal.2006.09.034.
11. SOUZA, Newton Leite De; CORDEIRO, Luiz Filipe Alves. Use of Water from Air Conditioning Equipment for Non-Drinking Purposes: A Case Study at the Federal Institute of Pernambuco - Campus Afogados da Ingazeira. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, v. 6495, n. 11, p. 471–481, 2022. DOI: 10.22161/ijaers.911.56. Disponível em: <https://ijaers.com/detail/use-of-water-from-air-conditioning-equipment-for-non-drinking-purposes-a-case-study-at-the-federal-institute-of-pernambuco-campus-afogados-da-ingazeira/>.
12. ZHANG, Yu; JI, Zehua; PEI, Yuansheng. Nutrient removal and microbial community structure in an artificial-natural coupled wetland system. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 147, p. 1160–1170, 2021. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.036. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.036>.