



Tratamento de esgoto através de macrófitas aquáticas em sistema vertical

Sewage treatment using aquatic macrophytes in a vertical system

Milene Nunes Berto¹, Letícia Nunes Berto², Anna Carolina de Oliveira Mendes³, Hugo Renan Bolzani⁴
e Jeanine Salles dos Santos⁵

^{1,2}Estudantes do Ensino Médio/Profissionalizante da Fundação Osório, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ^{3,4,5}Professores da Fundação Osório, Rio de Janeiro, Brasil, E-mails: annacarolina@fosorio.g12.br ; hugo@fosorio.g12.br ; jeaninesalles@fosorio.g12.br

196

Resumo

Este artigo descreve um estudo que investiga a eficácia de um sistema de tratamento de água de esgoto construído de materiais recicláveis, com ênfase na utilização de areia e plantas macrófitas. O sistema é composto por quatro etapas distintas, cada uma desempenhando um papel crucial na purificação de esgoto. Resultados positivos foram obtidos, demonstrando que o sistema é altamente eficaz na remoção de impurezas e poluentes da água, melhorando significativamente sua qualidade. No entanto, ressalta-se que a água tratada não atinge o padrão de potabilidade, sendo destinada apenas a usos não nobres, como descargas de vaso sanitário, lavagem de roupas, carros, ruas e quintais. Essa abordagem apresenta uma solução sustentável para a gestão de esgotos e contribui para a descentralização do sistema de esgotamento doméstico.

Palavras-chave: Macrófitas aquáticas, esgoto doméstico, sistema vertical.

Abstract

This article describes a study that investigates the effectiveness of a wastewater treatment system built from recyclable materials, with an emphasis on the use of sand and macrophyte plants. The system consists of four distinct stages, each playing a crucial role in purifying sewage. Positive results were obtained, demonstrating that the system is highly effective in removing impurities and pollutants from the water, significantly improving its quality. However, it should be noted that the treated water does not meet drinking water standards and is only intended for non-potable uses, such as toilet flushing, laundry, car washing, streets, and yards. This approach provides a sustainable solution for sewage management and contributes to the decentralization of the domestic sewage system.

Keywords: Aquatic macrophytes, domestic sewage, vertical system.



1. Introdução

A gestão eficiente dos recursos hídricos e a preservação do meio ambiente são desafios de extrema relevância em todo o mundo. No cenário brasileiro, caracterizado por sua vasta diversidade geográfica, climática e ambiental, a busca por soluções sustentáveis e economicamente viáveis no tratamento de esgoto doméstico é ainda mais premente.

O Brasil enfrenta desafios significativos em relação ao tratamento de esgoto doméstico, especialmente em áreas urbanas e rurais carentes de infraestrutura de saneamento básico. Com a crescente urbanização e a expansão das atividades humanas, a pressão sobre os recursos hídricos se intensifica, destacando a importância crítica de soluções inovadoras.

Para a realidade brasileira, atualmente existe um enorme déficit no índice de coleta e tratamento de esgoto, pois apenas 64,1% da população possui coleta de esgoto sanitário e apenas 51,2% do esgoto passa por algum tratamento antes do despejo nos rios (BRASIL, 2022). Vale destacar que a coleta de esgotos apresenta diferença de acordo com a região, uma vez que a abrangência no sudeste é de 85,9% e no norte é de apenas 18,4% (BRASIL, 2022).

Esta realidade evidencia que a universalização do acesso ao saneamento básico ainda está distante para cerca de metade da população brasileira e o novo marco legal do saneamento básico quer acelerar a disponibilidade destes serviços atribuindo como meta até 2033 a garantia de 99% da população servida com água potável e 90% com tratamento de esgoto (BRASIL, 2020).

De acordo com Affonseca (2016), o uso de macrófitas aquáticas em sistemas de tratamento surge como uma alternativa que combina eficácia, sustentabilidade e adaptabilidade às diversas realidades do país. O sistema de tratamento baseados em macrófitas aquáticas possui elevada eficiência na remoção de poluentes e nutrientes, busca a sustentabilidade ambiental proporcionada pela redução de produtos químicos e



proporciona a capacidade de reutilização água para fins não potáveis, contribuindo para a conservação da água doce.

Desta forma, o trabalho tem como objetivo analisar a eficiência de tratamento de esgoto doméstico por um consórcio de macrófitas aquáticas em um sistema vertical em escala laboratorial.

198

2. Materiais e Métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Ciências da Fundação Osório, localizado no Bairro Rio Comprido da cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

O filtro vertical foi confeccionado com materiais recicláveis, sendo constituído principalmente por galões de água e canos PVC. Um regulador de vazão foi incorporado para controlar o fluxo do efluente direcionado de um compartimento ao outro (Figura 1). O sistema foi operado em batelada.

O filtro vertical possui 4 compartimentos/fases: o primeiro composto por areia que serviu como um filtro para os resíduos grosseiros; o segundo composto por areia como substrato e o consórcio de macrófitas aquáticas; o terceiro composto apenas por areia; e o quarto composto por um recipiente coletor do efluente tratado pelas etapas anteriores.



Figura 1: Sistema vertical para tratamento de esgoto

Para a montagem do sistema, utilizou-se areia previamente higienizada com água destilada e um consórcio com três espécies de macrófitas aquáticas: *Lemna minor*, *Eichhorniacrassipes* e *Azolla sp.* (Figura 2).



Figura 2: Macrófitas aquáticas utilizadas no estudo

Para avaliar a eficiência do sistema, foram realizadas análises físico-químicas do efluente bruto e tratado. O efluente doméstico bruto foi despejado no primeiro compartimento e, após um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1 e 5 dias, o efluente tratado foi coletado no quarto compartimento do sistema vertical.

Os parâmetros de valor de pH, alcalinidade total, ácido cianúrico, nitrato, nitrito, chumbo foram analisados com kit de testes em fita da marca Varifi. O parâmetro de sólidos totais (ST) foi obtido pelo método gravimétrico conforme descrito no Standard Methods (APHA, 2012). O parâmetro de oxigênio dissolvido (OD) e sólidos dissolvidos totais (SDT) foram analisados pelo equipamento WA-2015 da marca Lutron.

A eficiência de remoção de alguns parâmetros foi obtida através da Equação 1.

$$E(\%) = [(Cf - Ci)/Cf] \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

E (%): eficiência de remoção em porcentagem;

Ci: concentração inicial do parâmetro;

Cf: concentração final do parâmetro.



3. Resultados e Discussão

O sistema composto por macrófitas aquáticas apresentou boa eficiência de remoção dos parâmetros analisados, indicando que elas podem desempenhar um papel fundamental na remoção de poluentes dos esgotos devido a uma variedade de mecanismos biológicos e físico-químicos.

Os resultados das análises físico-químicas do esgoto bruto e tratado em TDH de 1 e 5 dias podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado das análises físico-químicas no sistema vertical de tratamento

Parâmetros	Efluente bruto	Efluente tratado TDH 1 dia	Efluente tratado TDH 5 dias
Valor de pH	7,8	7,5	7,1
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	2,0	4,0	5,0
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	1065,0	853,0	817,0
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	896,0	177,0	150,0
Sólidos dissolvidos totais (mg.L ⁻¹)	490,0	130,0	50,0
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	240,0	180,0	40,0
Nitrato (mg.L ⁻¹)	100,0	50,0	10,0
Nitrito (mg.L ⁻¹)	20,0	10,0	1,0
Chumbo (mg.L ⁻¹)	20,0	20,0	0,0
Cromo (mg.L ⁻¹)	5,0	2,0	0,0

Foi observado um leve decaimento no valor de pH no decorrer dos dias e uma remoção de 25% de alcalinidade total em TDH de 1 dia e 83% em TDH de 5 dias. As macrófitas aquáticas realizam a fotossíntese, na qual absorvem dióxido de carbono (CO₂) do esgoto e liberam oxigênio, o que justifica a elevação da concentração de OD no decorrer do estudo (REHMAN et al., 2017). Esse processo também pode alterar o valor de pH do efluente, reduzindo a alcalinidade total, uma vez que CO₂ é ácido.

Estes valores evidenciam que as macrófitas aquáticas possuem a capacidade de realizar a manutenção do equilíbrio ácido-base no sistema, evitando condições adversas para organismos aquáticos que podem estar presentes no corpo receptor. É importante destacar que os valores de pH encontrados em ambos TDHs estão dentro da faixa preconizada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) para lançamento de esgoto tratado em corpos d'água (BRASIL, 2008).

Com relação aos sólidos, apenas um TDH de 1 dia foi o suficiente para a remoção da maior concentração de partículas sólidas. Em TDH de 1 dia já foi possível observar a alteração da coloração do efluente (Figura 3).

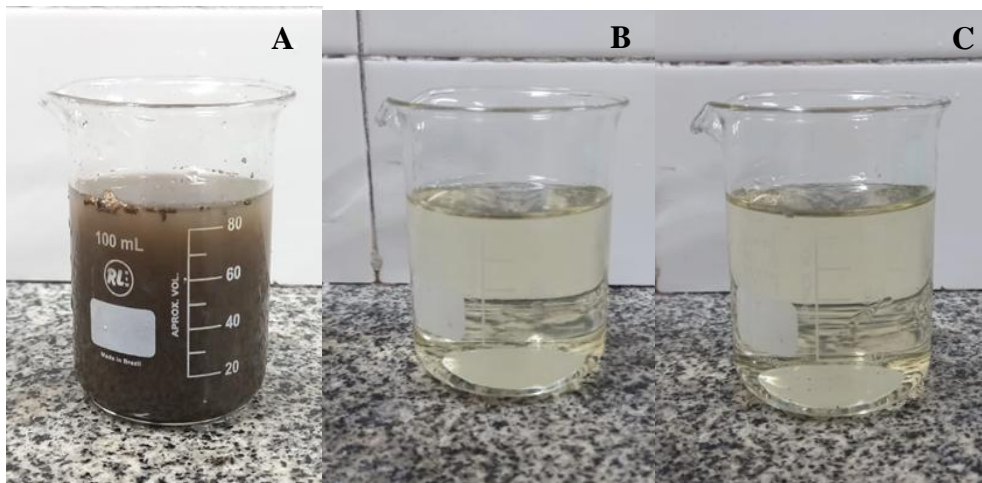


Figura 3: Aspecto da cor do efluente nos diferentes estágios de tratamento: (a) esgoto bruto; (b) esgoto tratado em TDH de 1 dia; (c) esgoto tratado em TDH de 5 dias

Foi observada uma redução de 80% e 73% de ST e SDT em TDH de 1 dia, respectivamente, e 83% e 90% de ST e SDT em TDH de 5 dias, respectivamente. Possivelmente houve a combinação do efeito filtrante da areia com a estrutura das macrófitas aquáticas, como raízes, rizomas e folhas, que também atuam como filtros naturais. Além disso, as raízes criam um ambiente que promove a sedimentação de sólidos no sistema radicular, contribuindo para a sua remoção.

O sistema fitorremediador também indicou ser uma ótima opção para remoção de nutrientes como, como nitrito e nitrato, com absorção de 50% em TDH de 1 dia para ambas as faixas oxidadas de nitrogênio, e de 90% para nitrito e 95% para



nitrito em TDH de 5 dias. As plantas aquáticas usam esses nutrientes para o crescimento e, assim, ajudam a reduzir as concentrações presentes no esgoto (POLOMSKI et al., 2009). Essa remoção é benéfica, pois esses nutrientes são frequentemente responsáveis pelo crescimento excessivo de algas (eutrofização) e subsequente deterioração da qualidade da água.

Além disso, a depleção do nitrito até o quinto dia do estudo também pode indicar uma boa adaptação de bactérias oxidantes de nitrito (BON) presentes no esgoto, oxidando o nitrito em nitrato (BOLZANI, 2023).

A fitorremediação também foi observada na depuração de metais pesados, como cromo e chumbo, obtendo 100% de remoção em 5 dias. As macrófitas aquáticas possuem propriedades de absorção e adsorção que lhes permitem capturar metais pesados, a partir do esgoto (GALLETTI et al., 2010). As raízes dessas plantas têm a capacidade de acumular metais em seus tecidos, ajudando na remoção desses poluentes no líquido. Além disso, as partículas orgânicas presentes nas raízes podem adsorver metais, tornando-os menos solúveis e, assim, inativos no líquido (KOUKI, et al. 2015).

4. Considerações Finais

Os resultados demonstraram que o sistema de tratamento de esgoto baseado em macrófitas aquáticas é altamente eficaz na remoção dos parâmetros físico-químicos analisados.

Além disso, o projeto pode colaborar no alcance de alguns dos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030, como o objetivo 6 - “água limpa e saneamento” e objetivo 14 - “vida debaixo d’água”, e mostrou ser uma alternativa sustentável aos métodos convencionais de tratamento de esgoto, principalmente em áreas rurais, onde o sistema de esgotamento centralizado não se faz presente.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação de outros TDHs, bem como a variação das espécies de macrófitas aquáticas, visando a otimização do desempenho do sistema.



5. Referências

- AFFONSECA, M.E.P. **Avaliação da viabilidade e aplicabilidade de macrófitas aquáticas para polimento de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico – estudo em escala real.** 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 91 p.
- BOLZANI, H.R. **Fotobioreator Flat Panel e Lagoa Raceway: avaliação do cultivo de microalgas nativas para tratamento e recuperação de nutrientes de esgoto sanitário anaeróbico de alta carga.** 2023. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 217 p.
- BRASIL. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral - ano de referência 2021.** Brasília, 2022.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Brasília, 2020.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 397, de 03 de abril de 2008.** Brasília, 2008.
- GALLETTI, A.; VERLICCHI, P.; RANIERI, E. Removal and accumulation of Cu, Ni and Zn in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Contribution of vegetation and filling medium. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 5097–5105, 2010.
- KOUKI, S.; SAIDI, N.; M’HIRI, F.; HAFIANE, A.A Comparative Study of Nutrients, Cadmium, and Chromium Bioremoval Efficiencies of Three Emergent Macrophytes From a Metal Contaminated Wastewater. **Clean – Soil, Air, Water**, v. 43, n. 11, p. 1531–1537, 2015.
- POLOMSKI, R.F.; TAYLOR, M.D.; BIELENBERG, D.G.; BRIDGES, W.C.; KLAINE, S.J.; WHITWELL, T. Nitrogen and Phosphorus Remediation by Three



Floating Aquatic Macrophytes in Greenhouse-Based Laboratory-Scale Subsurface Constructed Wetlands. **Water Air Soil Pollut**, v. 197, p. 223-232, 2009.

REHMAN, F.; PERVEZ, A.; MAHMOOD, Q.; NAWAB, B.
Wastewater remediation by optimum dissolve oxygen enhanced by macrophytes in constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 102, p. 112–126, 2017.