

Aplicação da *Wolffia Brasiliensis* como polimento de águas residuárias domésticas de Ilha Solteira - SP

Application of Wolffia Wolffia Brasiliensis as a polish for domestic wastewater from the city of Ilha Solteira - SP

Aplicación de Wolffia Brasiliensis como pulido de aguas residuales domésticas en la ciudad Ilha Solteira - SP

Ana Beatriz Laluce Vaz

Mestranda em Engenharia Civil, Unesp, Brasil
ana.laluce@unesp.br

Adriana Vanessa Mutumbajoy Benavides

Mestranda em Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
adriana.vanessa@unesp.br

RESUMO

O uso irracional dos recursos hídricos, o acelerado crescimento demográfico e a expansão de atividades extrativistas vêm aumentando a escassez da água. Além disso, o despejo inadequado de águas residuárias em corpos hídricos tem os tornado inutilizáveis. Os efluentes de origem doméstica são uma das principais causas da baixa na qualidade das águas superficiais, isto porque a maior parte dessas águas residuais não recebem um tratamento adequado, sendo descartados com elevada quantidade de matéria orgânica e outros materiais poluentes. Ademais, os recursos financeiros destinados ao tratamento de efluentes domésticos são escassos no Brasil. Diante disso, torna-se fundamental a implementação de tecnologias de tratamento com baixo custo de instalação, manutenção e operação, que apresentem resultados eficientes. Neste cenário, o uso de macrófitas aquáticas como forma de polimento de águas residuárias vem se apresentando como solução viável, tendo em vista que possuem baixo custo de instalação e manutenção quase inexistente. O trabalho em questão busca analisar a eficiência do polimento de esgoto com a macrófita do gênero *Wolffia*, espécie *Brasiliensis*, utilizando o efluente tratado em lagoa de estabilização na ETE de Ilha Solteira-SP. A pesquisa consiste em quatro caixas de cultivo, de forma que duas delas seja utilizada como forma de controle a autodepuração, contendo apenas o efluente, e outras duas que possuem a planta como forma de polimento. Além disso, utilizam-se duas formas de cultivo e tratamento, uma em condições artificiais, realizada na parte interna do laboratório e outra em condições naturais, realizada na parte externa. Em todas as unidades experimentais, realizou-se a análise dos seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total (NT) e turbidez. Ao fim do experimento, obteve-se uma maior eficiência de remoção em ambas as caixas que contém a *Wolffia*, quando em comparação as caixas controles, para todos os parâmetros analisados. As maiores eficiências de remoção para as caixas com a *Wolffia* foram, respectivamente, para a DQO, DBO, NT e turbidez, 78%, 90%, 70% e 99%, enquanto a caixa controle apresentou capacidade de autodepuração de 63%, 31%, 38% e 80%.

PALAVRAS-CHAVE: Polimento de esgoto. Macrófitas aquáticas. *Wolffia*.

SUMMARY

*The irrational use of water resources, accelerated demographic growth and the expansion of extractive activities have increased water scarcity. Furthermore, inadequate dumping of wastewater into water bodies has rendered them unusable. Effluents of domestic origin are one of the main causes of the low quality of surface waters, because most of these wastewaters do not receive adequate treatment, being discarded with a high amount of organic matter and other polluting materials. Furthermore, financial resources allocated to the treatment of domestic effluents are scarce in Brazil. In view of this, it is essential to implement treatment technologies with low installation, maintenance and operation costs, which provide efficient results. In this scenario, the use of aquatic macrophytes as a way of polishing wastewater has been presented as a viable solution, considering that they have low installation costs and almost non-existent maintenance. The work in question seeks to analyze the efficiency of sewage polishing with the macrophyte of the genus *Wolffia*, *Brasiliensis* species, using the effluent treated in a stabilization lagoon at the Ilha Solteira-SP ETE. The research consists of four cultivation boxes, so that two of them are used as a form of self-purification control, containing only the effluent, and two others that contain the plant as a form of polishing. Furthermore, two forms of cultivation and treatment are used, one under artificial conditions, carried out inside the laboratory and the other under natural conditions, carried out outside. In all experimental units, the following parameters were analyzed: Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Nitrogen (TN) and turbidity. At the end of the experiment, a greater removal efficiency was obtained in both boxes containing *Wolffia*, when compared to the control boxes, for all parameters analyzed. The highest removal efficiencies for the boxes with *Wolffia* were, respectively, for COD, BOD, TN and turbidity, 78%, 90%, 70% and 99%, while the control box presented a self-purification capacity of 63%, 31%, 38% and 80%.*

KEYWORDS: Wastewater polishing. Aquatic macrophytes. *Wolffia*.

RESUMEN

El uso irracional de los recursos hídricos, el crecimiento demográfico acelerado y la expansión de las actividades extractivas han aumentado la escasez de agua. Además, el vertido inadecuado de aguas residuales en los cuerpos de agua los ha vuelto inutilizables. Los efluentes de origen doméstico son una de las principales causas de la baja calidad de las aguas superficiales, debido a que la mayoría de estas aguas residuales no reciben el tratamiento adecuado,

*siendo desechadas con una alta cantidad de materia orgánica y otros materiales contaminantes. Además, los recursos financieros destinados al tratamiento de efluentes domésticos son escasos en Brasil. Ante esto, es fundamental implementar tecnologías de tratamiento con bajos costos de instalación, mantenimiento y operación, que proporcionen resultados eficientes. En este escenario, el uso de macrófitos acuáticos como forma de depuración de aguas residuales se ha presentado como una solución viable, considerando que tienen bajos costos de instalación y un mantenimiento casi inexistente. El trabajo en cuestión busca analizar la eficiencia del pulido de aguas residuales con macrófitos del género *Wolffia*, especie *Brasiliensis*, utilizando el efluente tratado en una laguna de estabilización en la ETE Ilha Solteira-SP. La investigación consta de cuatro cajas de cultivo, de modo que dos de ellas se utilizan como forma de control de autodepuración, conteniendo únicamente el efluente, y otras dos que contienen la planta como forma de pulido. Además, se utilizan dos formas de cultivo y tratamiento, una en condiciones artificiales, realizada dentro del laboratorio y otra en condiciones naturales, realizada al aire libre. En todas las unidades experimentales se analizaron los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno total (NT) y turbidez. Al final del experimento, se obtuvo una mayor eficiencia de eliminación en ambas cajas que contenían *Wolffia*, en comparación con las cajas de control, para todos los parámetros analizados. Las mayores eficiencias de remoción para las cajas con *Wolffia* fueron, respectivamente, para DQO, DBO, NT y turbiedad, 78%, 90%, 70% y 99%, mientras que la caja de control presentó una capacidad de autopurificación de 63%, 31%, 38% y 80%.*

PALABRAS CLAVE: *Pulido de aguas residuales. Macrófitas acuáticas. *Wolffia*.*

1 INTRODUÇÃO

O recurso água é o bem mais valioso, composto inesgotável no planeta terra, e frequentemente chamada como solvente universal, desde as sociedades antigas a água é considerada um elemento fundamental para todo ser vivo, embora 70% da superfície terrestre seja coberta por água, apenas 2,5% é doce, e grande parte ainda se encontra na forma de geleiras, águas subterrâneas e outros reservatórios, com isso escassamente uma fração mínima está disponível para uso humano (CASARIN; DOSSANTOS, 2011; HOSSAIN, 2015).

O uso irracional dos corpos hídricos tem gerado grandes pressões ambientais a nível mundial, produto do incremento populacional, e em decorrência da extensa demanda per capita de proteína e energia alimentar (ROCKSTROM et al., 2007), cerca de um 40% da população mundial e vários ambientes ecossistêmicos estão lidando com as consequências da escassez d'água e, também, problemas ambientais associados com a poluição hídrica (PFISTER et al., 2011).

Incorporar substâncias poluentes assim como eliminar resíduos derivados da vida cotidiana humana ou de atividades produtivas de forma inapropriada, junto com o gerenciamento inadequado, terminam por agredir o meio aquático, principalmente desenvolvendo processos poluidores (ANA, 2021). Da mesma forma, a multiplicidade de efeitos ambientais, a diminuição da qualidade e quantidade do fornecimento de água são aspectos de grande preocupação (KONCAGÜL et al., 2021).

Conforme o descrito por Carr e Neary (2008), os efluentes de origem doméstico são considerados um dos principais responsáveis da afetação na qualidade das águas superficiais, pois grande parte dessas águas residuais, voltam ao ecossistema aquático sem oportuno tratamento, por conseguinte, não existe garantia da remoção total dos compostos contaminantes, e com todo, as características físicas, químicas e biológicas da água, sofrem alterações, ocasionando enormes impactos nos corpos receptores.

Em vista disso, precisa-se de aplicação de metodologias idôneas para utilização da água de maneira que se consiga a diminuição das sequelas prolongadas, resultando em altos índices de poluição e em sucessão disso na degradação dos ecossistemas aquáticos (FAO, 2018).

O tratamentos de água é a principal medida com objetivo de evitar a poluição dos recursos hídricos (BATISTELA; SOUZA, 2021), mesmo que existem diversas formas de tratamento de água convencionais, a grande maioria tem custos elevados e em alguns casos, provocam riscos ambientais de ordem secundário, nesse sentido pouco tempo atrás transcorreu a implementação de novos métodos sustentáveis e ecológicos, no caso particular o uso de vegetais para o tratamento nessa gama divergente de águas residuais (EKPERUSI et al., 2019).

Para Xu; Shen (2011) as plantas já estão sendo empregadas no tratamento de efluentes, que através da ciclagem de nutrientes funcionam como um sistema co-benéfico para o vegetal e o ambiente, conseguindo melhoria da qualidade de água de corpos hídricos, com a distribuição homogênea do recurso, além disso, opera com baixos custos produtivos e é de fácil manutenção, podendo também criar produtos de valor, utilizando a biomassa após a fitorremediação (XU; SHEN, 2011).

As macrófitas aquáticas conhecidas comumente como hidrófitas é um dos vegetais maiormente incorporados nas pesquisas para o tratamento de águas residuárias, conformam um grupo de plantas visíveis a olho nu, cuja diversidade taxonômica abrange amplitude de espécies, seu ciclo de vida transcorre de maneira completa o periodicamente num ambiente

aquático, e cujos mecanismos adaptativos lhes permitem adaptar-se a abundantes ecossistemas, desde, corpos de água doce, áreas superficiais, zonas inundadas, bem como ambientes de água salobre e marinha (REJMÁNKOVÁ, 2011; LESIV et al., 2020).

Conforme o citado por Uysal (2013), geralmente para efluentes que contém elevada concentração de nutrientes é viável que sejam empregadas algumas adaptações de polimento, e como alternativa para estes sistemas de tratamento em nível terciário podem ser utilizadas lagoas com macrófitas flutuantes.

Dentre à variedade de espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, destacam-se as popularmente conhecidas como “lentilha d’água”, são as menores angiospermas, que constituem à família *Lemnaceae* (REJMÁNKOVÁ, 2011). Esta família possui cinco gêneros, sendo que a planta inteira do gênero *Wolffia* tem aproximadamente 1 mm de diâmetro, frequentemente crescem em superfícies de água doce e como não estão enraizadas no sedimento absorvem os nutrientes diretamente da água (POTT; POTT, 2000).

Apresentam grandes taxas de crescimento entre as plantas vasculares, frequentemente dobram sua biomassa entre dois ou três dias de cultivo, conforme os requerimentos de nutrientes, temperatura, pH e luminosidade estão nas faixas ótimas para seu desenvolvimento (THOMAZ; BINI, 2003).

As lentilhas-d’água têm um destaque importante no tratamento de águas residuais por sua capacidade na remoção de contaminantes poluidores, como: os compostos nitrogenados, fosfatados, dióxido de carbono (CO₂) (STOMP, 2005; LIU et al., 2017); metais pesados (PIO et al., 2010; BOKHARI et al., 2016) e entre outros contaminantes, ademais conseguem eficiências maiores na remoção de matéria orgânica como forma de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos, e como limitam a entrada de luz, diminuem a proliferação de algas (CHENG et al., 2002).

Mais recentemente, algumas plantas do gênero *Wolffia* despertaram interesse na aplicação do tratamento biológico em efluentes, devido a seu rápido crescimento e reprodução, representados em alta produção de biomassa, alta taxa de recuperação de nutrientes e a concentração de proteínas, amido e flavonóides (ZHAO et al., 2014).

Se caracterizam por sua distribuição cosmopolita, geralmente encontram-se os ecossistemas lênticos e na maioria dos continentes (SREE et al., 2015a), se reprodução ocorre mediante processos de propagação vegetativa, que se vem refletidos num crescimento acelerado com uma taxa média que varia entre 0,155 a 0,559/d (SREE et al., 2015b).

Segundo Romano e Aronne (2021) esse crescimento exponencial, característica principal pela qual essas plantas têm sido alvo de pesquisa no tratamento de esgoto, está relacionado à sua elevada absorção de nutrientes como nitrogênio, fósforo e amônio principalmente, que também é possível mediante relações simbióticas estabelecidas com microrganismos bacterianos que coadjuvam nesses mecanismos de assimilação.

A pesar de que o tratamento de águas residuais utilizando mecanismos biológicos com o uso de plantas aquáticas é uma técnica de remediação e se estabelece como uma iniciativa importante no século XXI, com requerimentos econômicos mínimos para sua operação, e altos índices de eficiência em remoção de compostos poluidores, são poucas às avaliações realizadas com espécies de *Wolffia*, nesse sentido o presente estudo visa efetuar o tratamento terciário do esgoto proveniente da estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE) da cidade de Ilha Solteira no estado de São Paulo, manejando para a remediação a *Wolffia Brasilensis*.

2 OBJETIVOS

O trabalho em questão tem como principal objetivo confirmar a eficiência da *Wolffia Brasiliensis*, nas condições de cultivo propostas em laboratório, como forma de polimento de águas residuárias domésticas analisando os parâmetros de: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), Nitrogênio Total (NT) e turbidez, além de verificar a influência das condições externas neste processo.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na parte interna e externa do Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – SP UNESP/FEIS.

O gênero de macrófita utilizada em toda a pesquisa é a *Wolffia*, espécie *Brasiliensis*.

Para o experimento, utilizam-se quatro caixas de cultivo retangulares com 12L de capacidade. Todas as caixas possuem efluente tratado anteriormente na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Ilha Solteira – SP.

Duas caixas eram cultivadas na parte interna ao laboratório, uma delas possui a *Wolffia Brasiliensis* como hipótese de polimento, a densidade inicial adotada para a macrófita foi de $250\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. A outra unidade experimental possui apenas o efluente tratado, de forma que ela seja utilizada como controle a autodepuração, como mostra a Figura 1. Desta forma, torna-se possível comparar os resultados obtidos na unidade experimental da planta aos resultados da depuração do próprio efluente, garantindo que estes sejam influenciados pela macrófita.

Figura 1 – Unidades experimentais utilizadas na parte interna ao laboratório.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Ambas as unidades experimentais foram alocadas em uma caixa de madeira que continha um sistema de iluminação artificial, ligada em um timer analógico para controle de fotoperíodo, como mostra a Figura 2. A lâmpada adotada possui 2700K e 105 W, com luz amarela e o fotoperíodo adotado foi de 12 horas, com a finalidade de simular a luz solar.

Figura 2 – Sistema utilizado na parte interna ao laboratório.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Outras duas caixas eram cultivadas na parte externa do laboratório, recebendo influência direta da luz do sol, como mostra a Figura 3. Assim como na parte interna, em uma das unidades experimentais é realizado o cultivo da *Wolffia Brasiliensis*, com $250\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ e outra serve como forma de controle.

Figura 3 – Unidades experimentais utilizadas na parte externa ao laboratório.



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

As análises foram realizadas por 35 dias consecutivos e, semanalmente, realizou-se a reposição do efluente que evapora das unidades experimentais.

Os parâmetros de DBO, DQO, NT e turbidez foram analisados utilizando adaptações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017). Ademais, realizou-se o monitoramento dos parâmetros de oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura (T), para verificar as condições ideais de desenvolvimento da macrófita. Os parâmetros e suas sequências estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros analisados e suas frequências.

Parâmetro Analisado	Frequência de Amostragem
DBO (mg/L)	Semanal
DQO (mg/L)	3x por semana
OD (mg/L)	Semanal
pH (-)	Semanal
NT (mg/LN)	Semanal
T (°C)	Semanal
Turbidez (NTU)	Semanal

Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Para a análise eficiência de remoção de DBO, DQO, NT e turbidez realizou-se a diferença da concentração destes parâmetros no início e no final de cada ciclo. Para o cálculo da eficiência de redução dos parâmetros foi utilizada a Equação 1.

$$E = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100 \quad [1]$$

Em que E (%) = eficiência de remoção dos parâmetros de análise;

C_i = concentração no início do polimento;

C_f = concentração final, após o processo de polimento.

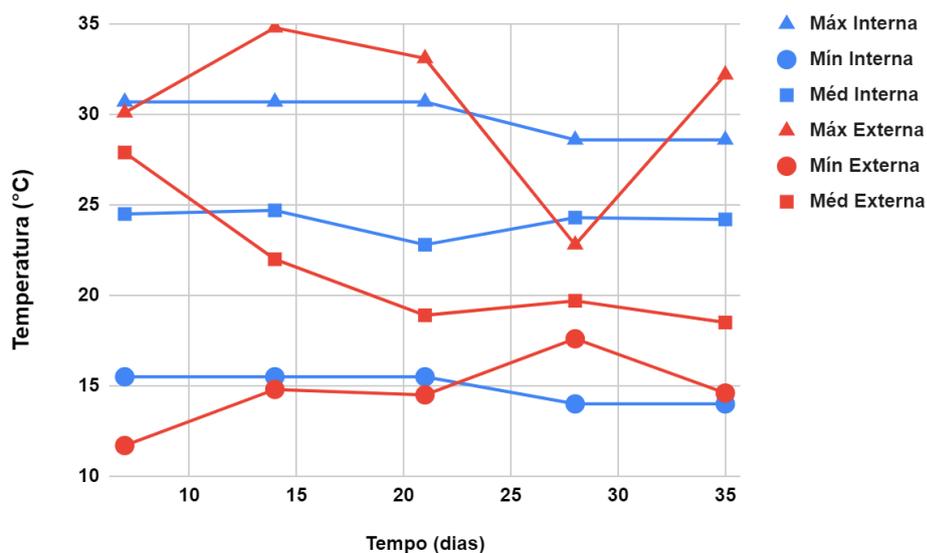
4 RESULTADOS

A apresentação dos resultados compreende valores da:

- CI: caixa para controle da autodepuração interna;
- CW: caixa interna que contém a *Wolffia Brasiliensis*;
- CE: a caixa controle localizada na parte externa ao laboratório;
- PE: a caixa externa que possui a *Wolffia Brasiliensis*;

Os resultados para a temperatura, durante os 35 dias de experimento, apresentam-se na Figura 4.

Figura 4 – Resultados para temperatura interna e externa ao laboratório.

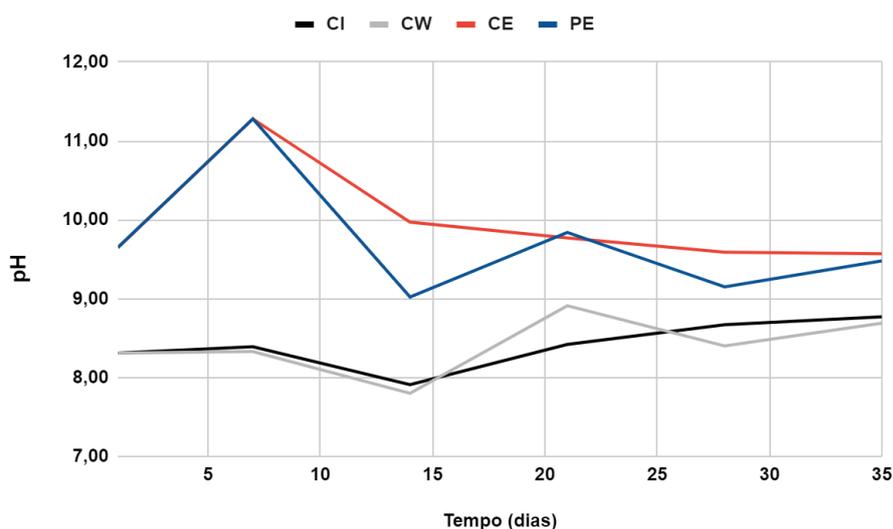


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Nota-se, com a análise da Figura 4, que a temperatura média, tanto internamente quanto externamente, mantém-se entre 20°C e 30°C. Para seu crescimento adequado, a *Wolfia* necessita de uma temperatura de 17,5°C a 30°C (GAIGHER; SHORT, 1986; HASAN; CHAKRABARTI, 2009), deste modo, percebe-se uma temperatura adequada ao desenvolvimento da macrófita em todo o desenvolvimento da pesquisa.

A Figura 5 apresenta os resultados para o pH, durante os 35 dias de análise.

Figura 5 – Resultados para pH.

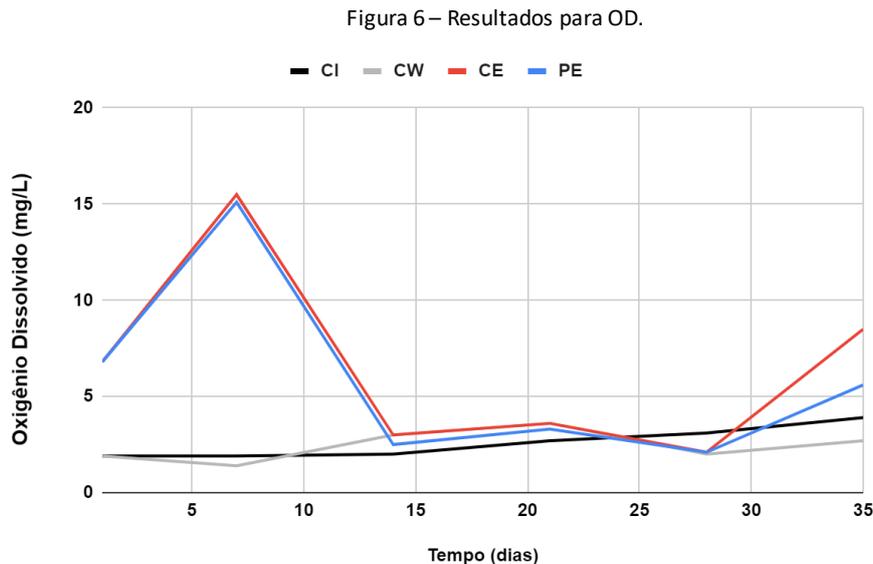


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

De acordo com a Figura 5, observa-se um comportamento semelhante em relação ao resultado do pH entre ambas as caixas internas, diferindo-se das caixas externas, que apresentam um comportamento semelhante entre si.

Citado por Skillicorn; Spira; Journey (1993), o valor ideal do pH para o desenvolvimento da *Wolffia* seria de 7,00 a 8,00, entretanto, observa-se valores maiores em ambas as caixas de cultivo, alterações estas que não prejudicaram o desenvolvimento da macrófita, tendo em vista que a densidade manteve-se estável do início ao fim do experimento.

A Figura 6 apresenta os resultados para o oxigênio dissolvido, durante os 35 dias de análise.

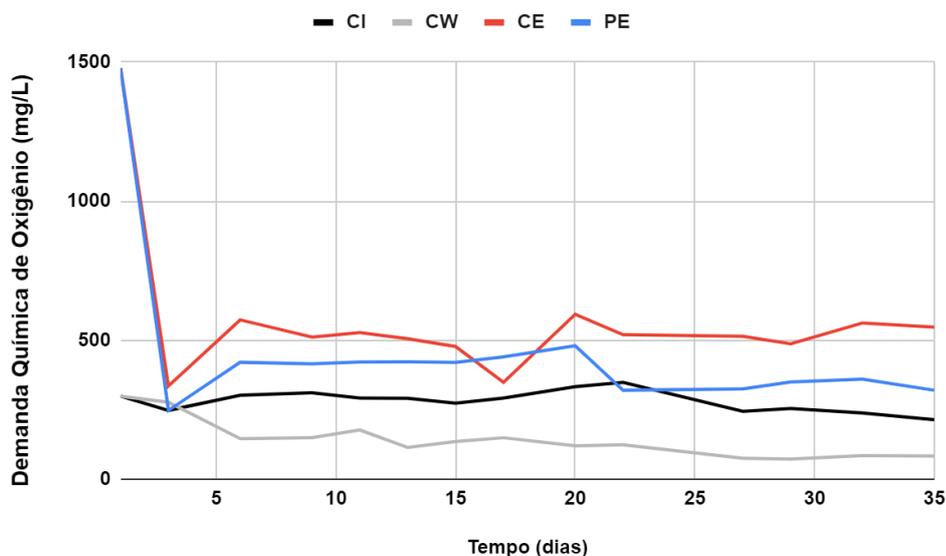


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Assim como o parâmetro do pH, as caixas internas apresentam comportamento semelhantes entre, diferindo-se das caixas externas, que apresentam maior valor de OD.

A Figura 7 apresenta os resultados para a remoção de demanda química de oxigênio (DQO).

Figura 7 – Resultados para DQO.

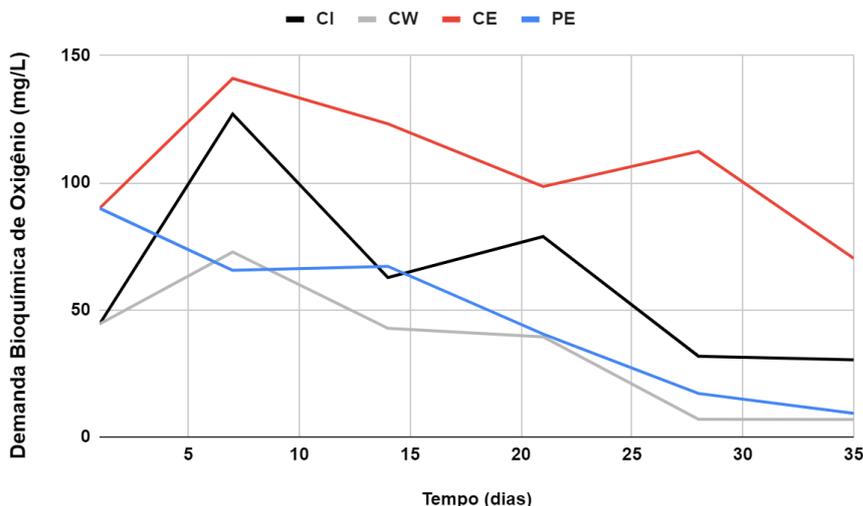


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Ao fim do ciclo de 35 dias, nota-se uma eficiência de remoção de DQO de 72% para a caixa de cultivo da *Wolffia* interna e 78% para a externa, enquanto a caixa controle interna apresentou capacidade de autodepuração de 28% e a externa de 63%. Em ambos os casos, a caixa de cultivo com a macrófita apresentou melhor desempenho quando em comparação a caixa controle.

A Figura 8 apresenta os resultados para remoção de demanda bioquímica de oxigênio.

Figura 8 – Resultados para DBO.

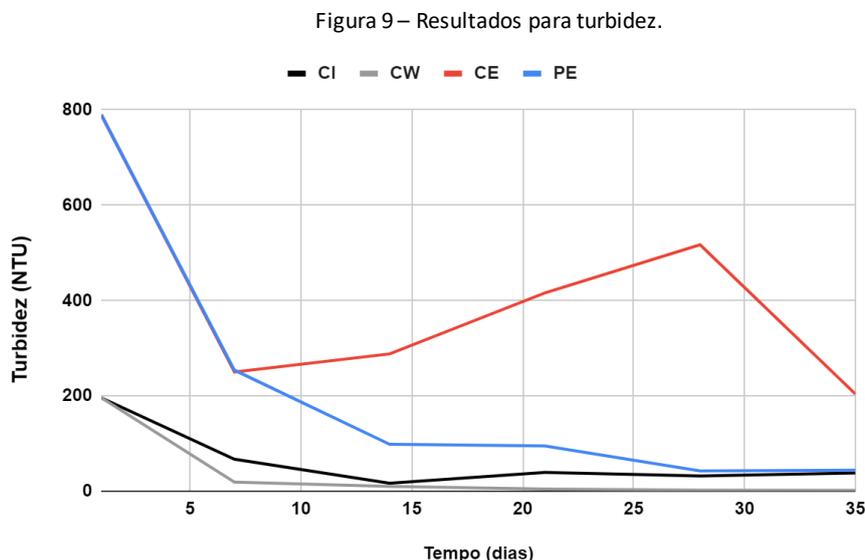


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

Com a análise da Figura 8, conclui-se que, ao final do ciclo de 35 dias, a caixa interna de cultivo da planta apresentou eficiência de remoção da DBO de 84% e a externa de 90%, a caixa controle interna apresentou capacidade de autodepuração de 31% e a externa de 22%.

Assim como para o parâmetro da DBO, ambas as caixas de multivo da *Wolffia* apresentaram desempenho positivo sobre a capacidade de autodepuração.

A Figura 9 apresenta os resultados para a turbidez, durante os 35 dias de experimento.

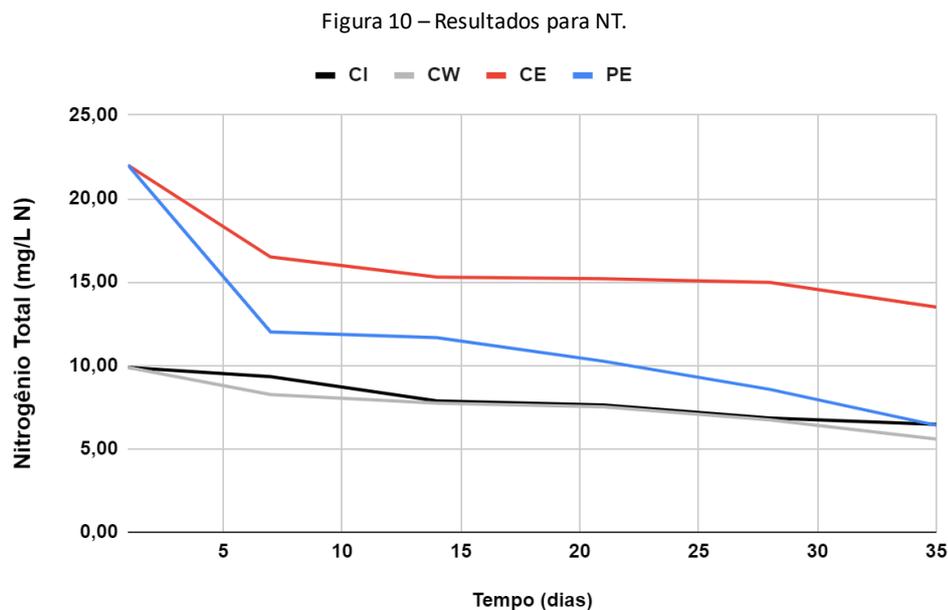


Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

De acordo com a Figura 9, nota-se um resultado positivo para ambas as formas de cultivo da *Wolffia*, quando em relação as caixas controles.

A caixa de cultivo da macrófita interna apresentou eficiência na remoção de turbidez de 99% e a externa de 94%, a caixa controle interna apresentou eficiência de autodepuração de 80% e a externa de 74%.

A Figura 10 apresenta resultados para a remoção do Nitrogênio Total (NT).



Fonte: O PRÓPRIO AUTOR.

De acordo com o exposto na Figura 10, observa-se uma eficiência de remoção do nitrogênio total de 43% para a caixa CI e 71% para a caixa CE, ambas com cultivo de *Wolffia*. A caixa controle interna apresentou eficiência de autodepuração de 34% e a externa de 38%. Deste modo, nota-se um comportamento positivo para a *Wolffia* na remoção de NT.

5 CONCLUSÃO

De acordo com o observado nos resultados, conclui-se uma eficiência de remoção dos parâmetros analisados (DQO, DBO e turbidez) consideravelmente maior na caixa de cultivo que contém a *Wolffia* quando em comparação com a autodepuração do efluente da caixa controle.

Ademais, os resultados podem apresentar oscilações em todos os parâmetros de ambas as caixas, possivelmente causado pela reposição semanal de efluente, influenciando diretamente na análise dos parâmetros analisados após inserção do novo efluente.

Além disso, nota-se que as diferentes formas de cultivo, interna e externa ao laboratório, apresentam diferenças no comportamento do tratamento, entretanto, com resultados finais semelhantes. Estas diferenças podem ser causadas pela maior quantidade de algas nas caixas externas, influenciadas diretamente pela luz do sol.

Mesmo com isso, pode-se considerar um resultado positivo para o processo de polimento com a *Wolffia Brasiliensis*.

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno**. 2021. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br>. Acesso em: 11 out. 2023.

BATISTELLA, P.; SOUZA, O. Poluição Ambiental: uma análise espacial do tratamento de efluentes dos municípios brasileiros. In: Encontro de economia da região do sul, 14., 2021, Santa Catarina. **Anais [...]**. Santa Catarina: UFSC, 2021. P 1-18.

BOKHARI, S. H.; AHMAD, I.; MAHMOOD-UL-HASSAN, M.; MOHAMMAD, A. Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals. **International Journal of Phytoremediation**, ano 18, n. 1, p. 25-32, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2015.1058331>.

CARR, G. M.; NEARY, J. P. **Water Quality for Ecosystem and Human Health**, 2 ed. Ontario: United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System (UNEP GEMS), 2008. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/12217>. Acesso: 11 out. 2023.

CASARIN, F.; DOS SANTOS, M. **Água: o ouro azul: usos e abusos dos recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Garamond Ltda, 2011. Disponível em: garamond.com.br. Acesso em: 10 out. 2023.

CHENG, J.; BERGMAN, B. A.; CLASSEN, J. J.; STOMP, A. M.; HOWARD, J. W. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata*. **Bioresource Technology**, Amsterdam, ano. 81, n. 1, p. 81–85, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00098-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00098-0).

EKPERUSI, A. O.; SIKOKI, F. D.; NWACHUKWU, E. O. Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: state and future perspective. **Chemosphere**, Oxford, ano. 223, p. 285-309, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.025>. Acesso em: 12 out. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture: Meeting the sustainable development goals**. Roma: FAO, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf>. Acesso em: 11 out. 2023.

GAIGHER, I. G.; SHORT, R. An evaluation of duckweed (Lemnaceae) as a candidate for aquaculture in South Africa. Em: **Aquaculture 1980 Report Series**. 15. ed. Canberra: Wamsley R. D., Wan J. G., 1986. p. 81–90.

HASAN, M. R.; CHAKRABARTI, R. **Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: a review**. Rome: FAO, 2009.

HOSSAIN, Z. M. WATER: THE MOST PRECIOUS RESOURCE OF OUR LIFE. **Global Jornal of Advanced Research**, Oman, ano 2, n. 9, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mohammad-Hossain/108/publication/282573650_WATER_THE_MOST_PRECIOUS_RESOURCE_OF_OUR_LIFE/links/5612781e08ae400c16aecab8/WATER-THE-MOST-PRECIUS-RESOURCE-OF-OUR-LIFE.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

KONCAGÜL, E.; TRAN, M.; CONNOR, R. **The United Nations world water development report 2021: valuing water; facts and figures**. Perugia: UNESCO, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751>. Acesso em: 11 out. 2023.

LESIV, M. S.; POLISHXHUK, A. I.; ANTINYAK, H. L. Aquatic macrophytes: ecological features and functions. *Studia Biologica*, Leopoldis, ano 14, n. 2, p. 79-94, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1402.619>.

LIU, C.; DAI, Z.; SUN, H. Potential of duckweed (*Lemna minor*) for removal of nitrogen and phosphorus from water under salt stress. **Journal of Environmental Management**, ano 187, p. 497-503, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.006>. Acesso em: 12 out. 2023.

PFISTER, S.; BAYER, P.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Environmental Impacts of Water Use in Global Crop Production: Hotspots and Trade-Offs with Land Use. **Environmental Science & Technology**, Zurich, ano 45, n. 13, p. 5761. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/es1041755>. Acesso em: 12 out. 2023.

PIO, M. C.; SOUZA, K.; SANTANA, G. P. Capacidade da *Lemna aequinoctialis* para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta Amazônica**, Amazonas, ano 3, n. 2, p. 203-210, 2013. Disponível em: <https://scielo.br/j/aa/a/W8XG9Xyxf8Qf9kFMQsTbQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2023.

POTT, J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do pantanal**. Brasília: EMPRAPA, 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/806137>. Acesso em: 12 out. 2023.

REJMÁNKOVÁ E. The role of macrophytes in wetland ecosystems. **Journal of Ecology and Field Biology**, Davis, ano 34, n. 4, p. 333–345, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5141/JEFB.2011.044>. Acesso em: 12 out. 2023.

ROCKSTROM, J.; LANNERSTAD, M.; FALKENMARK, M. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Riverside, ano 104, n. 14, p. 6253, 31 jan, 2007. Disponível em: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0605739104. Acesso em: 10 out. 2023.

ROMANO, L.; ARONNE, G. The World Smallest Plants (*Wolffia* Sp.) as Potential Species for Bioregenerative Life Support Systems in Space. **Plants**, ano. 10, n. 1986, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/9/1896>. Acesso em: 14 out. 2023.

SKILLICORN, P.; SPIRA, W.; JOURNEY, W. **Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries**. Washington DC/USA: World 148 Bank, 1993. Disponível em: <https://digitalibrary.un.org/record/138350>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SREE, K. S.; MAHESHWARI, S. C.; BOKA, K.; KHURANA, J. P.; KERESZTES, Á.; APPENROTH, K. J. The duckweed *Wolffia microscopica*: A unique aquatic monocot. **Flora - Morphology Distribution, Functional Ecology Plants**, ano. 210, p. 31–39, 2015a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2014.10.006>. Acesso em: 14 out. 2023.

SREE, K.S.; SUDAKARAN, S.; APPENROTH, K. J. How fast can angiosperms grow? Species and clonal diversity of growth rates in the genus *Wolffia* (Lemnaceae). **Acta Physiologiae Plantarum**, ano. 37, n. 204, p. 1-7, 2015b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1951-3>. Acesso em: 14 out, 2023.

STOMP, A. M. The duckweeds: a valuable plant for biomanufacturing. **Biotechnology Annual Review**, ano 11, p. 69-99. 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1387-2656\(05\)11002-3](https://doi.org/10.1016/S1387-2656(05)11002-3). Acesso em: 12 out. 2023.

TOMAZ, S. M.; BINI, L. M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sidinei-Thomaz/publication/309384537_Macrofitas_aquaticas_em_Itaipu_Ecologia_e_perspectivas_para_o_manejo/links/582440ab08ae61258e3ce7d5/Macrofitas-aquaticas-em-Itaipu-Ecologia-e-perspectivas-para-o-manejo.pdf. Acesso em: 12 out. 2023.

UYSAL, Y. Removal of chromium ions from wastewater by duckweed *Lemna minor*. by using a pilot system with continuous flow. **Journal of Hazardous Materials**, ano. 253, n. 2 p. 486-492, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.10.006>. Acesso em: 12 out. 2023.

XU, J.; SHEN, G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. **Bioresource Technology**, ano. 102, n. 2, p. 848-853, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.003>. Acesso em: 11 out. 2023.

ZHAO, Y.; FANG, Y.; JIN, Y.; HUANG, J.; BAO, S.; FU, T.; HE, F.; WANG, F.; WANG, M.; ZHAO, H. Pilot-scale comparison of four duckweed strains from different genera for potential application in nutrient recovery from wastewater and valuable biomass production. **Plant Biology**, ano. 17, n. 1, p. 82–90. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24942851/>. Acesso em: 13 out. 2023.