

Fitorremediação como tecnologia sustentável no tratamento de efluentes industriais

Phytoremediation as a sustainable technology in the treatment of industrial effluents

Fitorremediación como tecnología sostenible en el tratamiento de Efluentes industriales

Sidney de Araújo

Graduando, IFPR, Brasil.
sydney_araujo@hotmail.com

Aline Rocha Borges

Professora Doutora, IFPR, Brasil.
aline.rocha@ifpr.edu.br

RESUMO

A fim de reduzir os danos ao meio, é imprescindível que as indústrias adotem estratégias que adequem suas atividades ao equilíbrio entre o desenvolvimento industrial e econômico aos cuidados ambientais. Portanto, este estudo abordou a utilização das macrófitas lemna para o controle de parâmetros físico-químicos em efluentes de uma indústria de óleo de soja, visando a economia de custos e proporcionando uma estratégia de tecnologia sustentável. Os resultados mostraram que as lemna foram capazes de controlar os níveis de pH, DQO e DBO, mantendo-os dentro dos padrões estabelecidos. Esse processo proporcionou a redução dos gastos da empresa com produtos químicos e, concomitantemente, o emprego de uma tecnologia sustentável altamente eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação. Indústrias. Sustentabilidade.

SUMMARY

In order to reduce damage to the environment, it is essential that industries adopt strategies that adapt their activities to the balance between industrial and economic development and environmental care. Therefore, this study addressed the use of lemna macrophytes for the control of physicochemical parameters in effluents of a soybean oil industry, aiming at cost savings and providing a sustainable technology strategy. The results showed that lemna were able to control pH, COD and BOD levels, keeping them within the established standards. This process provided the reduction of the company's expenses with chemical products and, concomitantly, the use of a highly efficient sustainable technology.

KEYWORDS: Phytoremediation. Industries. Sustainability.

RESUMEN

Para reducir el daño al medio ambiente, es esencial que las industrias adopten estrategias que adapten sus actividades al equilibrio entre el desarrollo industrial y económico y el cuidado del medio ambiente. Por lo tanto, este estudio abordó el uso de macrófitas lemna para el control de parámetros fisicoquímicos en efluentes de una industria de aceite de soja, con el objetivo de ahorrar costos y proporcionar una estrategia tecnológica sostenible. Los resultados mostraron que los lemna fueron capaces de controlar los niveles de pH, DQO y DBO, manteniéndolos dentro de los estándares establecidos. Este proceso proporcionó la reducción de los gastos de la empresa con productos químicos y, concomitantemente, el uso de una tecnología sostenible altamente eficiente.

PALABRAS CLAVE: Fitorremediación. Industrias. Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios das empresas nos últimos anos, tem sido implementar a sustentabilidade em seus processos industriais e, com isso, adequar a sua produção ao meio ambiente, evitando grandes impactos que possam prejudicar a natureza. Neste contexto, surge o conceito de indústria sustentável, o qual visa aliar o desenvolvimento econômico ao cuidado ambiental, preservando, assim, as condições do planeta para as gerações futuras.

Segundo Marques (2015), a gestão ambiental é fundamental para toda organização, independentemente do seu ramo de atuação. Isso porque o público e o mercado passam a associar o nome da empresa à preservação ambiental, o que favorece sua imagem perante os clientes e concorrentes. As organizações que incentivam a prática deste tipo de gestão podem absorver diversos benefícios, como a redução de gastos e custos por meio da diminuição do desperdício de água e energia por meio da reutilização de materiais.

Segundo Silva (2021), por volta de 1970, a indústria pareceu ser apenas uma solução para baratear produtos através da produção em massa das máquinas, essa lógica acabou gerando uma série de desdobramentos não planejados, dentre eles, os impactos prejudiciais ao meio ambiente; porém se for reconhecido quais são esses é possível implementar práticas de desenvolvimento sustentável.

As indústrias que utilizam afluentes para manter sua produção, devem seguir as instruções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é o órgão responsável por regularizar os processos de captação e destinação de rejeitos líquidos, atendendo o disposto na resolução nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Porém, a grande problemática dos efluentes líquidos que são produzidos durante e depois dos processos industriais é a adequação dos parâmetros ambientais. Este é um fator que causa custo excessivo para as indústrias, tendo em vista que os tratamentos tradicionais de efluentes se caracterizam pelo uso de grandes quantidades e concentrações de produtos químicos. Além disso, o uso desses abrasivos; provoca enorme impacto ambiental (AMBIENTAL TERA, 2019).

O efluente gerado no processo de industrialização do óleo de soja possui alta concentração de demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais e dissolvidos, óleos e graxas, dentre outros componentes orgânicos. Portanto, pode causar impactos significativos se descartado em sua forma bruta no meio ambiente (ALTHER, 2008; YANG, 2007). Essa é a razão em optar por um sistema de tratamento adequado, no qual se possa levar em consideração os tipos e concentração de contaminantes presentes no efluente, a qualidade necessária do efluente após o tratamento, a vazão a ser tratada, os métodos e opções que possuam análise custo/benefício. Desta forma, faz-se necessário uma análise do sistema de produção associado ao sistema de tratamento (MORITA, 2022).

Neste contexto, as metodologias alternativas para descontaminação, têm se destacado, incluindo a fitorremediação, a qual se caracteriza pelo uso de plantas para a descontaminação de ambientes impactados por poluentes orgânicos ou inorgânicos (PIRES et al., 2005), tais plantas podem degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes dos solos e das águas (ROCK, 2000). O sucesso de tal técnica depende da interação de diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem entre as plantas e o ambiente do entorno e que apresenta vantagens como a aplicabilidade simples, não necessita de operadores com qualificação profunda, custo baixo, além de manutenção simples (TAVARES, 2013).

Portanto, a fitorremediação com plantas aquáticas torna-se um atrativo para as industriais, pois contribui com a sustentabilidade além de gerar economia financeira com o tratamento do meio. Os processos são distintos para cada contaminante envolvido, compreendendo a fitoextração, a fitoestabilização, a fitovolatilização e a fitodegradação. Portanto, são diferentes processos podem predominar de acordo com as características do contaminante (MORITA, 2022).

A *Lemna minor* é uma planta aquática flutuante que faz parte da família Araceae, comumente conhecida como "lentilha d'água" e é encontrada em corpos d'água em todo o mundo. Estas espécies são assíduas em ecossistemas lênticos como lagos e corpos hídricos salobros na maioria contingentes, são consideradas as menores plantas vasculares existentes e se reproduzem de maneira intensa (MEDEIROS, 2017). A utilização de *Lemna minor* no tratamento de efluentes apresenta várias vantagens em relação aos métodos convencionais de tratamento de efluentes, incluindo baixo custo, alta eficiência e fácil manutenção. No entanto, é importante notar que a eficiência da planta pode ser influenciada por vários fatores, incluindo temperatura, pH, concentração de poluentes e tempo de contato.

De acordo com Regitano-D'arce (2006), o óleo da soja é, universalmente, obtido por extração com solvente, uma mistura de frações parafínicas derivadas do refino do petróleo, conhecido como hexano. Durante a extração, as substâncias não-triglicéridicas de natureza apolar são também solubilizadas pelo solvente e arrastadas para o óleo bruto. O óleo está contido dentro de organelas celulares chamadas esferossomos ou corpos lipídicos espalhados pelo endosperma. A casca contém menos de 6% de óleo, o que justifica sua separação, em algumas plantas industriais. Para que o processo com solvente seja eficiente, o grão passa por uma seqüência de etapas que caracterizam o preparo. São operações que visam à redução de tamanho (quebra) e de espessura (laminação) do grão, de forma a expor o óleo à ação do solvente. Segue-se um aquecimento (condicionamento) para aumentar a fluidez do óleo contido nos esferossomos, facilitando sua dissolução no solvente.

No Brasil, foi desenvolvido um processo complementar do preparo – a expansão – que, por meio do uso da extrusão, torna a matéria-prima porosa e permeável ao solvente. A extração ocorre “a quente”, de forma contínua, por imersão ou por percolação. Do extrator, obtém-se a miscela saturada e o farelo úmido. Ambos devem ser conduzidos por tubulações estanques para equipamentos nos quais o solvente será evaporado, condensado e retornará ao processo. O óleo dessolventizado é o óleo bruto que, somente após a degomagem, pode ser comercializado ou estocado até a hora do refino.

O efluente gerado no processo de refino está em forma de emulsão óleo e água. As gotas de óleo estabilizadas quimicamente, segundo Lelinski (1993), se comportam mais como partículas sólidas que as estabilizadas fisicamente, devido à sua alta densidade de carga superficial e ao tamanho reduzido. Os efluentes contaminados com óleos quando descartados in natura em rios e na rede de esgoto, traz prejuízos a saúde e ao meio ambiente, sendo que 1 litro de óleo pode contaminar cerca de 20 mil litros de água. Os impactos do lançamento de efluentes de óleos em corpos d'água são aumento da carga orgânica consumindo o oxigênio dissolvido da água fazendo com que cause a asfixia da vida aquática, formação do filme flutuante dificultando a troca gasosa e oxigenação, impermeabilização do solo, entupimento de bueiros e contaminando lençóis freáticos (RODRIGUES, 2019).

Por todos esses problemas que os efluentes causam ao meio ambiente, se faz necessário análises rotineiras quanto a destinação dos efluentes ao meio ambiente, e novos meios de tratamento estudados e desenvolvidos em prol da sustentabilidade ambiental.

2 OBJETIVO

Portanto, este trabalho visa aplicar a espécie *lemna minor* no processo de fitorremediação em efluente líquido de uma indústria de produção de óleo de soja, e com isso controlar os níveis de parâmetros físico-químicos sem adição de reagentes químicos, reduzindo assim os gastos da empresa pela utilização de uma metodologia sustentável.

3 METODOLOGIA

A investigação do impacto da fitorremediação foi realizada no efluente da indústria Coopertadição, localizada na cidade de Clevelândia, no Estado do Paraná. A empresa possui três lagoas, sendo a primeira caracterizada como anaeróbica. Isso cria um ambiente propício ao crescimento de bactérias anaeróbicas, que são capazes de decompor a matéria orgânica na água residual na ausência de oxigênio. A segunda lagoa é considerada uma lagoa de estabilização, capaz de fazer remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (como nitrogênio e fósforo) e patógenos (microrganismos causadores de doenças). E a terceira lagoa de maturação que é usada para o polimento final, remoção de patógenos e melhoria da qualidade estética da água tratada. Sendo elas com uma vazão de entrada de 10 a 12 m³ hora, com uma saída final da terceira lagoa de 8 m³ hora.

O estudo foi baseado, primeiramente, na determinação de fatores físico-químicos como pH, DBO e DQO, enquanto a indústria utilizava os meios tradicionais de tratamento como o uso de NaOH e H₂SO₄. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro a partir do ano de 2020 da água superficial.

O tratamento utilizando as lemnas começou em 2020 com a utilização de, aproximadamente, 2kg da macrófita *lemna* na segunda lagoa que caracteriza-se por lagoa de estabilização. Como a macrófita tem um elevado teor de proliferação, em aproximadamente 2 anos, a segunda e terceira lagoa já estavam 100 % cobertas de lemnas, a segunda lagoa possui uma área de 4.505 m² e a terceira uma totalizando uma área de 1.098 m².

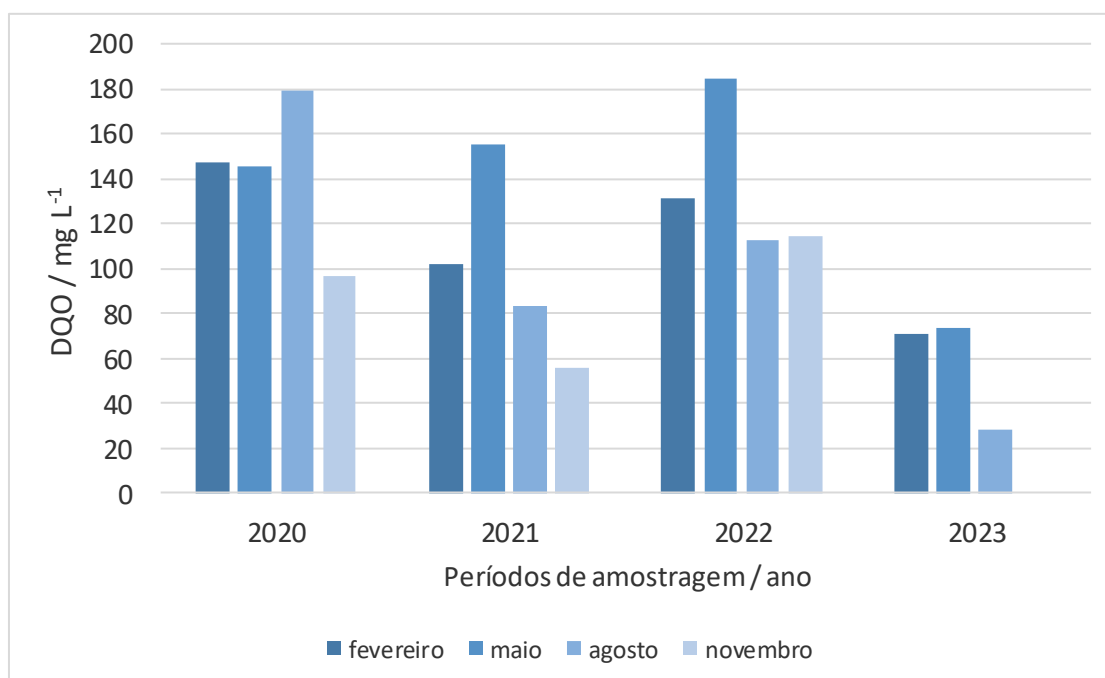
O pH foi determinados in situ, enquanto outros parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), foram determinados em laboratórios parceiros. Para determinação de DQO a técnica utilizada foi PE FQ 015, para DBO técnica utilizada APHA, AWWA, WEF - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de 2017.

4 RESULTADOS

A DQO é um parâmetro necessário nos estudos de qualidade das águas e tratamento de efluentes que representa a fração química da água ou efluente. No Gráfico 1 estão descritos os níveis de DQO antes e durante o processo de fitorremediação. Até agosto de 2022, os níveis de DQO níveis foram estabilizados utilizando a metodologia tradicional com uso de agentes químicos que auxiliam no tratamento realizando a sedimentação do lodo ativado. Observa-se que em todas as situações as concentrações foram menores do que 200 mg L⁻¹ estipulado pela resolução n° 430/2011 do CONAMA. Após este período, esses produtos não

foram mais utilizados, ficando apenas a ação da fitorremediação pelas lemnas para o controle desses níveis. É possível observar que após agosto de 2022, quando 100 % das lagoas estavam cobertas pelas macrófitas, foi possível obter níveis extremamente satisfatórios, chegando a 110 mg L^{-1} . Porém, em 2023 esses níveis baixaram ainda mais, chegando a 30 mg L^{-1} . Portanto, comprova-se que a ação da fitorremediação utilizando lemnas proporcionou a redução da matéria orgânica presente no ambiente.

Gráfico 1. Níveis da Demanda Química de Oxigênio

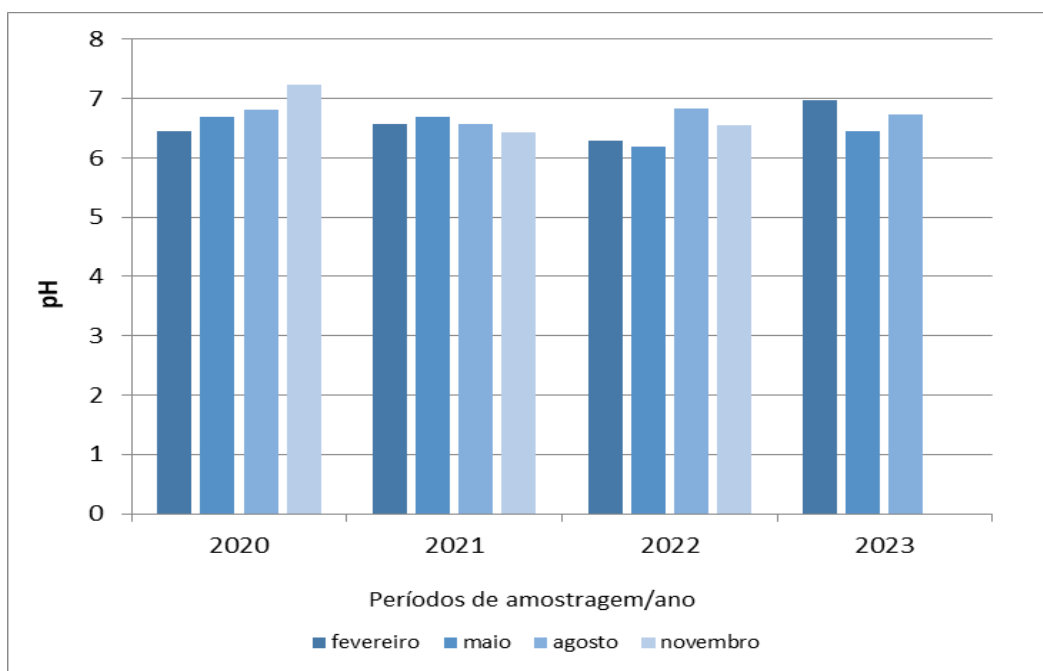


Fonte: O autor.

O estudo ecológico acerca do cultivo e manejo de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes tem sido cada vez mais abordado por pesquisadores em razão dos resultados promissores que demonstram. A inserção dessa vegetação auxilia na remoção de nutrientes e apresenta boa eficiência na diminuição de demanda bioquímica de oxigênio e demanda de química de oxigênio. Além disso, esse método é bastante atrativo devido aos baixos custos de implantação, operação e manutenção quando comparado a outras tecnologias de tratamento convencional (TIMM, 2015; LEMES et al., 2008).

No Gráfico 2 estão descritos os níveis de pH antes e durante o processo de fitorremediação. Os agentes químicos eram utilizados como forma de estabilização dos níveis do pH até o ano de 2022 para atendimento da resolução n° 430/2011 do CONAMA que estipula índices de pH entre 6 e 9. Com a utilização da fitorremediação notou-se que houve uma estabilização dos níveis de pH não sendo mais necessário a utilização de agentes químicos. A utilização das lemnas como uma tecnologia no tratamento de efluentes está relacionada com uma aptidão natural desses organismos a se desenvolverem em ambientes eutrofizados, assim como as lagoas de tratamento. Deste modo, as lemnáceas apresentam disposição para suportar elevadas cargas de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, além de variações bruscas no pH.

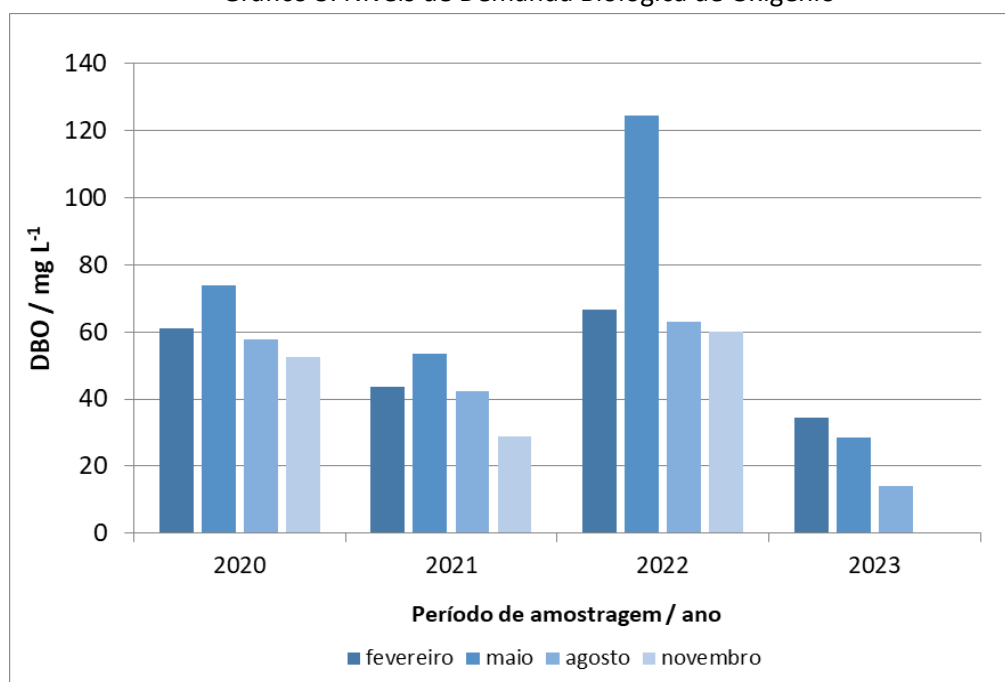
Gráfico 2. Níveis de pH



Fonte: O autor.

No Gráfico 3 está descrito o acompanhamento dos níveis de DBO é a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes em determinado efluente; sendo o parâmetro mais utilizado para medir o nível de poluição das águas uma vez que os microrganismos (bactérias aeróbias, por exemplo) realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático por meio de processos oxidativos, sobretudo pela respiração.

Gráfico 3. Níveis de Demanda Biológica de Oxigênio



Fonte: O autor.

A verificação deste parâmetro foi feita antes e durante o processo de fitorremediação; até agosto de 2022 era utilizada a metodologia tradicional para manutenção destes níveis; com a fitorremediação foram obtidos níveis muitos satisfatórios, atendendo a resolução nº 430/2011 que estipula índices de DBO menor que 60 mg L⁻¹. Porém, em 2023 esses níveis baixaram ainda mais, chegando em 14,18 mg L⁻¹, melhor índice dos últimos anos, portanto, comprova-se que a ação da fitorremediação utilizando lemnas proporcionou a redução da matéria orgânica presente no ambiente, melhorando consideravelmente, a qualidade do tratamento do efluente.

Estas plantas possuem um elevado potencial na remoção de compostos nitrogenados e fosfatados, além da redução de matéria orgânica oxidável e sólidos suspensos. Deste modo, as lemnáceas podem, além de reduzir a carga poluidora de efluentes orgânicos, e também amenizar o custo com tratamentos de efluentes.

É importante ressaltar que a eficiência da fitorremediação no tratamento de efluentes depende de diversos fatores, como o tipo e a concentração dos poluentes presentes, as características das plantas utilizadas e as condições ambientais.

Até 2022, a indústria tratava o seu efluente através do método tradicional com adição de produtos químicos, sejam eles biodegradáveis e não biodegradáveis, com um custo anual médio em produtos de R\$ 71.736,00 para obter a decantação do lodo ativado. Porém, este método além de demandar um custo financeiro para a empresa devido a aquisição dos produtos químicos, também necessitava de um funcionário para fazer a remoção do sobrenadame esta etapa consiste na separação do sólido (lodo-líquido) (efluente bruto) por meio da sedimentação das partículas sólidas.

Nesta etapa o lodo era retirado manualmente das lagoas e depositado em caixas específicas para posterior recolhimento por uma empresa certificada e credenciada a dar a devida destinação aos resíduos gerados pelas lagoas.

Contudo este processo de destinação gerava-se um alto custo para a empresa, pois o descarte era faturado por m³ recolhido e este valor estava estipulado em R\$ 500 por m³ sendo assim no mês de fevereiro de 2021 gerou-se um custo com aproximadamente R\$ 90.000 em destinação de resíduos orgânicos das lagoas.

Um estudo realizado por Hu, 2019, avaliou a capacidade de *Lemna minor* em remover poluentes orgânicos e inorgânicos em um sistema de tratamento de efluentes. Os resultados mostraram que a planta foi capaz de remover até 97% de matéria orgânica e 99% de fósforo do efluente. Além disso, a planta mostrou ser eficiente na remoção de metais pesados, como chumbo e zinco, com eficiência de remoção de até 88% a 96%, respectivamente.

Outro estudo realizado por Kivaisi (2001) investigou a capacidade de *Lemna minor* em remover matéria orgânica de efluentes de uma fábrica de papel. Os resultados mostraram que a planta foi capaz de remover até 88% de matéria orgânica do efluente. Além disso, a planta também foi eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo, com eficiência de remoção de até 98% a 92%, respectivamente.

Khan et al. (2018) avaliou a capacidade de *Lemna minor* em remover pesticidas do efluente de uma fábrica de pesticidas. Os resultados mostraram que a planta foi capaz de remover até 97% dos pesticidas presentes no efluente.

CONCLUSÃO

Tendo em vista que ter responsabilidade ambiental se tornou uma postura fundamental por parte de organizações, governos e população, a aplicação de técnicas sustentáveis que apresentem bons resultados é essencial. Os resultados obtidos a partir da aplicação de *Lemna minor* no tratamento de efluentes de uma indústria de produção de óleo de soja demonstraram que a fitorremediação é capaz de remover uma grande quantidade de poluentes presentes na água. As empresas buscam maior eficiência e relações de qualidade com as partes envolvidas, com o objetivo de reduzir riscos e custos, além de transformar os desafios da agenda da sustentabilidade em oportunidades de negócios, comprava-se, portanto, que a fitorremediação utilizando lemnas é uma excelente estratégia.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALTHER, G. Cleaning wastewater: removing oil from water with organoclays. *Filtration+Separation*. v.5, n.3 p.22-24, 2008.

AMBIENTAL TERA. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/efluentes-industriais-o-impacto-do-descarte-sem-tratamento-correto> acesso em 28 de junho de 2023. Acesso em 20/09/2023.

BRASIL. Resolução n. 430, de 13 maio de 2011. Dispõe sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 16 de mai.2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em 26 mai. 2022.

HU, H. et al. Fitorremediação de águas residuárias de suínos digeridas anaerobicamente contaminadas por oxitetraciclina via *Lemna aequinoctialis*: Remoção de nutrientes, características de crescimento e vias de degradação. *Tecnologia de biorecursos*, v. 121853, 2019.

KIVAI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*, v. 16, p. 545–560, 2001.

KHAN M. J.; STEINGASS H.; DROCHNER W. Evaluation of some aquatic plants from Bangladesh through mineral composition, in vitro gas production and in situ degradation measurements. *Asian – Australian Journal of Animal Science*. 15(4), p. 537-542, 2002

LELINSKI, D. *Ash flotation of dispersed oil droplets. A model system for bitumen flotation from tar sand*. Utah: Utah University, 125f. 1993.

MARQUES, J. R. *Gestão ambiental é um método administrativo que prioriza o desenvolvimento*, de 24 de junho 2015. Disponível em: ibccoaching.com.br. Acesso em 27/05/2022.

MEDEIROS, M. V. *Policultivo de tambaqui e camarão-da-amazônia: características limnológicas, avaliação do impacto ambiental e tratamento do efluente*. 2017. 111 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de PósGraduação de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2017.

Morita, A. K. M.; Moreno, F. N. Fitorremediação aplicada a áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 27(2), 377–384, 2022

PIRES, F. R.; et. al. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebutiuron. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 4, p. 627-634, 2005.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Extração e Refino de Óleos Vegetais. In: OETTERER M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. *Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Manole: São Paulo, SP, 2006. p.300-354.

ROCK S.B.; PIVETZ K.; MADALINSKI, N.A.; WILSON T. *Introduction to phytoremediation*. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-99/107 (NTIS PB2000-106690), 2000.

RODRIGUES, A. L. G. **Efeitos de óleos e graxas para a tratabilidade de esgoto e poluição difusa.** Divisão de Operação e Manutenção ETE Parque Novo Mundo. Disponível em: <https://docplayer.com.br/504582-Efeitos-de-oleos-e-graxas-para-a-tratabilidade-de-esgotos-e-poluicao-difusa.html>. Acesso em 28 de junho 2023.

SANTOLIN, R.B.; TEM CATEN, C. S. Modelos de Distritos Industriais sob a Ótica da Sustentabilidade: uma revisão bibliográfica. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis v. 7, n. 14, p. 129-150, 2015.

SILVA, L.A.M., Silva, T.S., Pastich, E.A.; Santos, S.M. Uso sustentável de macrofitas no tratamento de efluentes: uma revisão sistemática. **Jornal of environmental Analysis and progress**, 4(4), 228-238, 2019

TAVARES, Sílvio Roberto De Lucena. **Técnicas de Remediação. Remediação De Solos E Águas Contaminadas Por Metais Pesados**, [S. l.], p. 61–89, 2013.

TIMM, J. M. **Estudo de casos de wetlands construídos descentralizados na região do Vale do Sinos e Serra Gaúcha.** 2015. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

Wiley, R. Fats, oils, and greases: The minimization and treatment of wastewaters generated from oil refining and marine production. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.50, p.127-133, 2001.

YANG, C. L. Electrochemical coagulation for oily water demulsification. **Separation and Purification Technology**, v.54, p.388-395, 2007.