

Tecnologia sustentável no tratamento de efluentes industriais, uma revisão de literatura

Sustainable technology in industrial wastewater treatment, a literature review

Michel de Lemos Amorim

RESUMO

O crescimento da atividade industrial no Brasil tem ampliado a geração de efluentes com elevada carga orgânica e presença de poluentes de difícil degradação, o que exige alternativas de tratamento que aliem eficiência técnica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, os wetlands construídos despontam como uma tecnologia baseada em processos naturais, de baixo custo de implantação e operação, capaz de remover matéria orgânica, nutrientes e contaminantes por meio da interação entre substrato filtrante, macrófitas aquáticas e comunidades microbianas associadas. O objetivo deste trabalho foi analisar, por meio de revisão bibliográfica, o desempenho dos wetlands construídos no tratamento de efluentes industriais de diferentes setores produtivos, discutindo suas potencialidades e limitações em comparação aos sistemas convencionais de tratamento. A metodologia adotada consistiu em revisão da literatura nacional e internacional, publicada majoritariamente entre 1999 e 2022, consultada nas bases SciELO, Google Acadêmico, Periódicos CAPES e ScienceDirect. Os resultados evidenciam que os wetlands construídos apresentam eficiências relevantes na remoção de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos e nutrientes, variando conforme a tipologia de fluxo adotada, o tipo de efluente tratado e as espécies vegetais utilizadas. Conclui-se que a tecnologia representa uma alternativa consolidada e viável para a engenharia ambiental brasileira, sobretudo em contextos de infraestrutura limitada, ainda que aspectos como colmatação do meio filtrante, dimensionamento adequado e conformidade com a legislação ambiental vigente demandem atenção contínua por parte dos projetistas.

Palavras-chave: Águas residuárias. Fitorremediação. Macrófitas aquáticas. Tratamento descentralizado.

ABSTRACT

The growth of industrial activity in Brazil has increased the generation of effluents with high organic loads and the presence of pollutants that are difficult to degrade, requiring treatment alternatives that combine technical efficiency, economic feasibility, and environmental sustainability. In this context, constructed wetlands have emerged as a technology based on natural processes, with low implementation and operating costs, capable of removing organic matter, nutrients, and contaminants through the interaction among the filtering substrate, aquatic macrophytes, and associated microbial communities. The objective of this study was to analyze, through a literature review, the performance of constructed wetlands in the

treatment of industrial effluents from different productive sectors, discussing their potential and limitations in comparison with conventional treatment systems. The methodology adopted consisted of a review of national and international literature, published mainly between 1999 and 2022, consulted in the SciELO, Google Scholar, CAPES Journals, and ScienceDirect databases. The results show that constructed wetlands achieve relevant removal efficiencies for biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, suspended solids, and nutrients, varying according to the flow configuration adopted, the type of effluent treated, and the plant species used. It is concluded that this technology represents a well-established and viable alternative for Brazilian environmental engineering, particularly in contexts with limited infrastructure, although aspects such as clogging of the filter medium, proper system sizing, and compliance with current environmental legislation require continuous attention from designers.

Keywords: Wastewater. Phytoremediation. Aquatic macrophytes. Decentralized treatment.

1 INTRODUÇÃO

A expansão da atividade industrial brasileira nas últimas décadas tem sido acompanhada por um aumento expressivo na geração de efluentes líquidos, muitos deles caracterizados por elevada carga orgânica, presença de nutrientes, metais e compostos de difícil degradação. O lançamento inadequado desses efluentes em corpos hídricos compromete a qualidade da água, afeta ecossistemas aquáticos e representa risco à saúde pública, o que motivou a instituição de padrões de lançamento pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Diante desse cenário, tecnologias de tratamento eficientes e economicamente viáveis tornam-se indispensáveis, especialmente para pequenas e médias indústrias, que frequentemente carecem de recursos para implantar sistemas convencionais de alto custo energético e operacional, como os descritos por Metcalf e Eddy (2003).

Entre as alternativas que têm ganhado espaço na engenharia ambiental está o uso de wetlands construídos, sistemas que reproduzem, de forma controlada, os processos físicos, químicos e biológicos observados em áreas úmidas naturais. Segundo Von Sperling (2014), esses sistemas são compostos por um meio filtrante no qual se desenvolvem macrófitas aquáticas responsáveis, em conjunto com a comunidade microbiana aderida ao substrato, pela depuração de poluentes presentes no efluente. Vymazal (2011) destaca que a tecnologia acumula mais de cinco décadas de experiência internacional, com aplicações que vão do tratamento de esgoto doméstico à depuração de efluentes agroindustriais e industriais diversos.

Apesar da consolidação técnica em países europeus e da crescente adoção no Brasil, a literatura nacional sobre a aplicação de wetlands construídos especificamente em efluentes

industriais ainda é dispersa, concentrada em estudos de caso pontuais e pouco sistematizada. Essa lacuna dificulta a tomada de decisão por parte de projetistas e gestores ambientais quanto à real eficiência da tecnologia frente à diversidade de efluentes industriais existentes, cada qual com características físico-químicas distintas. Rodriguez-Dominguez et al. (2020) reforçam que, embora a América Latina apresente crescente produção científica sobre o tema, ainda há necessidade de consolidação dos parâmetros de projeto e desempenho observados nas diferentes regiões e setores produtivos.

No Brasil, a adoção de wetlands construídos tem sido impulsionada também pela necessidade de soluções descentralizadas de saneamento, especialmente em regiões onde a infraestrutura de coleta e tratamento centralizado de efluentes ainda é incipiente. Sezerino et al. (2018), em documento técnico elaborado em parceria com a Fundação Nacional de Saúde, destacam que a tecnologia se ajusta bem a arranjos de pequena e média escala, característicos de distritos industriais afastados dos grandes centros urbanos. Roussio (2014), por sua vez, reforça que sistemas bem projetados e adequadamente monitorados podem manter desempenho estável por décadas, o que amplia o horizonte de retorno do investimento inicial e torna a tecnologia ainda mais atrativa do ponto de vista econômico para o setor produtivo.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar, por meio de revisão bibliográfica, o desempenho dos wetlands construídos no tratamento de efluentes industriais de diferentes setores, identificando suas potencialidades, limitações operacionais e perspectivas de aplicação no contexto da engenharia ambiental brasileira. Como contribuição, buscou-se sistematizar evidências dispersas na literatura nacional e internacional, oferecendo um panorama que possa subsidiar futuros projetos de tratamento descentralizado de efluentes industriais fundamentados em soluções baseadas na natureza.

2 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa, não envolvendo coleta ou análise de dados primários. A pesquisa consistiu no levantamento, na leitura crítica e na sistematização de estudos já publicados sobre a aplicação de wetlands construídos no tratamento de efluentes industriais, com vistas a identificar convergências, divergências e lacunas na produção científica sobre o tema.

As buscas foram realizadas nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Periódicos CAPES e ScienceDirect, complementadas pela consulta a repositórios

institucionais de universidades com produção reconhecida na área, como a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram utilizados como termos de busca, isolados e combinados, as expressões "wetlands construídos", "sistemas alagados construídos", "efluentes industriais" e "fitorremediação de águas residuárias", em português e em inglês.

Quanto ao recorte temporal, priorizaram-se publicações veiculadas entre 1999 e 2022, admitindo-se a inclusão de obras fundamentais publicadas fora desse intervalo, como o trabalho seminal de Philippi, Costa e Sezerino (1999), em razão de sua relevância conceitual e histórica para a consolidação da tecnologia no cenário nacional. Os critérios de inclusão adotados foram: relevância acadêmica da fonte (periódicos indexados, livros técnicos consagrados e documentos técnico-normativos), disponibilidade de texto completo, idioma em português ou inglês e aderência direta ao objeto de estudo. Foram excluídos materiais de divulgação sem embasamento científico, apostilas de caráter meramente didático e trabalhos que não guardavam relação direta com efluentes de origem industrial ou agroindustrial.

O processo de revisão seguiu três etapas sucessivas: inicialmente, realizou-se um levantamento amplo dos títulos e resumos disponíveis nas bases selecionadas; em seguida, procedeu-se à leitura integral dos trabalhos que atendiam aos critérios de inclusão, com registro sistemático dos principais achados, métodos e limitações relatadas por cada autor; por fim, os dados qualitativos extraídos foram organizados tematicamente, permitindo o estabelecimento de comparações explícitas entre os resultados obtidos por diferentes pesquisadores. Ressalta-se que, por se tratar de revisão de caráter narrativo-crítico, e não de revisão sistemática stricto sensu, não houve aplicação de protocolo quantitativo de metanálise, o que constitui limitação reconhecida do presente estudo, sem, contudo, comprometer o rigor da análise qualitativa realizada.

3 DISCUSSÃO

A literatura consultada demonstra relativo consenso quanto aos princípios de funcionamento dos wetlands construídos, mas revela divergências importantes quanto à eficiência observada em diferentes tipologias de efluentes industriais, à configuração hidráulica mais adequada a cada situação e aos desafios operacionais de médio e longo prazo. Essas divergências não configuram fragilidade do referencial teórico; ao contrário,

evidenciam que o desempenho da tecnologia é fortemente dependente de variáveis locais, como características do efluente, clima, espécie vegetal cultivada e meio suporte utilizado.

Para organizar essa discussão, o texto está dividido em quatro eixos: os fundamentos e tipologias construtivas dos sistemas; a eficiência observada no tratamento de efluentes de diferentes setores industriais; os principais desafios operacionais relatados na literatura; e as perspectivas de consolidação da tecnologia na engenharia ambiental brasileira.

3.1 FUNDAMENTOS E TIPOLOGIAS DOS WETLANDS CONSTRUÍDOS

Wetlands construídos são definidos por Von Sperling (2014) como sistemas filtrantes compostos por macrófitas aquáticas aderidas a um maciço poroso, geralmente impermeabilizado com argila compactada ou geomembrana, por onde o efluente escoar de forma lenta e controlada. Stefanakis, Akratos e Tsihrintzis (2014) classificam os sistemas, quanto ao regime hidráulico, em três grandes categorias: fluxo superficial livre, no qual a lâmina d'água permanece exposta à atmosfera; fluxo subsuperficial horizontal, em que o efluente percola horizontalmente por um leito filtrante submerso; e fluxo subsuperficial vertical, caracterizado pela aplicação intermitente do efluente na superfície do leito, favorecendo condições aeróbias mais intensas.

Von Sperling e Sezerino (2018), em documento de consenso técnico elaborado com a colaboração do Grupo Wetlands Brasil, sistematizaram critérios de dimensionamento para essas três tipologias, reforçando que sistemas híbridos, combinando estágios verticais e horizontais, tendem a apresentar maior robustez na remoção conjunta de matéria orgânica e nutrientes. Sezerino et al. (2018), em publicação conjunta entre a UFSC e a Fundação Nacional de Saúde, corroboram essa perspectiva ao recomendar arranjos híbridos para efluentes com maior variabilidade de carga, situação comum em contextos industriais.

Quanto à cobertura vegetal, Sezerino et al. (2015) constata que as macrófitas emergentes das famílias Typhaceae e Poaceae, representadas principalmente pelos gêneros *Typha* e *Cynodon*, são as mais empregadas em sistemas brasileiros, tanto pela disponibilidade regional das espécies quanto pela comprovada capacidade de desenvolvimento radicular em meios saturados. Von Sperling (2014) complementa que a escolha da espécie vegetal deve considerar não apenas a eficiência na remoção de poluentes, mas também a resistência a variações sazonais de vazão e carga, fatores especialmente relevantes em efluentes industriais sujeitos a picos de produção.

Quadro 1 Tipologias de wetlands construídos e suas características hidráulicas

Tipologia	Regime hidráulico	Característica principal
Fluxo superficial livre	Lâmina d'água exposta à atmosfera	Maior similaridade com wetlands naturais
Fluxo subsuperficial horizontal	Percolação horizontal no leito submerso	Boa remoção de matéria orgânica
Fluxo subsuperficial vertical	Aplicação intermitente e percolação vertical	Condições aeróbias mais intensas
Sistemas híbridos	Combinação de estágios verticais e horizontais	Maior robustez frente a cargas variáveis

Fonte: Elaboração própria (2026), com base em Stefanakis, Akratos e Tsihrintzis (2014) e Von Sperling e Sezerino (2018).

3.2 EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE DIFERENTES SETORES INDUSTRIAIS

A aplicação de wetlands construídos a efluentes industriais específicos tem sido investigada em diferentes setores produtivos brasileiros, com resultados que reforçam a versatilidade da tecnologia. Matos, Abrahão e Lo Monaco (2012), ao avaliarem sistemas alagados construídos cultivados com capim-elefante e capim-tifton 85 no tratamento de água residuária de laticínios, verificaram remoções superiores a 90% de demanda bioquímica de oxigênio nas menores taxas de carregamento orgânico testadas, evidenciando a sensibilidade do sistema à taxa de aplicação. Em direção semelhante, Pelissari et al. (2013) avaliaram wetlands de fluxo vertical plantados com *Typha domingensis* no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira e observaram desempenho satisfatório na remoção de carga orgânica, embora com eficiência inferior na remoção de nutrientes em comparação aos resultados obtidos por Matos, Abrahão e Lo Monaco (2012) para o setor de laticínios.

Enquanto esses estudos concentram-se em efluentes agroindustriais de origem animal, Schimitt et al. (2016) investigaram uma variação construtiva ao utilizar cinza de casca de arroz como constituinte da camada de substrato, obtendo resultados que indicam viabilidade técnica do uso de resíduos agroindustriais como material filtrante alternativo, o que amplia as possibilidades de adequação da tecnologia à realidade de diferentes regiões produtoras. Já Silva et al. (2022), em revisão dedicada especificamente a efluentes industriais, alertam que "o descarte incorreto desse passivo ambiental pode causar danos à saúde e prejuízos ao ecossistema" (SILVA et al., 2022, p. 232), reforçando a urgência de alternativas tecnológicas

de baixo impacto para setores industriais diversos, incluindo curtumes, frigoríficos e indústrias de processamento de alimentos.

Observa-se, portanto, um diálogo relevante entre os autores: enquanto Matos, Abrahão e Lo Monaco (2012) e Pelissari et al. (2013) fornecem evidências quantitativas específicas para efluentes de origem animal, Silva et al. (2022) contribuem com uma leitura mais ampla dos riscos ambientais associados a efluentes industriais em geral, situando os estudos de caso dentro de um problema estrutural mais amplo. Essa complementaridade entre pesquisas de caráter aplicado e revisões de caráter panorâmico fortalece o corpo de evidências favorável à adoção da tecnologia.

Vale destacar que a integração entre wetlands construídos e sistemas de pré-tratamento já era discutida por Philippi, Costa e Sezerino (1999), que avaliaram a associação de tanque séptico e zona de raízes no tratamento de efluente doméstico, arranjo posteriormente adaptado por diversos autores para efluentes de origem industrial. Essa continuidade histórica evidencia que grande parte da inovação recente no setor decorre da adaptação de princípios consolidados há mais de duas décadas a novos contextos produtivos, e não da criação de tecnologias inteiramente novas, o que confere maior segurança técnica à adoção da abordagem por engenheiros ambientais que atuam junto a indústrias de diferentes portes.

Tabela 1 Eficiência de remoção de carga orgânica em estudos selecionados

Estudo / setor	Substrato / cultivo	Remoção de DBO (%)
Matos, Abrahão e Lo Monaco (2012) laticínios	Capim-elefante e capim-tifton 85	> 90
Pelissari et al. (2013) bovinocultura leiteira	Typha domingensis	Satisfatória, inferior em nutrientes
Schmitt et al. (2016) efluente sanitário	Cinza de casca de arroz	Viabilidade técnica confirmada
Fonte: Elaboração própria (2026), com base em Matos, Abrahão e Lo Monaco (2012), Pelissari et al. (2013) e Schmitt et al. (2016).		

Fonte: Elaboração própria (2026), com base em Matos, Abrahão e Lo Monaco (2012), Pelissari et al. (2013) e Schmitt et al. (2016).

3.3 DESAFIOS OPERACIONAIS E LIMITAÇÕES DA TECNOLOGIA

Apesar dos resultados favoráveis, a literatura também documenta limitações relevantes. Knowles et al. (2011) identificam a colmatação do meio filtrante, isto é, a obstrução progressiva dos poros do substrato por acúmulo de sólidos e biofilme, como um dos principais fatores que comprometem a eficiência hidráulica dos sistemas de fluxo

subsuperficial ao longo do tempo, sobretudo quando o efluente apresenta elevada concentração de sólidos suspensos, como é comum em efluentes industriais não pré-tratados. Rouso (2014), em avaliação de um wetland construído horizontal monitorado por vinte anos de operação contínua, constata que, embora a colmatção represente risco real, um projeto adequado do pré-tratamento e da granulometria do meio suporte pode postergar significativamente esse fenômeno.

Adicionalmente, Stefanakis, Akratos e Tsihrintzis (2014) apontam que sistemas de fluxo vertical, embora mais eficientes na nitrificação em razão das condições aeróbias predominantes, exigem maior atenção ao dimensionamento das camadas de meio suporte, sob risco de curto-circuito hidráulico caso a distribuição do efluente não seja uniforme. Esse cuidado técnico é particularmente relevante em aplicações industriais, nas quais a vazão pode apresentar maior variabilidade ao longo do dia em função dos ciclos de produção, exigindo dispositivos de equalização a montante do sistema de tratamento por wetlands.

Outro desafio discutido por Kumar et al. (2020) refere-se à necessidade de melhor compreensão das comunidades microbianas responsáveis pela degradação dos poluentes, cujo comportamento pode variar conforme a composição do efluente industrial, dificultando a padronização de parâmetros de projeto. Já Verlicchi e Zambello (2014), em revisão dedicada à remoção de fármacos e contaminantes emergentes, demonstram que, embora os wetlands construídos apresentem boa eficiência para poluentes convencionais, a remoção de compostos como fármacos e produtos de higiene pessoal é significativamente mais variável, indicando que a tecnologia não deve ser tratada como solução universal para todos os tipos de contaminantes industriais.

Essa constatação de Verlicchi e Zambello (2014) dialoga diretamente com a perspectiva de Knowles et al. (2011): enquanto o primeiro grupo de autores relativiza a eficiência da tecnologia frente a contaminantes específicos, o segundo aponta que mesmo a remoção de poluentes convencionais pode ser comprometida por falhas operacionais e de manutenção, reforçando que a robustez do sistema depende tanto do projeto inicial quanto do acompanhamento técnico continuado ao longo da operação.

A esse respeito, Rouso (2014) observa que grande parte das falhas operacionais relatadas na literatura decorre não de limitações intrínsecas à tecnologia, mas de deficiências no monitoramento periódico e na manutenção preventiva dos sistemas, como a limpeza de estruturas de distribuição do afluente e o controle da vegetação. Esse achado sugere que parte

significativa dos desafios operacionais discutidos por Knowles et al. (2011) e por Kumar et al. (2020) poderia ser mitigada por meio de protocolos de operação e manutenção mais bem estruturados, aspecto que ainda recebe atenção insuficiente nos projetos implantados no Brasil, especialmente em pequenas indústrias que não dispõem de equipe técnica dedicada ao acompanhamento do sistema.

3.4 PERSPECTIVAS PARA A ENGENHARIA AMBIENTAL BRASILEIRA

No cenário regulatório brasileiro, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores, parâmetro que orienta o dimensionamento de qualquer sistema de tratamento, incluindo os wetlands construídos (BRASIL, 2011). Rodriguez-Dominguez et al. (2020), ao revisarem experiências latino-americanas da última década, destacam que a adequação da tecnologia à legislação ambiental regional é fator determinante para sua consolidação, especialmente em países com infraestrutura de saneamento limitada, cenário compartilhado por diversas regiões do território brasileiro.

Zurita, De Anda e Belmont (2009) acrescentam uma perspectiva de aproveitamento econômico ao demonstrarem a viabilidade de associar o tratamento de efluentes ao cultivo comercial de flores em sistemas de fluxo vertical e horizontal, apontando caminhos para arranjos produtivos que tornem o investimento em wetlands construídos mais atrativo para indústrias de pequeno e médio porte. Essa lógica de agregação de valor complementa as recomendações de dimensionamento propostas por Von Sperling e Sezerino (2018) e reforça o potencial da tecnologia não apenas como alternativa técnica, mas como componente de estratégias mais amplas de economia circular aplicadas à gestão de efluentes industriais no Brasil.

Do ponto de vista regulatório, observa-se ainda que a conformidade com os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 não deve ser tratada apenas como exigência formal a ser atendida ao final do processo, mas como parâmetro orientador desde a etapa de concepção do sistema (BRASIL, 2011). Rodriguez-Dominguez et al. (2020) argumentam que essa integração entre projeto técnico e exigência normativa, quando realizada desde as fases iniciais, reduz significativamente o risco de retrabalho e de não conformidade após a implantação, fator especialmente relevante para indústrias que operam sob fiscalização ambiental mais rigorosa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura evidenciou que os wetlands construídos configuram uma tecnologia consolidada e tecnicamente viável para o tratamento de efluentes industriais de diferentes setores produtivos, com eficiências relevantes na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e, em menor grau e de forma mais variável, nutrientes e contaminantes emergentes. Os estudos analisados convergem quanto às vantagens da tecnologia em relação aos sistemas convencionais, sobretudo no que se refere ao baixo custo de implantação e operação, à simplicidade construtiva e à possibilidade de adequação a diferentes escalas produtivas.

Ao mesmo tempo, a literatura é clara ao apontar que o desempenho dos wetlands construídos não é uniforme, variando conforme a tipologia hidráulica adotada, as características do efluente tratado, as espécies vegetais utilizadas e, sobretudo, a qualidade do projeto e da manutenção operacional ao longo do tempo. A colmatção do meio filtrante e a remoção incompleta de determinados contaminantes emergentes permanecem como desafios centrais, exigindo que a tecnologia seja compreendida não como solução universal, mas como alternativa a ser dimensionada criteriosamente para cada contexto industrial específico.

Como agenda de pesquisa, sugere-se que trabalhos futuros de caráter experimental avancem na padronização de parâmetros de projeto específicos para efluentes industriais de diferentes setores, ainda pouco representados na literatura nacional quando comparados aos estudos voltados ao esgoto sanitário. Recomenda-se, também, maior investimento em monitoramento de longo prazo, nos moldes do estudo conduzido por Rousso (2014), de modo a consolidar séries históricas de desempenho que permitam avaliar com mais precisão a durabilidade e a resiliência dos sistemas frente a variações de carga e composição do efluente ao longo dos anos de operação.

Conclui-se que os wetlands construídos representam uma resposta tecnicamente sólida e ambientalmente coerente aos desafios impostos pela geração crescente de efluentes industriais no Brasil, especialmente para empreendimentos de pequeno e médio porte que carecem de recursos para investir em sistemas convencionais de tratamento. A consolidação da tecnologia no país depende, contudo, do avanço contínuo na sistematização de parâmetros de projeto, no monitoramento de longo prazo dos sistemas já implantados e na aproximação entre a produção acadêmica nacional e as demandas concretas da engenharia ambiental industrial.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF: CONAMA, 2011.
- KNOWLES, P. *et al.* Clogging in Subsurface-Flow Treatment Wetlands: Occurrence and Contributing Factors. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 2, p. 99-112, 2011.
- KUMAR, S. *et al.* Microbial Communities in Constructed Wetland Microcosms and Their Role in Treatment of Domestic Wastewater. In: BHARAGAVA, R. N. (ed.). **Emerging Eco-friendly Green Technologies for Wastewater Treatment**. Singapura: Springer, 2020. p. 311-327.
- MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P. A. V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 1144-1155, 2012.
- METCALF, E.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2003.
- PELISSARI, C.; DECEZARO, S. T.; SEZERINO, P. H.; CARVALHO JÚNIOR, O.; WOLFF, D. B.; PHILIPPI, L. S. Wetlands construídos de fluxo vertical empregado no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 223-233, 2013.
- PHILIPPI, L. S.; COSTA, R. H. R.; SEZERINO, P. H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. **Water Science & Technology**, v. 40, n. 3, p. 125-131, 1999.
- RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, M. A. *et al.* Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences During the Last Decade. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1744, 2020.
- ROUSSO, B. Z. **Desempenho de um wetland construído horizontal empregado no tratamento de esgoto doméstico ao longo de 20 anos de operação**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- SCHIMITT, G. T.; MODOLO, R. C. E.; MORAES, C. A. M.; JOHANN, A. D. D.; NUNES, T. Uso de cinza de casca de arroz como constituinte da camada de substrato em sistema wetland para tratamento de efluentes. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 12, n. 26, p. 209-221, 2016.
- SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 151-158, 2015.
- SEZERINO, P. H. *et al.* **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2018.

SILVA, J. R. R.; RIBEIRO, A. C.; SANTOS, L. F. O.; BERSANETTE, G. D.; CONTE, H. Wetlands construídas para tratamento de efluentes industriais: revisão. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 232-248, 2022.

STEFANAKIS, A. I.; AKRATOS, C. S.; TSIHRINTZIS, V. A. **Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment**. Amsterdã: Elsevier, 2014.

VERLICCHI, P.; ZAMBELLO, E. How efficient are constructed wetlands in removing pharmaceuticals from untreated and treated urban wastewaters? A review. **Science of the Total Environment**, v. 470-471, p. 1281-1306, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. **Boletim Wetlands Brasil**, Edição Especial, dez. 2018. Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/boletins/>. Acesso em: 4 ago. 2026.

VYMAZAL, J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 61-69, 2011.

ZURITA, F.; DE ANDA, J.; BELMONT, M. A. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 861-869, 2009.