

O uso sustentável do *wetland* construído: Uma revisão do estado da arte

Sustainable use of constructed wetlands: A review of the state of the art

Uso sostenible de humedales construidos: Una revisión del estado del arte

Recebido: 10/12/2025 | Revisado: 17/12/2025 | Aceitado: 17/12/2025 | Publicado: 18/12/2025

Débora Taina da Silva de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9414-2381>
Instituto Federal do Paraná, Brasil
E-mail: deborahtaina25@gmail.com

Norma Barbado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0562-3958>
Instituto Federal do Paraná, Brasil
E-mail: norma.barbado@ifpr.edu.br

Máriam Trierveiler Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0782-6967>
Instituto Federal do Paraná, Brasil
E-mail: mariam.pereira@ifpr.edu.br

Resumo

A contaminação do solo e dos recursos hídricos geram grandes problemas ambientais e, consequentemente, de saúde pública. Em grande parte, ocorrem devido ao despejo inadequado de esgotos in natura no ambiente, podendo afetar a saúde pública. Esta realidade ocorre com maior frequência em zonas rurais, devido à falta de um sistema de esgotamento sanitário para essas regiões, enquanto a maioria dos municípios brasileiros são assistidos com coleta e tratamento de esgoto na zona urbana. Sendo assim, esse estudo teve como objetivo identificar na literatura utilizando um recorte temporal de 2015 a 2025, as semelhanças entre técnicas de sistemas de tratamento de esgoto por *wetlands* construídos (WC), a eficiência de remoção no atendimento aos parâmetros físico-químicos exigidos pela Resolução CONAMA nº430/2011 assim como os custos de implantação. A metodologia utilizada foi de pesquisas bibliográficas realizadas de trabalhos buscando a abordagem qualitativa descritiva. Os resultados demonstraram que a escolha da técnica para implantação de um sistema de WC precisa levar em consideração fatores como a declividade do solo, vazão diária de esgoto e eficiência no atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação ambiental vigente. Constatando que a técnica de WC para comunidades rurais que não possuam esgotamento sanitário é ambientalmente correta e economicamente viável em comparação com os outros sistemas de estudo, levando em consideração que o uso do WC associado como tratamento secundário aumenta significativamente a eficiência de remoção.

Palavras-chave: Tecnologia Descentralizada; Saneamento Básico; Efluente Tratado; Custos de Implementação.

Abstract

Soil and water contamination generates major environmental problems and, consequently, public health issues. This largely occurs due to the inadequate disposal of raw sewage into the environment, potentially affecting public health. This reality occurs more frequently in rural areas due to the lack of a sewage system in these regions, while most Brazilian municipalities are served by sewage collection and treatment in urban areas. Therefore, this study aimed to identify the similarities between the methods, the implementation cost, as well as the efficiency in meeting the physicochemical parameters established by CONAMA Resolution No. 430/2011. The methodology used was bibliographic research of works seeking a descriptive qualitative approach. The results demonstrated that the configuration for implementing the system needs to consider factors such as soil slope, daily sewage flow, and efficiency in meeting the parameters required by current legislation. Finally, it was found that the WCFV (Wastewater Treatment Plant) inserted in rural communities is economically viable compared to the other systems studied; however, the generation of clogging must be taken into consideration, a problem that can be reduced with the insertion of a post-treatment such as WCFH (Wastewater Treatment Plant with Hydrogenated Sewage).

Keywords: Decentralized Technology; Basic Sanitation; Treated Wastewater; Implementation Costs.

Resumen

La contaminación del suelo y del agua genera importantes problemas ambientales y, por consiguiente, problemas de salud pública. Esto se debe en gran medida a la inadecuada eliminación de aguas residuales sin tratar en el medio ambiente, lo que puede afectar la salud pública. Esta situación se presenta con mayor frecuencia en las zonas rurales debido a la falta de sistemas de alcantarillado en estas regiones, mientras que la mayoría de los municipios brasileños cuentan con servicios de recolección y tratamiento de aguas residuales en las zonas urbanas. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo identificar las similitudes entre los métodos, el costo de implementación y la

eficiencia para cumplir con los parámetros fisicoquímicos establecidos por la Resolución CONAMA N.º 430/2011. La metodología empleada consistió en una investigación bibliográfica de trabajos que adoptaban un enfoque cualitativo descriptivo. Los resultados demostraron que la configuración para la implementación del sistema debe considerar factores como la pendiente del terreno, el caudal diario de aguas residuales y la eficiencia en el cumplimiento de los parámetros exigidos por la legislación vigente. Finalmente, se constató que la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) instalada en comunidades rurales es económicamente viable en comparación con los demás sistemas estudiados; sin embargo, debe tenerse en cuenta la obstrucción, problema que puede mitigarse mediante la incorporación de un tratamiento posterior, como la planta de tratamiento de aguas residuales con hidrogenación (PTRH).

Palabras clave: Tecnología Descentralizada; Saneamiento Básico; Efluentes Tratados; Costos de Implementación.

1. Introdução

A qualidade de vida de uma comunidade está ligada a diversos fatores, um destes é usufruir de boas condições sanitárias. No estado do Paraná, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) estima que aproximadamente 24,6% da população não possui acesso à rede geral de esgoto, ou seja, mais de 2,8 milhões de habitantes ainda vivem em residências sem coleta de esgoto. Esse percentual inclui tanto áreas urbanas quanto rurais e é ligeiramente inferior à média nacional IBGE (2022). No entanto, a Lei Federal nº 14.026/2020, em seu Art.7º, inciso I, regulamenta sobre a universalização do acesso aos serviços de saneamento em todo o território brasileiro (Brasil, 2020).

Em regiões mais afastadas dos centros urbanos a situação é ainda mais crítica, uma vez que grande parte dos proprietários de áreas rurais não recebem os serviços de saneamento. Tal situação leva os moradores a utilizarem fossas rudimentares para disposição final de seus esgotos, podendo gerar uma contaminação, pontual ou difusa, no solo e/ou cursos d'água do entorno (Ramos, 2017). Entretanto, algumas tecnologias descentralizadas para o esgotamento sanitário rural estão sendo desenvolvidas e aprimoradas a fim de popularizar a utilização de sistemas alternativos. Essas soluções incluem fossas sépticas, biodigestores e *wetlands* construídos, que se caracterizam por menor custo de implantação e manutenção, além de adaptabilidade às condições locais (Matos et al., 2018).

Uma destas alternativas é o uso do *wetland* construído (WC), tecnologia que utiliza as raízes das plantas para retirar poluentes da parte líquida do esgoto doméstico. Este sistema possui um tanque séptico, cuja função é sedimentar a parte sólida do esgoto e, em um compartimento seguinte realizar o tratamento secundário do efluente por intermédio da filtração de plantas.

Os WC são capazes de converter a matéria orgânica e promover a ciclagem de nutrientes, assim como ocorre em alagados ou banhados naturais (Kaldlec, 2009). A utilização dessa tecnologia descentralizada para o tratamento de esgotos domésticos em áreas rurais pode ser considerada uma alternativa eficaz e de baixo custo (Vymazal, 2018). Quanto à sua construção, não necessita de mão de obra especializada e sua manutenção é feita com o cuidado para garantir a vida útil das plantas e, caso necessário, a troca de mudas pode ser feita.

Esse estudo teve como objetivo identificar na literatura utilizando um recorte temporal de 2015 a 2025, as semelhanças entre técnicas de sistemas de tratamento de esgoto por *wetlands* construídos (WC), a eficiência de remoção no atendimento aos parâmetros físico-químicos exigidos pela Resolução CONAMA nº430/2011 assim como os custos de implantação.

1.1 Saneamento básico e desafios no brasil

O saneamento básico é definido pela Lei Federal nº 11.445/2007 como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações voltados ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Apesar dos avanços regulatórios, sobretudo após a promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026, 2020), o Brasil ainda apresenta desigualdades significativas no acesso aos serviços de esgotamento sanitário.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico SINISA (2024), apenas 59,7% da

população possui atendimento por redes coletoras de esgoto, com grandes disparidades regionais: enquanto a região Sudeste apresenta cobertura de 80,8%, o Norte permanece com apenas 22,8%, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Percentual da população quanto ao atendimento de esgotamento sanitário no Brasil (2024).

| Região | Atendimento com rede coletora de esgoto | | | Investimentos (R\$/ano) |
|---------------------|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | População Urbana (%) | População Rural (%) | População Total (%) | |
| Norte | 26,4 | 1,1 | 22,8 | 422,4 Milhões |
| Nordeste | 42,9 | 3,8 | 33,8 | 3,2 Bilhões |
| Centro-Oeste | 73,1 | 1,2 | 66,5 | 2,8 Bilhões |
| Sul | 59,3 | 1,1 | 51,5 | 4,2 Bilhões |
| Sudeste | 85,4 | 14,6 | 80,8 | 24,0 Bilhões |
| Brasil | 67,5 | 5,6 | 59,7 | 34,6 Bilhões |

Fonte: SINISA (2024).

Os dados do SINISA (2024) evidenciam uma desigualdade regional na cobertura de esgotamento sanitário. Importante ressaltar ainda que estas disparidades também foram observadas em relatório do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2020), onde as regiões norte e nordeste eram as mais afetadas quanto ao acesso a estes serviços, disposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Percentual da população quanto ao atendimento de esgotamento sanitário no Brasil no ano de 2020.

| Região | Atendimento com rede coletora de esgoto | | |
|---------------------|--|----------------------------|--------------------------------|
| | População Urbana (%) | População Total (%) | Investimentos (R\$/ano) |
| Norte | 17,2 | 13,1 | 167,7 Milhões |
| Nordeste | 39,3 | 30,3 | 873,0 Milhões |
| Centro-Oeste | 65,8 | 59,5 | 521,6 Milhões |
| Sul | 54,3 | 47,4 | 1,2 Bilhões |
| Sudeste | 84,9 | 80,5 | 3,2 Bilhões |
| Brasil | 63,2 | 55,0 | 5,89 Bilhões |

Fonte: SNIS (2020).

O SNIS (2020) não possui dados da população rural brasileira quanto ao atendimento dos serviços de esgotamento sanitário, fato este observado na Tabela 2. Entretanto, no SINISA (2024) essas informações foram atualizadas como demonstrado na Tabela 1.

Com relação aos menores índices de atendimento para o esgotamento sanitário as regiões norte e nordeste se destacam com baixas coberturas no acesso a redes coletoras. Apesar disso a Tabela 1 e 2, demonstra que na região norte houve um aumento considerável para o atendimento destes serviços com 9,7% fato este não observado para a região nordeste onde o aumento entre os referidos anos foi de apenas 3,5%. De modo geral, com base nos dados do SNIS, reformulado para SINISA, o Brasil avançou significativamente em relação aos serviços de esgotamento sanitário, apesar disso ainda há disparidades regionais.

Em áreas rurais esta carência se torna mais crítica, onde predominam fossas rudimentares, muitas vezes sem impermeabilização, podendo provocar contaminação do solo e das águas subterrâneas (Ramos, 2017). De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2024), essa desigualdade territorial compromete a saúde pública, uma vez que a falta de tratamento adequado dos esgotos está associada à disseminação de doenças de veiculação hídrica, como diarreia,

hepatite e cólera. Assim, alternativas tecnológicas descentralizadas e de baixo custo, tornam-se fundamentais para garantir o acesso universal ao saneamento e reduzir os impactos socioambientais (Sartor et al., 2021).

1.2 Wetlands construídos: conceitos, tipologias e aplicações

Os *wetlands* construídos (WC) são ecotecnologias inspiradas nos processos de depuração natural observados em áreas alagadas. Esses sistemas utilizam leitos filtrantes preenchidos por materiais porosos (brita, areia, argila expandida) associados a macrófitas aquáticas, que favorecem a remoção de poluentes por mecanismos físicos (sedimentação, filtração), químicos (precipitação, adsorção) e biológicos (atividade microbiana na rizosfera) (Kadlec & Wallace, 2009; Matos et al., 2018).

Existem diferentes tipologias de WC, sendo as mais difundidas: i) Wetlands de Fluxo Vertical (WCFV): caracterizados pelo fluxo descendente do esgoto, favorecem a oxigenação e a remoção de matéria orgânica carbonácea; ii) Wetlands de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFH): nos quais o esgoto percorre horizontalmente o meio filtrante (Sartor et al., 2021); iii) Sistemas Híbridos (SH): integram os dois tipos anteriores, buscando potencializar a remoção de nutrientes (Vymazal, 2018).

Estudos recentes apontam eficiências superiores a 80% na remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em sistemas de fluxo vertical (Santos et al., 2016; Matos et al., 2018). Entretanto, a remoção de nitrogênio ainda representa um desafio técnico, demandando soluções complementares, como pós-tratamento aeróbio ou a associação com zonas de aeração (Stefanakis, 2020).

Além disso, a adoção de WC está alinhada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), promovendo acesso universal à água e saneamento por meio de tecnologias inclusivas, resilientes e ambientalmente adequadas (Organização das Nações Unidas [ONU], 2021).

2. Metodologia

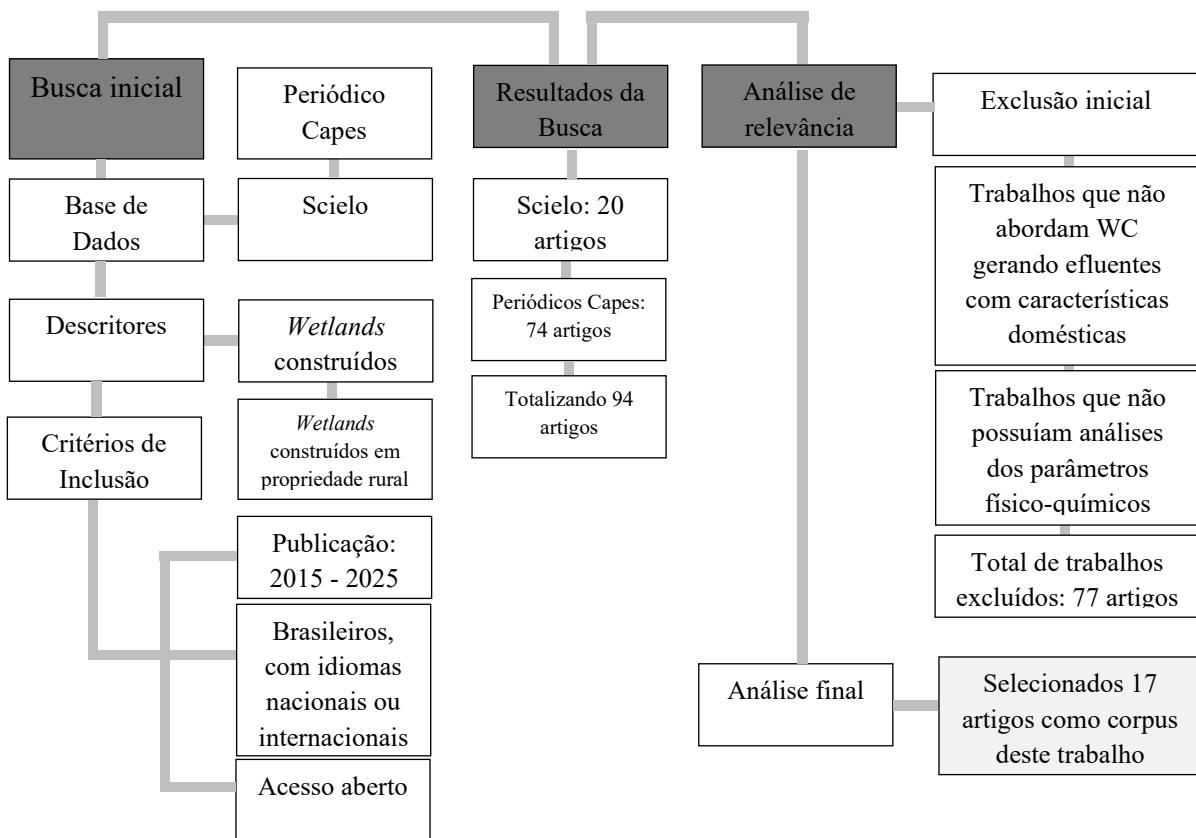
Realizou-se um estudo de revisão integrativa (Snyder, 2019), de caráter descritivo e quantitativo na quantidade de 17 (Dezessete) artigos selecionados para compor o “corpus” da pesquisa e, qualitativo na análise e discussão sobre os artigos (Pereira et al., 2018) bem como uso de estatística descritiva simples com classes de dados e valores de incidência (Shitsuka et al., 2014).

Para a coleta de dados, foram utilizadas as bases de dados Scientific Electronic Library Online - Biblioteca eletrônica científica online (SCIELO) e Periódico Capes com os seguintes termos para busca: “*wetlands* construídos” e “*wetlands* construídos em propriedades rurais”, sendo estes termos amplamente utilizados na literatura nacional. Estes descritores foram selecionados a fim de garantir critérios de relevância e pertinência aos objetivos do estudo. Quanto aos critérios de inclusão, os trabalhos deveriam ter acesso aberto e estarem em um recorte temporal compreendidos entre os anos de 2015 e 2025, possibilitando dessa forma uma captura das mudanças metodológicas de implantação do sistema de WC.

Os dados obtidos foram analisados por meio da Análise de Conteúdo (AC), segundo Bardin (2016). Para tanto, foram utilizadas as três fases recomendadas pela autora: i) a pré-análise (leitura flutuante); ii) a exploração do material (codificação e categorização dos dados), e iii) o tratamento dos resultados (interpretação e discussão).

A partir dos dois descritores foram coletados 94 artigos, onde após análise dos critérios de relevância e pertinência aos objetivos do estudo foram excluídos 77 arquivos, restando 17 estudos como corpus deste trabalho. Sendo possível observar na Figura 1 o fluxograma referente aos encaminhamentos metodológicos utilizados.

Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas da Análise de Conteúdo.



Fonte: Autoria própria (2025).

3. Resultados e Discussão

No desenvolvimento do estudo, os artigos selecionados foram analisados e categorizados pela metodologia, conforme exposto no Quadro 2. A partir disso, foi possível realizar um comparativo entre as metodologias utilizadas, incidência dos parâmetros físico-químicos e custos de implantação.

Quadro 2 - Categorização dos conteúdos quanto aos métodos, eficiência e custo do sistema de wetlands construído.

| Categoria | Incidência (n=17) |
|---|-------------------|
| Métodos utilizados pelos autores | |
| <i>Wetland</i> Construído de fluxo vertical | 8 |
| <i>Wetland</i> Construído de fluxo horizontal | 5 |
| Sistemas Híbridos | 4 |
| Parâmetros físico-químicos analisados para verificação da eficiência | |
| 1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) | 11 |
| 2. Demanda Química de Oxigênio (DQO) | 9 |
| 3. pH | 8 |
| 4. Turbidez | 6 |
| 5. Temperatura | 3 |
| 6. Oxigênio Dissolvido (OD) | 2 |
| 7. Nitrogênio | 11 |

| Custos de implantação | |
|--|-----|
| Wetland Construído de fluxo vertical | 2 |
| Wetland Construído de fluxo horizontal | --- |
| Sistemas Híbridos | 2 |

Fonte: Autoria própria (2025).

A partir da categorização do Quadro 2 é possível observar que o método de WC utilizando um fluxo com escoamento vertical foi o mais utilizado, com uma incidência de 47,06% enquanto o WCFH chegou 29,41% e os SH em 23,53%. A escolha do método utilizado pelos autores ocorreu devido a fatores como clima, disponibilidade de área para construção, declividade do terreno e atendimento aos parâmetros físicos-químicos para o lançamento do efluente final.

Em relação aos parâmetros físico-químicos listados, houve uma incidência de 64,70% para estudos que analisaram a DBO e Nitrogênio. A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece um valor máximo para DBO de 120mg/L ou eficiência de 60% para remoção e 20,0mg/L para N, sendo estes valores de controle. Outro parâmetro com incidência elevada nos trabalhos foi a DQO com 52,94%. Este por sua vez tem a finalidade de medir a oxigenação necessária a fim de oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica do efluente (Sartor et al., 2021). Em seguida, o pH foi analisado em 47,05%, Turbidez em 35,29%, Temperatura em 17,64% e OD em apenas 11,76% dos textos.

Considerando os estudos analisados no Quadro 2, a maior remoção para DBO foi encontrada no trabalho de Rodrigues et al., (2018) sendo de 93,83% utilizando o WCFH, enquanto a menor remoção pode ser visualizada nos estudos de Forgiarini et al., (2016) com WCFV atingindo 53%, onde segundo o autor houve influências climáticas ocasionando insuficiência na adaptação das plantas em baixas temperaturas.

Para o N os estudos de Silva et al., (2020) e Sartor et al., (2021) obtiveram remoção média de 83,60% e 21%, respectivamente. Ambos utilizaram o método de WCFH, entretanto a maior eficiência ocorreu devido a aeração intermitente do sistema que auxilia nos processos de nitrificação e desnitrificação. Já para os estudos utilizando o WCFV foi encontrada uma remoção de N em 74% para Baggiootto et al., (2023), enquanto que a menor taxa utilizando o mesmo método foi de 40% para Mazucato et al., (2020), sendo que a maior eficiência de remoção foi devida a saturação de fundo do sistema.

As taxas de remoção média para DQO foi de 98,25% onde no efluente bruto os valores chegaram 388mg/L e efluente tratado 6,8mg/L com os estudos de Silva et al., (2020) utilizando o WCFH com aeração intermitente por bombas hidráulicas, enquanto que a menor remoção foi registrada por Wink et al., (2016) atingindo 50% com os SH, este último indicando um valor de aproximadamente 600mg/L no esgoto bruto e após o tratamento 300mg/L, utilizando Reator Anaróbio + Microalgas + WCFV. Apesar da DQO não constar como parâmetro fixo para resoluções vigente em âmbito nacional, no Paraná há normativas para a liberação de efluentes provenientes de ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) em corpos de água receptores, exigindo parâmetros de até 225mg/L (Instituto Água e Terra [IAT], 2025).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece parâmetros de pH para condições de lançamento de efluentes com valores entre 5 a 9 sendo este alcançado por todas as técnicas de ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto) em estudo, com variações entre 6,3 para os estudos de Sartor et al., (2021) utilizando da técnica de fluxo horizontal e 7,69 para Nagamati et al., (2018) com o fluxo vertical. No caso dos SH as análises atingiram um nível para pH de 6,65 como demonstrado nos estudos de Wink et al., (2016).

Comparando a incidência de turbidez para o WCFV, os estudos de Nagamati et al., (2018) e Mazucato et al., (2020) alcançaram níveis de turbidez parecidos, com 33,7 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e 33,03 NTU, respectivamente. Em contrapartida, os sistemas utilizando o fluxo horizontal atingiram níveis ainda menores de turbidez com os estudos de Rodrigues et al., (2021) sendo de 20,28 NTU com uma remoção de 94% se comparado ao efluente bruto. Essa

elevada clarificação do efluente “pode estar ligada a remoção de partículas coloidal, em suspensão ou ainda devido à presença de organismos de pequenas dimensões” (Rodrigues et al., 2021, p 5).

Já em relação à temperatura, os valores encontrados em todos os estudos atendem ao recomendado pela Resolução CONAMA nº 430/2011 que indica temperatura inferior a 40°C.

No caso do OD, a Resolução CONAMA nº 430/2011 não regulamenta padrões de lançamento, apenas oxigênio com DBO de efluentes tratados, entretanto de acordo com o Quadro 2, utilizando-se da incidência de dois textos, comparando os níveis de OD, observa-se um aumento da disposição de oxigênio no efluente final após 31 dias do sistema em operação utilizando o WCFV, com taxas de 4,14mg/L, considerando este sistema como promissor no aumento de OD. Importante ressaltar que a presença OD resulta em um ambiente estável para o crescimento de bactérias autotróficas nitrificantes, ou seja, quanto maior os níveis de oxigênio dissolvido maior será oxidação da matéria orgânica carbonácea (Sezerino & Pelissari, 2021).

De modo geral, para o atendimento aos parâmetros de lançamentos de efluentes exigidos pela legislação ambiental brasileira, ambas as técnicas utilizando o WCFV, WCFH ou SH demonstram resultados promissores.

No que se refere aos custos de implantação dos sistemas de tratamentos descentralizados para esgotos domésticos, utilizando o WCFV, WCFH e SH, não há um custo padrão devido a diversos fatores adaptáveis para cada realidade como “configuração do sistema, área a ser ocupada, região da implantação, macrófita utilizada e valor da energia local” (Perondi et al., 2020, p 2). Contudo, estes sistemas apresentam baixo custo de implantação em comparação a outros sistemas descentralizados.

Considerando a incidência dos custos de implantação dos estudos analisados no Quadro 2, observa-se no trabalho de Silva et al., (2017) um sistema piloto de fluxo vertical implantado para receber efluente proveniente de 2 habitantes com um custo de R\$ 172,00 para o ano de 2016. Enquanto que os estudos de Nagamati et al., (2018) utilizando a mesma configuração de sistema, porém dimensionado para 6 habitantes houve um custo geral (construção e mão de obra) de R\$ 3.123,59 também para o ano de 2016. Há uma considerável diferença dos custos para ambos os estudos, entretanto é importante ressaltar que a ETE mais acessível obteve quase 90% dos materiais a partir de doações da comunidade, além disso seu dimensionamento foi inferior ao da ETE menos acessível. Para esta última, os aspectos construtivos chegaram a estes valores devido ao aumento das quantidades de materiais, tempo de construção e mão de obra, além disso, não houve nenhum tipo de doação para construção do sistema.

No Quadro 2 é possível observar que mediante aos estudos utilizados como corpus deste trabalho, não houve caracterização de custos para o WCFH.

Com relação à incidência da caracterização dos custos utilizando SH, os estudos de Perondi et al., (2020) e Domingos et al., (2018) analisaram sistemas híbridos implantados em grande escala como proposta descentralizada para o tratamento de esgotos domésticos. Em primeira instância os estudos de Domingos et al., (2018) obtiveram um custo total (implantação e operação) utilizando Fossa séptica + Filtro anaeróbio + WCFV para 19 residências rurais no valor de R\$ 18.233,14, valores estes aplicados para o estado do Rio Grande do Sul em 2018 em conformidade com os dados da Caixa Econômica Federal intitulada Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI). Aplicando uma média destes custos para as 19 residências é possível observar um valor de aproximadamente R\$ 960,00 por residência, considerado baixo se comparado aos estudos do sistema piloto proposto por Perondi et al., (2020) contendo Tanque Séptico (TS) + WCFV + reciclagem do efluente ao TS para 10 habitantes no valor de R\$ 25.661,23, valores também aplicados ao estado do Rio Grande do Sul em conformidade com o SINAPI.

Este último por sua vez, há custos elevados devido às características de instalação, como o uso de bombas hidráulicas para recirculação do efluente ao TS com a finalidade de reduzir os processos de nitrificação e matéria orgânica

carbonácea. Platzer (1999) reitera ainda que a recirculação auxilia no aumento do tempo de percolação do efluente e entrada de oxigênio adicional por convecção.

4. Considerações Finais

Diante do estudo apresentado, foi possível verificar que os sistemas de WC são alternativas eficazes para o tratamento de águas residuárias em ambientes que não possuem atendimento dos serviços de esgotamento sanitário, sendo estes locais com maior incidência as áreas rurais. Os estudos analisados demonstraram que a escolha do sistema mais adequado deve considerar fatores como a topografia, vazão diária do esgoto determinada pela quantidade de habitantes, assim como atendimento aos parâmetros legais para disposição de efluentes, reforçando a importância de soluções adaptadas às condições locais e ambientalmente responsáveis.

Em relação à comparação entre os sistemas de WCFV e WCFH, revela que ambos possuem vantagens específicas: o WCFH destaca-se pela menor remoção de turbidez, enquanto o WCFV apresenta maior eficiência na remoção de carga orgânica, como DQO e DBO e uma viabilidade de custos para implantação em propriedades rurais brasileiras. Enquanto que a junção de ambos os sistemas ou inserção de outras técnicas como Reator Anaeróbio denominadas SH demonstram atendimento à legislação ambiental brasileira, porém com custos elevados para implantação.

Por fim, consta-se que diante dos textos analisados contemplados pelos objetivos propostos neste estudo quanto aos custos de implantação e atendimento aos parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, os sistemas de WCFV podem ser uma alternativa economicamente viável e ambientalmente correta para pequenas propriedades rurais.

Referências

- Baggiotto, C., Decezaro, A. T., Wolf, D. B., Santos, K. S., Ramírez, R. J. M .G., Friedrich, M. & Marchioro, L. G. (2023). Analysis of the influence of hydraulic application rate and saturation heights in a vertical flow constructed wetland on nitrogen removal. *Eng Sanit Ambient.* 28, e20220252.
- Bardin, L. (2016). Análise de Conteúdo. Editora Edições 70.
- Brasil. (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, e a Lei nº 13.771, de 19 de dezembro de 2018. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 16 jul. 2020. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.
- Brasil. (2007). Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jan. 2007. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm
- Brasil. (2024). Fundação Nacional de Saúde. Relatório anual de auditoria interna exercício. Brasília: Funasa. http://www.funasa.gov.br/documents/2018/203482/RAINT_FUNASA_2024.pdf/bc7f7dc0-db6b-4de5-bb25-d018b1a507a5
- Brasil. (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. *Diário Oficial da União:* seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 16 maio 2011.
- Brasil. (2024). Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA). Brasília, DF. https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultadossinisa/RELATORIO_SINISA_ESGOTAMENTO_SANITARIO_2024_v2.pdf
- Domingos, A. F., Berreta, M. S. R. & Reis, M. (2018). O uso de tecnologia social para tratamento de esgoto doméstico numa comunidade rural de Gramado, RS, Brasil. *Revista Gestão e Políticas Públicas.* 8(2): 316-36.
- European Commission. (2021). Annual activity report 2021: employment, social affairs and inclusion. Brussels. https://commission.europa.eu/system/files/2022-06/annual-activity-report-2021-employment-social-affairs-and-inclusion_en.pdf
- Instituto Água e Terra - IAT. (2025). *Instrução normativa nº 37, de 28 de abril de 2025.* Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. https://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/202506/instrucao_normativa_37-2025empreendimentos_de_saneamento-23785555-8-republicado.pdf
- IBGE. (2024). Panorama. Umuarama: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/umuarama/panorama>
- Kadlec, R. H. & Wallace, S. D. (2009). Treatment wetlands. (2.ed). Boca Raton: CRC Press.

- Lourenço, L. S.; Rodrigues, E. B.; Moreira, M. A. & Skoronski, E. (2018). Remoção de matéria orgânica e nutrientes de esgoto doméstico por wetland horizontal de fluxo subsuperficial na estação de tratamento de Aparecida - Campos Novos, SC. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), 8(1), 85-94, 2018.
- Matos, A. T. et al. (2018). Eficiência de sistemas de wetlands construídos no tratamento de esgoto doméstico. Engenharia Sanitária e Ambiental. 23(1), 55-64.
- Mazucato, V. S. H., Santos, V. B., Cavalheri, P. S. & Filho, F. J. C.E. (2020). Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo. Brazilian Journal of Development. 6(8), 56506-20.
- Nagamati, F. L.; Santos, J. J. F. & Mendes, T. A. (2018). Execução de *wetland* construído para tratamento de esgoto doméstico em propriedade rural. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, 7(1), 418-446, 2018.
- ONU. (2021). Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas (ONU). https://brasil.un.org/sites/default/files/2022-04/ONUBrasil_RelatorioAnual_2021_web.pdf
- Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [Free ebook]. Santa Maria. Editora da UFSM.
- Perondi, T., Wolff, D. B., Decezaro, S. T. & Araújo, R. K. (2020). Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida. Ambiente Construído. 20(2), 175-89.
- Platzer, C. (1999). Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. Water Science and Technology. 40(3), 257-63.
- Ramos, M. F. (2017). Tecnologia Social como facilitadora para tratamento de esgoto em área rural. São Paulo: Biblioteca/CIR.
- Rodrigues, E. B., Schlegel, R. M., Zeferino, C. L.S., Lach, C. E., Rosa, O. & Koslowiski, L. A. D. (2021). Avaliação de um Sistema Wetlands construído em uma propriedade rural no município de Ibirama (SC). Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais. 12(10), 305313.
- Santos, M. O., Pelissari, C., Russo, B. Z., Freitas, M. N. & Sezerino, P. H. (2018). Avaliação dos dois primeiros anos de operação de um *wetland* construído vertical de fundo saturado aplicado no tratamento de esgoto sanitário. TECNO-LÓGICA. 22(1), 25-9.
- Santos, M. O. et al. (2016). Influência da saturação de fundo de maciços filtrantes componentes de wetlands construídos verticais aplicados no tratamento de esgoto sanitário. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. 9(3), 303-16.
- Sartor, L. R. et al. (2021). Desempenho de wetlands construídos para o tratamento descentralizado de efluentes. Revista DAE, São Paulo. 69(231), 36-47.
- Sezerino, P. H., & Pelissari, C. (2021). *Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras*. Brazil Publishing.
- Shitsuka, R. et al. (2014). Matemática fundamental para tecnologia. (2ed). Editora Érica.
- Silva, I. P., Costa, G. B., Queluz, J. G. T. & Garcia, M. L. (2020). Effect of hydraulic retention time on chemical oxygen demand and total nitrogen removal in intermittently aerated constructed wetlands. Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science. 15(3), 2504.
- Silva, L. S. M., Nunes, K. E.S., Sardinha, A. S. & Soares, J. S. (2017). Tratamento de águas residuárias domésticas por zona de raízes de macrófitas em uma residência na cidade de Marabá-PA. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. São Paulo.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, Elsevier. 104(C), 333-9. Doi: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- Stefanikis, A. I. (2020). Constructed wetlands for sustainable wastewater treatment in hot and arid climates: challenges and opportunities. Water, Basel. 12(6), 1665. Doi: <https://doi.org/10.3390/w12061665>.
- Vymazal, J. (2018). Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environmental Science, Technology, Washington. 52(17), 9949-61. Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02589>.
- Wink, M., Ribeiro, W., Pommerehn, S., Radtke, J. F., Silveira, E. O. & Machado, E. L. (2016). Unidade piloto em regime de batelada com sistema de reatores anaeróbios + microalgas + wetlands construídos em fluxo vertical. Revista Jovens Pesquisadores, Santa Cruz do Sul. 6(2), 31-44.