

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

TECNOLOGIA ECOLÓGICA PARA O SANEAMENTO RURAL

Juazeiro do Norte, CE

2025



André Oliveira Silva
Ana Livia Tavares Rodrigues
Ester Saturnino Pereira

Francisco Rodrigo de Lemos Caldas

TECNOLOGIA ECOLÓGICA PARA O SANEAMENTO RURAL

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Francisco Rodrigo de
Lemos Caldas.

Juazeiro do Norte, CE

2025



RESUMO

A crescente escassez de água potável e a ineficiência no tratamento de esgoto são desafios que afetam milhões de pessoas em todo o mundo. Frente a essa problemática, este trabalho investigou a eficiência de wetlands construídos, sistemas de tratamento inspirados em ambientes naturais, na remoção de contaminantes de efluentes sintéticos e águas cinzas. Foram desenvolvidos dois protótipos: um com fluxo vertical (WCV) e outro com fluxo horizontal (WCH), ambos utilizando como elementos filtrantes brita, pó de brita e areia, além da planta macrófita *Typha domingensis*. Após um período de estabilização de dois meses, os sistemas foram submetidos à análise com efluente contendo ferro (64,83 ppm) e águas cinzas artificiais. A eficiência dos sistemas foi avaliada por meio de análises físico-químicas e espectrofotometria utilizando o método da orto-fenantrolina. Os resultados mostraram que o sistema de fluxo vertical obteve 100% de remoção de ferro, enquanto o sistema horizontal alcançou 98,81%. Além disso, o sistema vertical também apresentou significativa redução de amônia, fosfato, turbidez e pH, indicando melhora substancial na qualidade da água tratada. O estudo reforça o potencial dos wetlands construídos como soluções sustentáveis e de baixo custo para o tratamento de efluentes domésticos e industriais. A simplicidade dos materiais utilizados, associada à elevada eficiência na remoção de poluentes, demonstra que esses sistemas são alternativas promissoras para a ampliação do acesso ao saneamento básico e para a preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Requalificação, *Typha Domingensis*, Wetlands

SUMÁRIO



1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	6
3 OBJETIVO	7
3.1 Objetivos geral	7
3.2 Objetivos específicos	7
4 METODOLOGIA	7
5 RESULTADOS OBTIDOS	9
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	11
REFERÊNCIAS	12



1 INTRODUÇÃO

A escassez de água potável e o saneamento inadequado são desafios globais que afetam milhões de pessoas. O relatório do Programa Conjunto de Monitoramento da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2000-2017 – Special Focus on Inequalities*, revela que 785 milhões de pessoas ainda carecem de serviços básicos de abastecimento de água, sendo que 144 milhões dependem de fontes não tratadas.

Além disso, 80% da população rural mundial não possui acesso adequado a esses serviços, e em um quarto dos países analisados, a cobertura para os grupos economicamente mais favorecidos é pelo menos duas vezes maior do que para os mais pobres (ONU, 2021). No Brasil, a situação também é alarmante. Dados do UNICEF indicam que 2,1 milhões de crianças e adolescentes vivem sem acesso adequado à água potável, ressaltando a necessidade urgente de investimentos para garantir esse direito fundamental a toda a população (UNICEF, 2024).

No que se refere ao saneamento, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) aponta que apenas 51,2% do esgoto gerado no país recebe tratamento, o que equivale ao despejo diário de aproximadamente 5.500 piscinas olímpicas de esgoto não tratado em rios, lagos e outros mananciais. Esses corpos hídricos são essenciais para o equilíbrio ambiental e o desenvolvimento urbano, desempenhando funções hidráulicas, paisagísticas, econômicas e urbanísticas (ALMEIDA, 2010).

Dentre os diversos poluentes presentes nos efluentes, os metais pesados (HMS) representam uma ameaça significativa devido à sua toxicidade e persistência no meio ambiente. Esses elementos são liberados por atividades industriais como refino de petróleo, mineração e curtumes. Metais como chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd) e cromo (Cr) podem causar sérios danos à saúde humana, razão pela qual sua concentração deve ser rigidamente controlada. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece limites para a presença desses contaminantes nos corpos d'água (CONAMA, 2011). Uma alternativa



sustentável para o tratamento de efluentes contaminados por metais pesados é o uso de *Wetlands Construídos*.

Esses sistemas, inspirados em ambientes naturais como brejos, pântanos e várzeas, utilizam a ação conjunta de substratos, microbiota e macrófitas para a remoção de poluentes. As plantas desempenham um papel fundamental nesse processo, especialmente por meio da interação entre suas raízes e as bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica (IAQUELI, 2016).

Além disso, os *wetlands* construídos apresentam vantagens como baixo custo operacional, menor necessidade de insumos químicos e reduzido consumo energético, tornando-se uma solução viável para o tratamento de águas residuais industriais e domésticas (ZANELLA, 2008). Entre os efluentes domésticos que podem ser tratados por esses sistemas, destacam-se as águas cinzas, provenientes de pias, chuveiros, tanques e máquinas de lavar.

Embora não sejam próprias para consumo humano, seu reúso para fins não potáveis pode trazer benefícios como a redução da demanda por água potável, a minimização da poluição hídrica e a otimização da infraestrutura de abastecimento (SANTANA *et al.*, 2017; FERREIRA, 2021). Dessa forma, a adoção de tecnologias como os *wetlands* construídos pode contribuir significativamente para a gestão sustentável dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade ambiental.

2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista os problemas ambientais recentes, principalmente o elevado número de esgoto e resíduos líquidos lançados nos ecossistemas, nessa realidade define-se a nossa questão norteadora: como podemos dar um destino adequado aos esgoto? Pensar em soluções para esse problema é fundamental para que possamos construir cidades e comunidades saudáveis, promovendo saúde e bem-estar da população, uma proposta de pesquisa contextualizando a despoluição e requalificação ambiental a partir do uso de uma tecnologia ambiental. Existem inúmeros desafios para a construção de uma comunidade sustentável e com maior qualidade de vida para a sua população, o tratamento de esgotos doméstico é um deles, desenvolver estratégias para tratar esse problema é



necessário, dentre elas, podemos destacar a dos *Wetlands Construídos*, uma alternativa para dar destino adequado ao esgoto proveniente de pias, tanques e chuveiros, rico em sabões, detergentes, restos de alimentos e gorduras, a chamada “água cinza”. Além de águas contaminadas com metais como chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd) e cromo (Cr). Assim, os *Wetlands Construídos* se mostram como uma opção de tecnologia para requalificação barata e de fácil construção.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Contribuir significativamente para o desenvolvimento rural, científico e tecnológico com uma proposta de melhoria no tratamento de águas, através de tecnologia ambiental, engenharia em projetos para o tratamento de efluentes, alinhado com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

3.2 Objetivos específicos

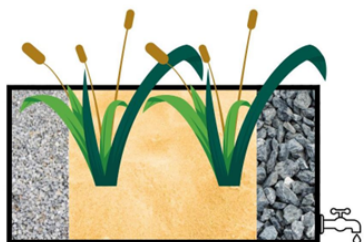
- Desenvolver protótipos de *Wetlands Construídos* para o tratamento e requalificação de efluentes, economicamente sustentável, de forma a garantir tratamento dos resíduos que forem testados.
- Empregar os *Wetlands Construídos* no tratamento e requalificação de efluentes como água cinza e com a presença de metais.

4 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado utilizando dois sistemas de *Wetland Construído* (WC), sendo um com Fluxo Vertical (WCV) e outro com Fluxo Horizontal (WCH). O sistema vertical foi projetado de maneira que o efluente fosse introduzido na parte superior do protótipo e se movesse verticalmente através das camadas de filtração, auxiliado pela gravidade. Por outro lado, no sistema horizontal, o tratamento do efluente ocorre de forma subsuperficial, ou seja, abaixo do nível do solo, com o efluente sendo introduzido na zona de entrada e percolando pelo meio filtrante até a saída. Em ambos os sistemas, foram utilizados brita, pó de brita e areia como meios filtrantes. Esses materiais foram dispostos de forma a garantir a sustentação das plantas e evitar o escoamento inadequado do efluente.

Figura 1. Protótipos construídos. Horizontal (Esquerda) e Vertical (Direita).





Fonte: Autores.

O sistema WCV foi construído a partir de uma jardineira plástica, com dimensões de 24,5 cm de largura e comprimento na parte superior, 15 cm de largura e comprimento na parte inferior e 25 cm de altura. O substrato foi disposto da base para a superfície na seguinte ordem: brita (3 cm, 4 kg), pó de brita (4 cm, 2,5 kg), brita (4 cm, 3 kg), areia (4 cm, 4 kg) e uma camada final de brita (2 kg). Já o sistema WCH foi confeccionado a partir de um tambor plástico reaproveitado, com dimensões de 45 cm de comprimento, 15,5 cm de altura e 32 cm de largura. A planta macrófita *Typha domingensis* (Taboa), nativa da América do Sul, foi escolhida para este estudo devido à sua alta tolerância a efluentes com contaminantes metálicos e à sua capacidade de se adaptar ao clima local.

Após o período de maturação da planta, que durou dois meses, foi introduzido no sistema um efluente de água cinza e outro efluente sintético contendo ferro a uma concentração de 64,83 ppm. A eficiência do *wetland* na remoção do ferro foi avaliada por espectrofotometria, utilizando o método da orto-fenantrolina e a técnica da curva de calibração. A equação da curva obtida foi $y = 0,042 (\pm 0,0056) \cdot x + 0,427 (\pm 0,188)$. O efluente de águas cinzas foi avaliado quanto às suas características físico-químicas por kit de análises rápidas alfakit.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Os protótipos de *wetlands* construídos, foram confeccionados visando atender os padrões de descarte dos efluentes tratados, dentro dos padrões normatizados no Brasil. Após o desenvolvimento de ambos os sistemas, foi introduzido nos protótipos um efluente contendo água cinza, e outro contendo



ferro, numa concentração de 64,83 ppm. Os resultados dispostos na Tabela 1, exibem a eficiência do tratamento do *wetland* vertical para o efluente de águas cinzas:

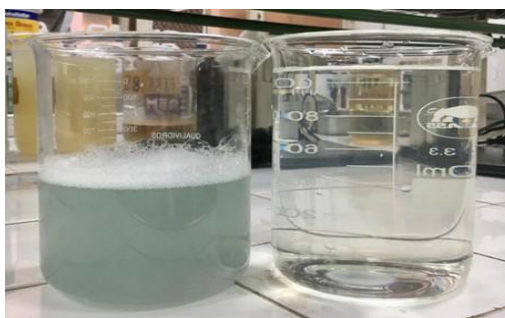
Tabela 1 - Análise físico-química do efluente de água cinza testado no Wetland Construído Vertical.

Parâmetro	Antes	Depois
Amônia (mg/L)	3,00	0,25
Nitrato (mg/L)	0,10	0,00
Nitrito (mg/L)	0,01	0,01
Fosfato (mg/L)	3,00	0,00
pH	9,00	6,00
Turbidez (NTU)	150,00	4,12

Fonte: Autores.

Os resultados acima, indicam uma melhora na qualidade da água após tratamento e reforçam a viabilidade dos modelos de *wetlands* como soluções de baixo custo para o tratamento de efluentes. Os testes físico-químicos realizados em laboratório mostraram resultados promissores, com destaque para a significativa remoção de amônia (NH_3). Estes dados confirmam a eficácia do sistema, destacando o potencial dos *wetlands* como solução sustentável no tratamento de águas residuais e na preservação dos recursos hídricos.

Figura 2. Comparação do efluente de água cinza após a passagem pelo sistema vertical:





Fonte: Autores.

Os resultados da Tabela 2 demonstram a eficiência dos sistemas de *wetlands* na remoção de ferro do efluente sintético. O sistema de fluxo vertical apresentou uma taxa de remoção de 100%, evidenciando sua elevada capacidade de tratamento. Paralelamente, o sistema de fluxo horizontal alcançou uma taxa de remoção de 98,81%, desempenho que, embora inferior ao do sistema vertical, ainda representa uma eficiência significativa na redução da concentração de ferro na água. A análise dos dados demonstrou a capacidade dos sistemas em remover o contaminante, com destaque para a remoção de ferro. Esses resultados indicam uma melhora na qualidade da água tratada e reforçam a viabilidade dos modelos de *wetlands* como soluções de baixo custo para o tratamento de efluentes.

É indiscutível que os *wetlands* construídos funcionam para tratamento com águas cinzas. Entretanto, observamos agora os resultados de ambos os sistemas na remoção da contaminação do efluente por ferro. Quanto a esta remoção, houve a obtenção de resultados positivos, chegando aos níveis de 100% no sistema vertical. Com isso, é perceptível o quão eficaz o sistema se mostrou para este determinado tratamento. No sistema horizontal, chegamos a uma porcentagem de remoção de 98,81%, demonstrando que ele é tão eficiente quanto o sistema vertical para o objetivo desejado. A tabela 2, apresenta com detalhes os dados de remoção.

Tabela 2 – Eficiência de remoção de ferro no sistema vertical e horizontal, pelo método orto-fenantrolina do efluente artificial com a composição de ferro.

	% Remoção
Vertical	100%
Horizontal	98,81%

Fonte: Autores



6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo validou a eficácia dos sistemas de wetlands construídos de fluxo vertical e horizontal no tratamento de efluentes sintéticos contaminados com ferro e águas cinzas. Os resultados obtidos destacaram o excelente desempenho do sistema de fluxo vertical, que alcançou 100% de remoção do ferro, além de significativa redução de parâmetros como amônia, fosfato, turbidez e pH. O sistema de fluxo horizontal também apresentou desempenho satisfatório, com 98,81% de remoção de ferro, confirmando seu potencial como alternativa viável, especialmente em contextos de baixo custo e fácil implementação.

Os modelos de *wetland* construídos se apresentaram como alternativa para tratamentos de efluentes de águas cinzas e de metal pesado, reduzindo de forma adequada os níveis de poluentes presentes nos efluentes. A *Typha Domingensis*, planta comum no Brasil, em especial na região do nordeste brasileiro, mostrou-se uma alternativa eficaz para a fitorremediação no sistema construído.

A utilização da macrófita *Typha domingensis*, aliada a materiais filtrantes simples e acessíveis, como brita, areia e pó de brita, contribuiu para a efetividade dos sistemas, reforçando o papel das soluções baseadas na natureza na gestão de águas residuais. O baixo custo de implantação dos protótipos e a eficiência dos tratamentos demonstram que os wetlands construídos podem ser uma estratégia sustentável e econômica, especialmente em comunidades que enfrentam limitações estruturais no acesso ao saneamento básico.

Diante disso, o projeto representa uma alternativa que valoriza a gestão adequada dos recursos hídricos, o reuso das águas impacta positivamente o saneamento ambiental e a qualificação dos espaços. Uma resposta viável em busca da justiça climática para a utilização em residências, empresas e comunidades, colocando-se como modelo de fácil implantação e de baixo custo. Nesse cenário, constitui-se uma possibilidade de garantir às populações mais vulneráveis, principalmente a do nordeste brasileiro, assegurando a qualidade de vida a partir do ciclo responsável do uso da água.



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará.** 2010. 278 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

CONAMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente.** Resolução nº 430, de 2011.

FERREIRA, J. A.; LIMA, E. C.; ALMEIDA, C. A. **Wetlands construídos como alternativa sustentável para tratamento de águas contaminadas por metais: uma revisão bibliográfica.** *Revista Ambiente & Água*, v. 16, n. 4, p. 1-15, 2021.

IAQUELI, A. L. **Wetlands construídos: aplicações, benefícios e vantagens do sistema.** São Paulo: Centro Universitário de Instituto Mauá de Tecnologia, 2016.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br>. Acesso em: 02 abr. 2024.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Água para o desenvolvimento sustentável, justo e igual.** 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/122875-artigo-agua-para-o-desenvolvimento-sustentavel-justo-e-igual>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SANTANA, D. R.; MEDEIROS, L. B. P. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas em edificações - Padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção. Relatório técnico apresentado à Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal.** Distrito Federal (DF): Convênio ADASA/UnB, 2017. Disponível em: <https://adasa.df.gov.br>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional.** Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/menu-coleta-dados>. Acesso em: 13 mar. 2024.

UNICEF. **Fundo das Nações Unidas para a Infância.** 21 milhões de crianças e adolescentes vivem sem acesso adequado a água no Brasil. 2024. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/21-milhoes-de-criancas-e-adolescentes-vivem-sem-acesso-adequado-agua-no>. Acesso em: 04 abr. 2024.

ZANELLA, Luciano. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.



ZHAO, L.; LI, Y.; ZHANG, X. **O papel das macrófitas em wetlands construídos: fitorremediação de metais pesados.** *Environmental Pollution*, v. 306, p. 119347, 2023.