

JARDINS FILTRANTES COMO TECNOLOGIA ECOLÓGICA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA FINS DE ESTUDO

Arthur Ferreira Teixeira¹, Jossias João Domingos², Marcelo Borges Rocha³

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, Brasil. (arthurferreirat@gmail.com)

²Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, Brasil. (jossiasjd87@gmail.com)

³Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, Brasil. (marcelo.rocha@cefet-rj.br)

Resumo: Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo experimental de jardim filtrante para o tratamento de águas cinzas. Trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa, aplicada, exploratória e descritiva, baseada em revisão bibliográfica e na construção de um modelo em escala reduzida. As observações indicaram eficiência na remoção de impurezas por processos físicos, químicos e biológicos, evidenciando potencial sustentável e educativo.

Palavras-chave: Jardins Filtrantes; Águas Cinzas; Protótipo; Tecnologia Social de Saneamento Ecológico; Tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

A universalização do saneamento básico ainda representa um desafio relevante ao desenvolvimento socioambiental no Brasil, configurando-se como um tema central nas agendas contemporâneas de políticas públicas voltadas à saúde coletiva, ao planejamento urbano e à gestão sustentável dos recursos hídricos.

Apesar de avanços institucionais observados nas últimas décadas, o acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário ainda apresenta profundas desigualdades territoriais. Estudos recentes apontam que mais de 90 milhões de brasileiros vivem em áreas sem coleta ou tratamento adequado de esgoto, demonstrando a magnitude do problema no país (Agência Brasil, 2025).

Essa realidade manifesta-se de maneira particularmente crítica em áreas periféricas e em comunidades urbanas historicamente marcadas por déficits de infraestrutura. Nessas regiões, a precariedade dos sistemas de saneamento contribui diretamente para a degradação ambiental, a intensificação de problemas de saúde pública, como a disseminação de doenças de veiculação hídrica e compromete o desenvolvimento social (IPEA, 2020).

Diante desse cenário, as tecnologias sociais (TS) de saneamento ecológico têm ganhado destaque como instrumentos capazes de ampliar o acesso a soluções de saneamento sustentável em territórios vulnerabilizados. De modo geral, essas tecnologias caracterizam-se por processos que envolvem a participação comunitária na implementação de soluções sustentáveis, priorizando alternativas de baixo custo respaldadas na construção com materiais simples e reutilizados, sendo replicáveis e adaptadas às realidades locais (Dagnino, 2004).

Conforme argumenta Dagnino (2004), a TS diferencia-se da tecnologia convencional ao incorporar princípios de inclusão, coletividade e emancipação social, articulando o conhecimento científico com saberes locais na construção de respostas mais adequadas às necessidades das comunidades. A relevância dessa abordagem tem sido reforçada por estudos contemporâneos que defendem a integração entre políticas públicas, inovação social e participação comunitária como elementos fundamentais para enfrentar os desafios da universalização do saneamento no Brasil (Sousa et al., 2025).

Nesse contexto, o saneamento ecológico surge como uma abordagem alternativa baseada na recuperação de recursos e na integração com os ciclos naturais, visando reduzir a poluição e



promover o reaproveitamento de água e nutrientes (Vilanova et al., 2025).

Os sistemas ecoconscientes utilizam soluções baseadas na natureza, entre eles, destacam-se os jardins filtrantes, uma tecnologia francesa também denominada wetland construído (Kadlec; Wallace, 2009; Vymazal, 2021). São sistemas ecológicos de tratamento de águas cinzas. As águas cinzas correspondem aos efluentes domésticos provenientes de atividades como banho, lavagem de roupas e uso de pias (exceto esgoto do vaso sanitário).

Esses sistemas utilizam substratos minerais, vegetação aquática e comunidades microbianas para promover a remoção de poluentes presentes nos efluentes de forma descentralizada e de baixo impacto ambiental, contribuindo para a transição rumo a modelos mais sustentáveis de saneamento e socialmente viáveis (Von Sperling, 2014).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo criar um protótipo experimental de jardim filtrante para o tratamento de águas residuais cinzas, buscando a compreensão dos processos envolvidos nessa tecnologia de saneamento ecológico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é de natureza aplicada, por buscar gerar conhecimento com potencial de aplicação prática no saneamento ambiental, especialmente no que se refere ao tratamento descentralizado de águas cinzas por meio da utilização de jardins filtrantes. As pesquisas aplicadas são voltadas para a solução de problemáticas específicas da realidade, produzindo conhecimentos que podem ser empregados na prática social, tecnológica ou ambiental (Gil, 2019).

Quanto à abordagem, o estudo apresenta caráter Quanti-qualitativo. É qualitativa o priorizar a compreensão dos processos envolvidos no funcionamento do sistema. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa qualitativa busca interpretar fenômenos e compreender suas dinâmicas a partir da análise de processos observados. É quantitativo por incorporar elementos de caráter mensurável (Gil, 2019), o que facilitou a medição de vazão e volume de água.

No que se refere aos objetivos, o estudo foi de caráter exploratório e descritivo (Marconi e Lakatos, 2003). A dimensão exploratória justifica-se pela busca de aprofundamento do conhecimento acerca da tecnologia ecológica, visto que constitui um tema menos explorado.

Já o caráter descritivo manifesta-se na apresentação detalhada do funcionamento do sistema, dos materiais utilizados na construção, das camadas filtrantes, bem como dos processos físico-químicos e biológicos envolvidos. Conforme Gil (2019), pesquisas descritivas têm como finalidade principal descrever características de determinado fenômeno ou sistema.

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica com o objetivo de reunir e analisar conhecimentos científicos já consolidados acerca do tema, sendo consultados artigos científicos, livros e publicações institucionais (Lakatos; Marconi, 2017).

Em seguida, foi desenvolvido um protótipo didático experimental de wetland construído em escala reduzida, no Laboratório de Engenharia Ambiental do CEFET/RJ no Campus Maracanã, visando representar de forma simplificada os principais componentes estruturais e funcionais de um sistema real de tratamento de águas cinzas. O sistema foi projetado de modo a permitir a visualização do percurso da água ao longo das diferentes camadas filtrantes, possibilitando a compreensão dos mecanismos envolvidos na remoção de impurezas presentes nos efluentes.

Durante o experimento, realizaram-se observações diretas sobre o fluxo da água, a atuação das camadas filtrantes e a clarificação do efluente, sendo os dados analisados de forma descritiva e interpretativa, em diálogo com a literatura científica.

Por fim, os resultados obtidos foram discutidos à luz da literatura especializada, destacando-se os benefícios ambientais da tecnologia, bem como os desafios associados à sua implementação, incluindo aspectos relacionados à manutenção, dimensionamento adequado e adaptação às diferentes realidades socioambientais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelam que tecnologias de saneamento ecológico consistem em sistemas naturais de tratamento de efluentes que reproduzem, de forma controlada, os processos observados em áreas alagadas. Em escala real, esses sistemas são geralmente compostos por um leito impermeabilizado, com o uso de geomembranas ou camadas de argila que evitam infiltração no solo, preenchido por substratos granulares, como brita e areia grossa, dispostos em camadas com uma espessura aconselhada (ver Figura 1). Sobre

esse meio suporte, são cultivadas, uniformemente ao longo do leito, espécies macrófitas aquáticas, que são adaptadas a ambientes alagados, sendo frequentemente utilizadas em wetlands construídos.

O efluente cinza, previamente submetido a um pré-tratamento (como caixas de gordura e decantadores) fundamental para reduzir a carga de sólidos e evitar processos de colmatação precoce do meio filtrante, é distribuído no leito e percola através do substrato, sendo tratado ao longo do percurso (EMBRAPA, 2025; Tonetti et al., 2018).

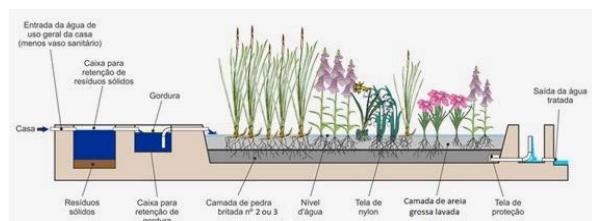


Figura 1. Modelo de Jardim Filtrante da EMBRAPA

No interior do sistema, o tratamento ocorre por meio da integração de processos físicos, químicos e biológicos. Inicialmente, mecanismos físicos, como filtração mecânica e sedimentação, promovem a retenção de sólidos suspensos e a redução da turbidez do efluente. Os processos físico-químicos, como adsorção e troca iônica, permitem a remoção de nutrientes e outros compostos dissolvidos, especialmente fósforo e formas nitrogenadas (Von Sperling, 2014).

Entretanto, a principal etapa de depuração ocorre na rizosfera das plantas, onde se desenvolve intensa atividade microbiológica. As raízes das macrófitas liberam oxigênio no meio, criando microzonas aeróbicas que favorecem a atuação de diferentes grupos de microrganismos. Nessa região, forma-se um biofilme composto por bactérias, fungos e protozoários, responsáveis pela degradação da matéria orgânica e pela transformação de compostos poluentes. Destacam-se os processos do ciclo do nitrogênio, como a nitrificação e a desnitrificação, contribuindo para a remoção de poluentes (Kadlec; Wallace, 2009; Vymazal, 2021).

Além disso, a rizosfera contribui para a remoção de patógenos por meio de competição biológica. As próprias plantas também participam do processo, absorvendo os nutrientes e oferecendo suporte físico para a colonização microbiana. Dessa forma, a eficiência da TS está diretamente associada à interação entre

substrato, plantas e microrganismos (Von Sperling, 2014).

Para a eficácia da TS, foi feito um planejamento técnico, sendo necessário o dimensionamento adequado, sobretudo no que se refere à vazão, a qual orienta a definição da área do leito filtrante e dos materiais utilizados. Estudos indicam que falhas nesse processo podem comprometer significativamente o desempenho do sistema, seja por sobrecarga hidráulica ou por tempo de retenção insuficiente para a ocorrência dos processos de depuração (Vymazal, 2021).

Sendo assim, foi desenvolvido um protótipo experimental de jardim filtrante (ver Figura 2), com finalidade didático-científica, permitindo a observação do funcionamento dessa TS no tratamento descentralizado de águas residuárias. O sistema foi construído em um recipiente retangular transparente com dimensões de 34 cm de comprimento, 22 cm de largura e 10,5 cm de altura, resultando em volume bruto aproximado de 7,85 L. Considerando a ocupação interna por materiais granulares e raízes vegetais, estimou-se uma porosidade média de 40%, correspondente a um volume útil de armazenamento hídrico de aproximadamente 3,14 L.

O leito filtrante foi estruturado por meio da organização sequencial de camadas sobrepostas, compostas por brita, cascalho e areia, respeitando a proporção calculada de acordo com sistemas de wetlands construídos reais, adaptados ao tamanho do recipiente: uma camada inferior de drenagem com 3 cm de brita nº 1, uma camada com 3 cm de cascalho e uma camada superior com 4 cm de areia grossa lavada, destinada à retenção de sólidos e ao suporte radicular das macrófitas. Foram inseridas três mudas de taboa-do-brejo (*Typha domingensis*), distribuídas de forma equidistante no leito, promovendo os processos biogeoquímicos característicos de sistemas em escala real.

A alimentação do sistema foi realizada por meio da aplicação controlada de águas residuais simuladas, não havendo necessidade de pré-tratamento, contendo sabão, matéria orgânica e fração lipídica em baixa concentração. A operação ocorreu em regime intermitente, com pulsos de 700 mL aplicados uma vez ao dia, três vezes por semana, totalizando cerca de 2,1 L por semana, mantendo-se dentro de uma faixa operacional segura para evitar a saturação do meio filtrante e garantir a adequada percolação do efluente ao longo do leito.

O escoamento ocorreu em regime subsuperficial horizontal, com entrada do efluente em uma extremidade e coleta na extremidade oposta. Na saída do sistema, foi instalado um controle de nível hidráulico, constituído por um tubo vertical ajustado à altura da base do leito, o qual impediu a formação de lâmina d'água superficial, evitando a proliferação de mosquitos. Essa configuração reproduz de forma simplificada o funcionamento de um wetland construído, possibilitando a compreensão dos mecanismos envolvidos no tratamento.

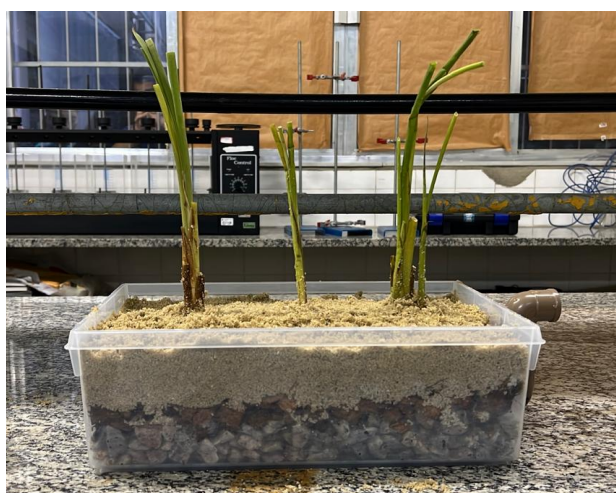


Figura 2. Protótipo didático de Jardim Filtrante.

Durante o funcionamento do protótipo, observou-se o fluxo da água ao longo das diferentes camadas do meio filtrante, favorecendo a ocorrência dos processos físico-químicos e biológicos responsáveis pela remoção de contaminantes.

Os resultados qualitativos obtidos indicaram uma melhora significativa na qualidade da água tratada, especialmente do ponto de vista visual. Observou-se redução perceptível da turbidez, diminuição da presença de espuma, bem como menor ocorrência de partículas finas em suspensão, evidenciando a eficiência do sistema filtrante. Para além disso, verificou-se a ausência de odor característico associado às águas cinzas brutas, sugerindo a atuação integrada de mecanismos físico-químicos e microbiológicos na degradação de compostos orgânicos responsáveis por maus odores.

Embora o protótipo tenha sido concebido com finalidade demonstrativa e educacional, os resultados obtidos revelam um desempenho

promissor mesmo em escala reduzida. Tais evidências corroboram o potencial do sistema como ferramenta didática para a demonstração dos processos envolvidos no tratamento de efluentes.

Resultados semelhantes são amplamente relatados na literatura científica. Estudos recentes indicam que a implementação de wetlands construídos em contextos urbanos demonstrou capacidade de reduzir em até 60% a carga orgânica presente na água, resultando em melhorias expressivas na qualidade ambiental do entorno (Pinheiro et al., 2020). Tal convergência reforça a validade do modelo experimental como representação simplificada dos mecanismos que ocorrem em sistemas em escala real.

Outro aspecto relevante refere-se ao potencial dos jardins filtrantes como tecnologia social de saneamento ecológico, particularmente em contextos em que a infraestrutura convencional de coleta e tratamento de esgoto é limitada ou inexistente. Nessas situações, sistemas naturais de tratamento podem contribuir para a melhoria das condições sanitárias e para a redução dos impactos ambientais associados ao lançamento de efluentes domésticos sem tratamento adequado (Tonetti et al., 2018; Von Sperling, 2014).

Entretanto, apesar dos benefícios observados, a implementação de sistemas de jardins filtrantes também apresenta desafios que devem ser considerados. Dentre os principais, destacam-se a necessidade de um dimensionamento adequado em função da vazão do efluente, a seleção apropriada dos materiais filtrantes e das espécies vegetais empregadas, bem como a realização de manutenção periódica, a fim de evitar problemas como a colmatção do substrato e a consequente redução da eficiência ao longo do tempo (Kadlec; Wallace, 2009; Vymazal, 2021).

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que o sistema apresentou desempenho satisfatório no tratamento dos efluentes analisados, evidenciando sua eficiência e potencial de aplicação. Nessa perspectiva, observa-se concordância com a literatura científica ao evidenciar o potencial dos jardins filtrantes como alternativa sustentável para o tratamento de efluentes. A análise comparativa com estudos recentes reforça essa consonância, embora algumas variações possam ser atribuídas às condições experimentais específicas adotadas. Ademais, os resultados ressaltam a importância de um



planejamento técnico adequado, de modo a garantir a eficiência do sistema em aplicações reais. Destaca-se, contudo, a necessidade de investigações adicionais em diferentes escalas e contextos operacionais, a fim de consolidar a aplicabilidade da tecnologia. Assim, tais achados contribuem para o avanço das discussões na área, fornecendo base para as considerações finais apresentadas a seguir.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que os jardins filtrantes constituem sistemas eficazes para o tratamento de águas cinzas, apresentando funcionamento coerente com os princípios descritos na literatura para wetlands construídos. O acompanhamento do protótipo confirma a capacidade do sistema em melhorar a qualidade da água mesmo em condições simplificadas.

Nesse sentido, a tecnologia social mostra-se altamente benéfica por utilizar processos naturais de depuração que promovem a redução significativa da carga poluidora presente nos efluentes. Como resultado desse tratamento, a água pode ser reaproveitada em usos não potáveis, como irrigação de áreas verdes e limpeza de espaços, ou, quando necessário, pode ser devolvida ao meio ambiente com menor potencial de impacto, uma vez que os processos de filtração, degradação biológica e retenção de contaminantes reduzem substancialmente a presença de substâncias poluentes.

Tais características reforçam seu potencial como solução ecologicamente correta, de baixo custo e aplicável ao manejo de efluentes domésticos, especialmente em contextos com ausência ou ineficiência de sistemas convencionais de saneamento, frequentemente associada à limitada atuação do poder público em determinadas regiões.

Para além disso, o protótipo possibilitou uma compreensão mais aprofundada das etapas de construção de jardins filtrantes, permitindo identificar materiais utilizados, organização das camadas e critérios de dimensionamento. Sua utilização como modelo didático pode favorecer a visualização do funcionamento do sistema, tornando mais acessíveis os processos de filtração física, biológica e microbiológica envolvidos no tratamento das águas residuárias.

Do ponto de vista ambiental, os jardins filtrantes alinham-se aos princípios do desenvolvimento sustentável, pois promovem o tratamento de

efluentes por processos naturais, com baixo impacto, sem consumo energético e mínima geração de resíduos.

Esses sistemas reduzem a carga poluidora, contribuem para a conservação dos recursos hídricos e diminuem a pressão sobre infraestruturas convencionais. Além disso, sua adoção relaciona-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ao promover o acesso a soluções seguras e sustentáveis de tratamento de efluentes, e o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao incentivar práticas descentralizadas e ambientalmente responsáveis. Ademais, a TS destacada também se relaciona com o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao apresentar nenhuma demanda energética e contribuir para a redução de impactos ambientais.

No âmbito educacional, a construção do protótipo experimental mostrou-se altamente relevante, configurando-se como uma significativa ferramenta de educação ambiental ao possibilitar a aprendizagem por meio da observação direta e da experimentação prática. Essa abordagem favorece a compreensão concreta dos processos envolvidos no tratamento de efluentes, aproximando conceitos científicos da realidade cotidiana e tornando o conhecimento mais acessível e significativo. Além disso, contribui para o desenvolvimento da consciência ambiental e para a formação de valores socioambientais, estimulando atitudes responsáveis em relação ao uso dos recursos naturais e ao cuidado com o meio ambiente. Dessa forma, iniciativas dessa natureza fortalecem o processo educativo ao promover não apenas a aquisição de conhecimentos técnicos, mas também a reflexão crítica sobre os impactos das ações humanas nos ecossistemas e sobre a importância da adoção de práticas sustentáveis para a construção de uma sociedade mais equilibrada e ambientalmente responsável.

Nesse contexto, o uso de ferramentas pedagógicas que permitem a observação direta dos processos ambientais favorece o aprendizado significativo, ao tornar mais acessíveis e compreensíveis os fenômenos envolvidos. Assim, o protótipo contribuiu de forma expressiva para a disseminação de conhecimentos sobre saneamento ecológico e tecnologias sociais, além de evidenciar, de maneira prática, a simplicidade, a



funcionalidade e os benefícios associados à implementação desses sistemas.

Por fim, conclui-se que os jardins filtrantes apresentam elevada eficiência no tratamento de águas cinzas e se consolidam como uma alternativa estratégica para o desenvolvimento sustentável. Ao integrar conhecimento científico, experimentação prática e educação ambiental, essa tecnologia evidencia o potencial de soluções baseadas na natureza na redução de impactos sobre os recursos hídricos e na promoção do equilíbrio dos ecossistemas.

AGRADECIMENTOS

À CNPq pelo incentivo à iniciação científica;

À CEFET-RJ pelo suporte acadêmico;

LABDEC pelo apoio e orientação no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Déficit de saneamento no Brasil. Agência Brasil, Brasília, 2025.

DAGNINO, R. Tecnologia social: contribuições teóricas e metodológicas. Editora Unicamp, Campinas, 2004.

EMBRAPA. Sistemas naturais de tratamento de efluentes. EMBRAPA, Brasília, 2025.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. Atlas, São Paulo, 2019.

IPEA. Saneamento básico no Brasil: avanços e desafios. IPEA, Brasília, 2020.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Treatment wetlands. CRC Press, Boca Raton, 2009.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica. Atlas, São Paulo, 2017.

LOUREIRO, C. F. B. Educação ambiental e sustentabilidade. Cortez, São Paulo, 2019.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PINHEIRO, L.; et al. Wetlands construídos no tratamento de águas residuárias. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 3, p. 455–466, 2020.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico. Feevale, Novo Hamburgo, 2013.

SOUSA, A.; et al. Políticas públicas e saneamento sustentável. Revista de Administração Pública, v. 59, p. 112–130, 2025.

TONETTI, A. L.; et al. Tratamento de esgotos domésticos em sistemas descentralizados. Blucher, São Paulo, 2018.

VILANOVA, M.; et al. Ecological sanitation systems and water reuse. Environmental Science & Policy, v. 158, p. 210–220, 2025.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. UFMG, Belo Horizonte, 2014.

VYMAZAL, J. Nature-based wastewater treatment systems. Springer, Cham, 2021.