

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **JARDINS DE CHUVA: SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS**

*Sabrina Anizio Lopes<sup>1</sup>; Mariana Dutra Rodrigues<sup>2</sup>; Mariângela Dutra de Oliveira<sup>3</sup>; Jônio Ferreira e Souza<sup>4</sup>*

#### **Abstract:**

This article presents a systematic review of the literature on the use of plants and by-products as filter media in bioretention systems with a focus on rain gardens, which promote sustainable management of urban stormwater, urban resilience and environmental comfort. Studies with plants being used in cold, temperate and tropical climates, the by-products incorporated into the systems in the substrate or filter media such as biochar, activated carbon from sewage sludge, construction waste and agricultural by-products and the environmental benefits of these systems were analyzed. It is concluded that the studies should be applied on a real scale with due monitoring to ensure their efficiency and the development of public policies that promote the achievement of the Sustainable Development Goals and the circular economy.

**Keywords:** bioretention; drainage; circular economy.

#### **Resumo:**

Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de espécies vegetais e subprodutos como meios filtrantes em sistemas de biorretenção, com ênfase em jardins de chuva, que promovem o manejo sustentável das águas pluviais urbanas, o aumento da resiliência urbana e melhoria no conforto ambiental. Os estudos analisados utilizaram espécies vegetais de climas frios, temperados e tropicais, e empregaram subprodutos no substrato ou meio filtrante, tais como biochar, carvão ativado de lodo de esgoto, resíduos da construção civil e subprodutos agrícolas. e os benefícios desses sistemas ambientalmente. Conclui-se que os estudos devem ser aplicados em escala real com o devido monitoramento para garantia da sua eficiência e desenvolvimento de políticas públicas que fomentem o atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento sustentável e a economia circular.

**Palavras-Chave** biorretenção; drenagem; economia circular.

## **1 Introdução**

As mudanças climáticas têm intensificado eventos como chuvas torrenciais, inundações urbanas e períodos de seca prolongada, exigindo a implementação de soluções sustentáveis para a gestão das águas em áreas urbanas. Diante desse cenário, as soluções baseadas na natureza (SbN) despontam como alternativas estratégicas, ao imitarem processos naturais para promover resiliência

1) Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, 29040-780, (27)98817-032, profsabrinaanizio@gmail.com

2) Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES, 29075-910, (27) 98808-8140,

[marianadutra.arquitetura@gmail.com](mailto:marianadutra.arquitetura@gmail.com)

3) Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, 29040-780, (27)99969-2509, [mariangeladutra@ifes.edu.br](mailto:mariangeladutra@ifes.edu.br)

4) Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, 29040-780, (27)99982-3836, [joniosouza1@gmail.com](mailto:joniosouza1@gmail.com)

ambiental e urbana. Entre essas soluções, os sistemas de biorretenção com ênfase nos jardins de chuva destacam-se por sua capacidade de gerenciar o escoamento pluvial, reduzindo a sobrecarga em sistemas de drenagem convencionais, e mitigando a poluição difusa causada pela urbanização (Gondim, Ohnuma Jr. e Obraczka, 2023).

Segundo Wang et al (2024), os jardins de chuva combinam as funções ecológicas, hidrológicas, estéticas e sociais, podendo proporcionar um conforto térmico urbano, com a redução da temperatura ambiente, e consequente, melhoria da qualidade de vida nas cidades e na saúde humana. No entanto, segundo Ghosh, Sudarsan e Nithiyantanham (2024) para o pleno aproveitamento desse dispositivo, são necessários avanços no entendimento técnico de seu funcionamento e impacto, para um planejamento inteligente e voltado à promoção de cidades resilientes. Tal abordagem deve ser multiescalar, multissetorial e participativa, garantindo proteção ambiental, segurança hídrica e qualidade de vida.

A técnica ainda carece de consenso científico consolidado, apesar de estar em uso há mais de 30 anos. O avanço das pesquisas é fundamental para popularizar e adaptar os jardins de chuva à realidade de países tropicais como o Brasil. Os custos de implantação podem variar entre US\$50/m<sup>2</sup> e US\$200/m<sup>2</sup>, dependendo do país. Infraestrutura de jardim de chuva tem bom custo-benefício, principalmente em pequenas áreas urbanas (Gondim, Ohnuma Jr. e Obraczka, 2023).

Uma série de estudos vem avaliando o uso de espécies vegetais que favorecem a remoção de poluentes, que são resistentes aos períodos secos e chuvosos e, além disso, que trazem uma harmonia paisagística ao ambiente. Segundo Greksa et al. (2024) a escolha das espécies deve ser realizada de forma criteriosa avaliando a sua capacidade de adaptação. Luz et al. (2024) relatam que aumentar a diversidade vegetal urbana promove cidades mais resilientes, sustentáveis e saudáveis, mas que ainda há uma falta de conhecimento sobre as espécies tropicais mais adequadas ao contexto urbano.

Outra linha de estudo vem se dedicando à modificação da estrutura do jardim de chuva, com variação na espessura das camadas, inserção de subprodutos no substrato e no meio filtrante ou camada de armazenamento, visando melhorar a eficiência desse sistema, e promover práticas alinhadas à economia circular.

Tirpak et al. (2021), em uma revisão sistemática realizada entre 2011 e 2021, identificaram a aplicação de materiais orgânicos e inorgânicos utilizados em Jardins de chuva. Entre os orgânicos, destacam-se o biochar, turfas (*peat moss*), jornais picados, madeira e carvão ativado. Biswal et al. (2022), ressaltam que o biochar, tipo de carvão vegetal obtido a partir da pirólise de matéria orgânica, tem se mostrado altamente promissor na remoção de contaminantes. Como inorgânicos foram observados os óxidos de ferro, cinzas volantes, zeóliticas e resíduos de estações de tratamento de água e esgoto. A incorporação desses subprodutos pode melhorar significativamente a remoção de poluentes, principalmente os dissolvidos. Contudo, sua adoção prática e em larga escala depende da geração de evidências técnicas robustas e da atualização de legislação que regulamente o seu uso.

## 2 Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, utilizando a metodologia proposta por Okoli (2019), realizada com o objetivo de identificar e analisar estudos sobre o uso de espécies vegetais e subprodutos como substrato e meios filtrantes em jardins de chuva. A metodologia envolveu a busca de documentos, triagem e seleção e por fim a extração de dados.

As buscas foram realizadas na plataforma de periódicos da CAPES, utilizando artigos revisados por pares e de acesso livre e no catálogo de teses e dissertações da CAPES, identificando documentos

produzidos no período de 2020 a 2025. Foram utilizados os operadores bolianos AND, OR e NOT, com as palavras chaves em inglês e português: “biorretention system”, “rain garden”, “substrate”, “vegetation”, “plant selection”, “tropical climate”, “Climate change”, “urban resilience”, “urban heat island”, “modified media”, “pollutant removal” e “Brazil”.

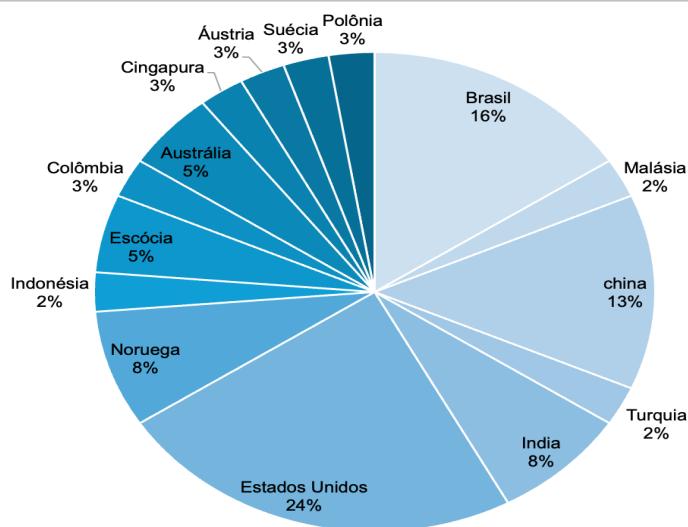
A seleção dos trabalhos foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, foi feita a triagem inicial por meio da leitura dos títulos e resumos, com o objetivo de eliminar duplicatas, revisões de literatura, e documentos que, pelo título e resumo, não apresentavam relação direta com o tema central da pesquisa. Na segunda etapa, procedeu-se à leitura completa dos documentos previamente selecionados, aplicando-se novos critérios de exclusão: estudos que abordavam exclusivamente outros sistemas de biorretenção sem menção ou análise específica sobre jardins de chuva, bem como os documentos cujo texto completo não estava disponível para acesso. Dos documentos selecionados para análise foram extraídos, as espécies vegetais utilizadas e os subprodutos empregados na estrutura dos sistemas de biorretenção. Os resultados formam processados e apresentados na forma de quadros e gráficos com discussão dos resultados.

### 3 Resultados

A partir das buscas realizadas nas plataformas indicadas com os descritores estabelecidos, foram encontrados artigos, dissertações e teses, que após aplicado os critérios de exclusão previstos, obteve-se, para o período de interesse (2020 a 2025), a seleção de 38 documentos para análise.

Ao verificar o local de realização de cada documento selecionado (Figura 1) observa-se o desenvolvimento deste tema em 15 países. Há uma predominância na produção da pesquisa nos Estados Unidos, entretanto o Brasil tem se interessado pelo tema desenvolvendo artigos, teses e dissertações, inclusive buscando estruturação de políticas públicas que fomentem o uso dessa tecnologia. A China vem em terceiro lugar na produção de pesquisa sobre o tema.

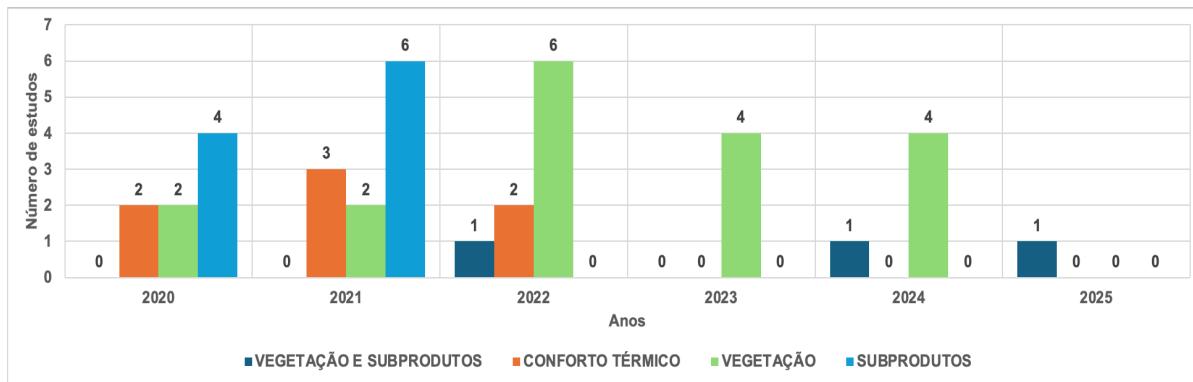
Figura 1 – Distribuição das produções em função do local de estudo.



Fonte: Autores (2025).

Ao analisar os estudos, considerando o tema abordado ao longo do tempo (Figura 2), pode-se constatar que os estudos de subprodutos utilizados nos sistemas de biorretenção tiveram maior ênfase nos anos de 2020 e 2021, enquanto a pesquisa sobre a vegetação esteve presente em todo o período, inclusive abordando o conforto térmico proporcionado, nos anos de 2020 a 2022.

Figura 2 – Distribuição dos documentos ao longo do tempo em função do tema abordado.



Fonte: Autores (2025).

Os trabalhos sobre conforto urbano estão apresentados no Quadro 1 e as principais limitações observadas quanto a execução adequada e manutenção das estruturas, bem como a fragmentação das soluções implantadas carecendo de sistematização, integração interdisciplinar e monitoramento contínuo.

Quadro 1 – Abordagem e resultados dos estudos sobre conforto urbano

Autor (Ano)	Abordagem	Resultados
2022, Hughes & Foulkes	SbN para resolver problemas no Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) no Royal Botanic Garden Edinburgh (RBGE).	O projeto no RBGE demonstra a viabilidade de soluções de drenagem urbana sustentável em paisagens patrimoniais sem comprometer seu valor histórico e estético.
2022, Veloza et al	Propor SbN para mitigar os impactos ambientais e melhorar a segurança hídrica em assentamentos informais	SbN são soluções sustentáveis, eficazes e de baixo impacto.
2021, Fallast et al.	Desenvolve abordagem sistemática e multifuncional para ruas urbanas com jardins de chuva, visando mitigar vulnerabilidades climáticas.	Jardins de rua responsivos ao clima são uma alternativa flexível, de baixo custo e multifuncional para adaptação urbana às mudanças climáticas.
2021, Martin et al.	Avaliar os impactos térmicos de medidas de controle de águas pluviais incluindo o Jardim de chuva sobre a temperatura da água do corpo hídrico.	A urbanização e mudanças climáticas aquecem as águas, afetando os ecossistemas. O estudo identifica que soluções como biorretenção e pavimentos permeáveis reduziram 1,3 °C.
2021, Neupane et al.	Avaliou o uso de SbN sobre a inundaçao urbana e promoção da saúde, utilizando diferentes percentuais de ocupação 25%, 50% e 75%.	A biorretenção reduziu o escoamento em 30–70% e a vazão de pico em 20–65%, conforme a ocupação. Jardins de chuva valorizaram a paisagem e os espaços públicos.
2020, Trojanowska	Avaliou o jardim de chuva na gestão sustentável das águas pluviais e na promoção da saúde e bem-estar nos espaços públicos.	Jardins de chuva revitalizaram áreas negligenciadas, incentivaram o convívio social e reduziram em 12% a área impermeável em um dos locais estudados.
2020, Fenteseifer	Avaliou o impacto da biorretenção em vias e o desempenho termoenergético de fachada vegetal em habitação social.	A biorretenção em vias reduziu o escoamento superficial e melhorou a qualidade da água, com queda de coliformes, ânions e sólidos

Fonte: Autores (2025).

Hughes & Foulkes (2022) chama a atenção para o aumento da biodiversidade e do engajamento do público com práticas ecológicas. Veloza et al. (2022) aplicou as técnicas de telhado azul-verde e jardim de chuva em uma residência utilizando a autoconstrução com material reciclado e informa que a técnica pode ser expandida para a comunidade no entorno com bons resultados, sendo que sua adoção requer planejamento interdisciplinar, envolvimento comunitário, incentivos financeiros e políticas públicas integradas. Fallast et al. (2021), Martin et al (2021) abordam o uso de SbN para redução de ilhas de calor nos grandes centros urbanos, controle e gestão eficiente de água quanto ao seu escoamento, qualidade incluindo a temperatura do corpo hídrico com melhoria da biodiversidade em resposta às mudanças climáticas. Neupane et al (2021) e Trojanowska (2020) já dão um foco no SbN promovendo espaços acessíveis e de convivência social, podendo ter elementos terapêuticos promoção da saúde das pessoas. O estudo de Fenteseifer (2020) avaliou a implantação de paredes revestidas com vegetação e observaram que no verão, ao longo do dia, a amplitude térmica da parede protegida variou em 8,4°C, enquanto a amplitude da parede exposta passa dos 17°C. No inverno, essa amplitude passou para 13°C na parede protegida e para 15°C na parede exposta, indicando a melhoria do conforto térmico da edificação.

Alguns estudos avaliaram o uso das duas técnicas associadas potencializando a eficiência do jardim de chuva como foi o caso de Sousa et al. (2025), Woon et al. (2024) e Pivetta, 2022.

O estudo de Sousa et al (2025) avaliou o uso de espécies vegetais como Sansevieria trifasciata ‘Hahnii’ (Hahnii Dourado), Chlorophytum comosum (Planta-Aranha) sul africanas e Ruellia simplex (Petúnia Mexicana) da América do sul em sistemas de biorretenção, com e sem adição de fibra de coco ao substrato. Esse estudo concluiu que a fibra de coco é um substrato viável e sustentável, com potencial quando combinada a compostos orgânicos. Embora não tenham ocorrido diferenças estatísticas, a fibra contribui para melhorar a estrutura do solo e a sustentabilidade do sistema.

Woon et al. (2024) investigar o desempenho hidrológico e de remoção de poluentes de sistemas de biorretenção sob clima tropical, avaliando os efeitos da ausência da vegetação, uso de monoespecífica (grama) e multiespécies (Plantas tropicais diversificadas). Ressalta a importância da diversidade de plantas em sistemas de biorretenção, aumentando a redução da vazão e a remoção de poluentes. Raízes fibrosas ajudaram a reduzir o escoamento superficial e a reter água nas camadas superiores do solo, enquanto raízes axiais em hibisco-vermelho melhoraram a capacidade de drenagem, criando canais profundos.

Pivetta (2022) faz uma síntese da vegetação utilizadas no sul do Brasil e em seu experimento foi utilizado a Chlorophytum comosum, pela sua tolerância ao clima de Santa Maria- RS. Essa vegetação apresenta baixa necessidade de manutenção, é tolerante a exposição solar, a curtos períodos de estiagem e clima frio. O uso do substrato com bagaço de cana de açúcar contribuiu para a redução do nitrato, fosfato, SST, cor aparente, assim como para a redução da turbidez com média de 56% menor do que a convencional.

Estudos realizados por Kumar & Singh (2021) e Ristianti et al. (2022) apontam que a escolha da vegetação deve ser contextualizada ao clima, tipo de solo, regime de chuvas e função esperada (infiltração, retenção, paisagismo). Estudos como os de Doğmuşöz (2024), Zhao et al. (2024), Ismail et al. (2023), Pivetta (2022) Laukli et al. (2022) e Hamedani et al (2021) ressaltam a importância de utilizar espécies vegetais nativas ou adaptadas ao clima local, o que potencializa a eficiência hidráulica dos jardins de chuva, favorecendo a retenção de água, a redução do escoamento superficial, a remoção de sólidos suspensos, a melhoria da qualidade da água e o aumento da biodiversidade urbana.

Laukli et al (2022) observou em seu experimento na Noruega que as espécies Amsonia orientalis não sobreviveram ao inverno após serem expostas a inundações na estação de crescimento

e foi substituída por Hosta 'Francee'. Luzula sylvatica e Eurybia divaricata tiveram bom desempenho no estudo em recipiente e sobreviveram ao inverno; no entanto, no estudo de campo, localizados próximos à estrada morreram devido ao sal de degelo. Hemerocallis cvv. teve bom desempenho em ambos os experimentos e pareceu ser útil em todas as posições de jardins de chuva no ambiente rodoviário de clima frio. H. 'Francee' desenvolveu-se bem no ambiente rodoviário, exceto quando exposta a respingos de água da estrada.

A seleção de plantas para infraestrutura verde não deve ser baseada apenas em estética ou disponibilidade, mas em funções ecossistêmicas, desempenho hidrológico e resiliência ao estresse ambiental, podendo ser utilizados modelos como proposto por Zhao et al. (2024), Doğmuşöz, B.B. (2024), Pacheco e Finotti (2022), Shreewatsav e Sheriff (2022), Ristianti et al. (2022), Zinger et al. (2021), Kumar e Singh (2021), Kelly et al (2020)

A análise dos estudos revela que os subprodutos vêm sendo amplamente investigados como alternativas aos meios filtrantes convencionais em sistemas de biorretenção. Esses materiais, provenientes de diferentes setores como da agrícola, industrial e da construção civil, demonstram não apenas viabilidade técnica, mas também contribuições significativas para a eficiência na remoção de poluentes e para a sustentabilidade dos sistemas, contribuindo para a economia circular. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais estudos revisados, destacando os materiais utilizados como meio filtrante e sua função nos sistemas de biorretenção.

Os subprodutos agrícolas, como biochar, bagaço de cana, cascas de nozes, avelãs, amendoim coco, casca de arroz e lascas de madeira, têm mostrado desempenho promissor na remoção de nitrogênio, cobre, zinco e *Escherichia coli*, mesmo sob diferentes regimes hidráulicos (Pivetta, 2022; Alam et al., 2021; Zhang et al 2021; Morgan et al., 2020; Rahman et al., 2020, Sousa et al., 2025.; Woon et al, 2024; Lim et al, 2021 e Zinger et al, 2021). O biochar, em especial, é um dos materiais mais estudados devido à sua alta capacidade de troca catiônica e área superficial específica, que favorecem processos de adsorção e transformações biogeoquímicas, como foi usado nos estudos de Jing et al, 2021; Barron et al. 2020; Rahman et al. 2020 e Soberg et al. 2020.

Morgan et al. (2020) observaram remoções de até 87% de zinco e 53% de cobre com o uso de cascas de noz-pecã em colunas de biorretenção, e em colunas com cascas de avelã e bagaço remoção de 47% e 19% para cobre e 83% e 65% para zinco, demonstrando que resíduos comumente descartados podem ser aproveitados de forma eficaz na melhoria da qualidade da água. Ressalta ainda que a presença de zinco em alguns grãos promoveu o aumento da concentração de zinco no infiltrado. Entretanto Pivetta (2022) no seu trabalho destacou que o uso de bagaço de cana removeu menos nitrato que o meio convencional.

Resíduos industriais, como o vidro triturado e reciclado inseridos nos estudos de Alam et al., (2021) e Hamedani et al., (2021) demonstraram uma elevada eficiência na remoção de poluentes como NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SST, Fósforo, Ortofósfato e Nitrato. Morgan et al (2020) também utilizou resíduos industriais misturados com subprodutos agrícolas, como grãos oriundo do processo de fabricação de cerveja que tiveram um bom resultado na remoção de metais pesados (Cobre e Zinco).

Os resíduos da construção civil, aos poucos estão sendo inseridos como subprodutos no jardim de chuva como o concreto reciclado, tijolos britados, asfalto recuperado e vidro moído, têm propriedades com os critérios técnicos exigidos para os meios filtrantes, demonstrando bom desempenho na retenção de sólidos suspensos, fósforo e nitrogênio (Alam et al., 2021. Rahman et al., 2021). A incorporação desses resíduos contribui não apenas para o desempenho hidráulico e ambiental do sistema, mas também para a redução da demanda por recursos naturais não explorados.

Alam et al (2021) reporta que a areia calcária proporciona uma remoção média de fósforo dissolvido e total de 44,5% e 32,6% respectivamente. Obteve-se o melhor tratamento do cobre dissolvido e total com taxa de remoção média de 71% e 93% respectivamente. No estudo ainda sugere que com a adição de plantas a remoção de poluentes potencializa. No estudo de Barron et al (2020) observou -se que independentemente da fonte de água a remoção do Carbono Orgânico Total (COT), em todas as colunas removeram efetivamente os SST, com reduções medianas de 94%, sendo as taxas de remoção de COT foram maiores sob afluências de águas cinzas (88–91%) do que sob afluências de águas pluviais (20–39%).

Quadro 2. Subprodutos inseridos no jardim de chuva.

Autor (Ano)	Subproduto Utilizados	Parte (Substrato/ Meio Filtrante)	Poluentes Removidos / Benefícios
2025, Sousa et al.	Fibra de coco e bagaço de cana-de-açúcar	Substrato	Fósforo (P), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )
2024, Woon et al.	Casca de coco, areia, composto orgânico	Substrato	SST, Nitrogênio (N), P, DBO, DQO, Amônia ( $\text{NH}_3$ )
2022, Pivotto	Bagaço de cana-de-açúcar	Substrato	Fosfato (remoção >94%)
2021, Alam et al.	Concreto reciclado, casca de arroz e vidro triturado	Meio Filtrante	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_3$ , P
2021, Hamedani et al.	Areia, solo, calcário ou vidro reciclado	Meio Filtrante	Sólidos Suspensos Totais (SST), Ortofosfato, N
2021, Zang et al	Cavacos de madeira	Meio Filtrante	Taxa de carbono orgânico (TCO), DQO, N
2021, Jing et al.	Biochar e zeólita	Meio Filtrante	$\text{NH}_3$ , N, P
2021, Lim et al.	Fibra de coco	Substrato	P, N, Sódio
2021, Zinger et al.	Substrato natural: lascas de madeira de eucalipto e palha de ervilha.	Substrato	SST, N, $\text{NH}_3$ , $\text{NO}_3^-$ , Nitrogênio Orgânico Dissolvido e P
2020, Barron et al.	Biochar, areia, brita reciclada, geotêxtil	Meio Filtrante	SST, N, P, metais pesados
2020, Morgan et al.	Cascas de avelã, cascas de noz-peçã e grãos residuais do processo de fabricação de cerveja	Meio Filtrante e Substrato	Cobre (Cu), Zinco (Zn)
2020, Rahman et al.	Biochar, cascalho, areia de concreto, areia de alvenaria e areia local	Meio Filtrante	N, $\text{NH}_3$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , <i>E.coli</i> .
2020, Soberg et al.	Biochar e areia	Substrato	SST, P, P dissolvido, Sódio.

Fonte: Autores (2025).

Entre os materiais minerais, Hamedani et al. (2021) demonstraram que misturas de solos com calcário ou vidro reciclado aumentaram a remoção de fósforo e cobre, especialmente quando associadas à vegetação. Em seus experimentos, a remoção de fósforo dissolvido atingiu 72%, e a de cobre total ultrapassou 90%, superando a eficiência de solos convencionais que, por vezes, apresentavam lixiviação de nutrientes. Nos experimentos a remoção de SST foi de 100%.

O uso de materiais modificados, como substratos enriquecidos com aditivos químicos tem sido investigado com o objetivo de potencializar a remoção de poluentes emergentes. Soberg et al, (2021) utilizou sal e variação na temperatura para avaliar a eficiência do sistema, tendo observado que a adição de sal e elevadas temperaturas pioram a eficiência na remoção de fósforo. O sistema apresentou 98% na remoção de SST.

Entretanto, a falta de padronização nos métodos de avaliação e a escassez de testes em escala real ainda limitam a comparação direta entre estudos e a aplicação prática em larga escala. Grande parte das pesquisas é conduzida em laboratório, com colunas ou tanques de pequena escala, o que nem sempre reflete o comportamento em campo. Além disso, poucos estudos abordam a durabilidade dos materiais e seus efeitos ambientais de longo prazo.

#### 4 Conclusão

A escolha da vegetação para a composição do jardim de chuva é fundamental para garantia da melhor eficiência de remoção dos poluentes, bem como melhoria do ambiente, da diversidade e qualidade do ar. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos em escala de bancada sendo fundamental o seu desenvolvimento em escala real para avaliar os seus reais benefícios.

A utilização de subprodutos como meios filtrantes em jardins de chuva configura-se como uma estratégia eficiente e sustentável para o manejo das águas pluviais urbanas. Além de contribuir para a redução da carga poluidora, essa abordagem promove o reaproveitamento de materiais residuais, reduz os custos de implantação dos sistemas e estimula práticas alinhadas à economia circular.

Do ponto de vista técnico e ambiental, os benefícios são evidentes, mas a aplicação desses materiais exige precauções. É fundamental que os subprodutos passem por uma caracterização físico-química rigorosa, para evitar riscos ambientais e garantir a eficácia da remoção de poluentes.

Outro aspecto crucial é a seleção da granulometria, a espessura das camadas filtrantes e a permeabilidade do meio que influenciam diretamente na eficiência hidráulica e na capacidade de tratamento do sistema. A pesquisa contínua permitirá não apenas validar a eficiência desses subprodutos em longo prazo, mas também ampliar o leque de materiais passíveis de aproveitamento, fortalecendo o papel dos jardins de chuva como ferramentas-chave para a sustentabilidade nas cidades.

#### 5 Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo suporte institucional.

#### Referências

ALAM, T; et al (2021). *Nutrients and solids removal in bioretention columns using recycled materials under intermittent and frequent flow operations*. J.Env. Management. 297. 113321.

- BARRON et al (2020). *Seasonal operation of dual-mode biofilters: The influence of plant species on stormwater and greywater treatment.* Science of the Total Environment. 715, 136680
- BISWAL, B. K. et al. (2022). *Biochar-based bioretention systems for removal of chemical and microbial pollutants from stormwater – A critical review.* J. Hazardous Materials 422, 126886
- DOĞMUŞÖZ, B.B. (2024), *Plant selection for rain gardens in temperate climates: The case of Izmir, Turkey.* Journal of design for resilience In architecture & planning, v. 5, Issue 1, p.18-34.
- FALLAST et al (2021). *Systematically retrofitting city streets: Meeting the demands of climate change through multifunctional climate-responsive street gardens.* Urbani izziv, volume 32, no. 1.
- FENSTERSEIFER, P. (2020). *Infraestruturas verdes na amenização de impactos da urbanização: controle pluvial com biorretenção e efeito térmico de fachada verde em residência.* Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).
- GHOSH, P.; SUDARSAN J.; NITHIYANANTHAM S. (2024) *Nature-Based Disaster Risk Reduction of Floods in Urban.* Water Resources Management. v.38:1847–1866
- GODIM, F.; OHNUMA JUNIOR, A.A.; OBRACZKA, M. (2023). *Jardins de chuva: atualizações sobre a técnica a partir de uma revisão sistemática.* Mix Sustentável, v.9, n5.
- GREKSA, A.; LJUBOJEVIĆ, M.; BLAGOJEVIĆ, B. (2024) *The Value of Vegetation in Nature-Based Solutions: Roles, Challenges, and Utilization in Managing Different Environmental and Climate-Related Problems.* Sustainability. v16, 3273.
- HAMEDANI, A.S. et al (2021). *Improving the treatment performance of low impact development practices—Comparison of sand and bioretention soil mixtures using column experiments.* Water 2021, 13, 1210.
- HUGHES, K.; FOULKES, J. (2022) *Reducing Environmental Impacts atthe Royal Botanic Garden Edinburgh.* Sustainability, v.14, 8793.
- ISMAIL, S.N.H.; STOVIN, V.; CAMERON, R.W.F. (2023). *Functional urban ground-cover plants: identifying traits that promote rainwater retention and dissipation.* Urban Ecosystems 26:1709–1724
- JING et al (2021). *Design and performance of urban sponges in red soil: improvement of physical and chemical properties.* Journal of Water and Climate Change | 12.2
- KELLY et al (2020). *Hydrological and planting design of an experimental raingarden at the Royal Botanic Garden Edinburgh.* Sibbaldia: the Int. J. Botanic Garden Horticulture, (19), pp. 69–84.
- KUMAR S.; SINGH, K. K. (2021). *Rain garden infiltration rate modeling using gradient boosting machine and deep learning techniques.* Water Science & Technology Vol 84 No 9, 2366
- LAUKLI, K. et al. (2022) *Plant selection for roadside rain gardens in cold climates using real-scale studies of thirty-one herbaceous perennials.* Urban Forestry & Urban Greening, v. 78, p. 127759.
- LIM, F.Y. et al (2021). *Pilot and Field Studies of Modular Bioretention Tree System with Talipariti tiliaceum and Engineered Soil Filter Media in the Tropics.* Water, v.13, 1817.
- LUZ, C.L.D.S. et al (2024) *Using Morphological Characters to Support Decision-Making in Nature-Based Solutions: A Shortcut to Promote Urban Plant Biodiversity.* Urban Sci. v. 8, 233
- MARTIN et al (2021). *Thermal Effects of Stormwater Control Measures on a Receiving Headwater Stream.* J. Sustainable Water Built Environ., v. 7(1): 06020002
- MORGAN et al (2020) *Agricultural Byproducts as Amendments in Bioretention Soils for Metal and Nutrient Removal.* Faculty Publications - Biomedical, Mechanical, and Civil Engineering. 103.
- NEUPANE et al (2021) *Evaluation of land-use, climate change, and low-impact development practices on urban flooding.* Hydrological Sciences Journal, v.66:12, 1729-1742
- OKOLI, C. *Guia Para Realizar uma Revisão Sistemática de Literatura.* Trad. David Wesley Amado Duarte; (2019). Ver. técnica e introdução de João Mattar. EaD em Foco, v. 9, n. 1, 40 p.
- PACHECO, E.F., FINOTTI, A. R. (2022). *PlasME Model of plant selection for green*

*Infrastructure. Journal of Urban and Environmental Engineering, v.16, n.2, p.110-1*

PIVETTA, G.G. (2022) *Remoção de poluentes e controle qualitativo de águas pluviais através de biorretenções.* Tese de Doutorado Dissertação no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Santa Maria (USFM, RS).

RAHMAN, M.; NACHABE, M.; ERGAS, S. J. (2020) *Biochar amendment of stormwater bioretention systems for nitrogen and Escherichia coli removal: Effect of hydraulic loading rates and antecedent dry periods.* Bioresource Technology.v.310, 123428.

RISTIANTI et al (2022). *Bioretention Basin, Rain Garden, and Swales Track Concepts through Vegetated-WSUD: Sustainable Rural Stormwater Management in Klaten Regency.* In: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1082 (2022) 012029.

SHREEWATSAV,M; SHERIFF, V.A. (2022). *Augmentation of the urban green infrastructure using stormwater surface runoff as a resource in the nice expressway, Karnataka, India.* Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. V. 30 Issue 1: 165–178

SOBERG, et al (2020). *Phosphorus and TSS Removal by Stormwater Bioretention: Effects of Temperature, Salt, and a Submerged Zone and Their Interactions.* Water Air Soil Pollut, v. 231: 270

SOUSA, et al (2025) *Bench-scale bioretention systems: Potential of substrates with and without coconut fiber for plant growth development.* Journal of Environmental Management 377, 124512

TIRPAK, R. A. et al (2021) *Conventional and amended bioretention soil media for targeted pollutant treatment: A critical review to guide the state of the practice.* Water Research 189116648

TROJANOWSKA, M (2020). *Health-Promoting Places: Rain Gardens and Sustainable Water Management.* In: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 960 (2020) 022025

VELOZA et al ( 2022) *Water security: the “new normality” of informal settlements. Nature-Based Solutions as sustainable mitigation and adaptation strategies.* Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino VITRUVIO 7 | 1. Int. J. of Architecture Technology and Sustainability

WANG, M. et al. (2024) *The Application of Rain Gardens in Urban Environments: A Bibliometric Review.* Land, v. 13, 1702.

WOON et al (2024). *A Pilot-Scale Bioretention System for Urban Stormwater Treatment Under Tropical Conditions: Influence of Vegetation and Sizing Area.* Water Cons. Sc. and Eng.,V. 9:76

ZHAO, Z. et al (2024). *Study on Plant Selection for LowCarbon Rain Gardens Based on an AHP-TOPSIS Model.* Sustainability, v.16, 2097.

ZINGER et al. (2021). *The effect of intermittent drying and wetting stormwater cycles on the nutrient removal performances of two vegetated biofiltration designs.* Chemosphere. 267. 129294

ZHANG et al (2021). *Influence of rainfall on the performance of bioretention systems modified with activated carbon and biochar.* New Journal and we have not received input yet 38 (2021) 63–71