SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA COMO ALTERNATIVA PARA A CIDADE E PARA A DRENAGEM URBANA NO CAPITALOCENO
Uma Revisão Sistemática da Literatura

NATURE-BASED SOLUTIONS AS AN ALTERNATIVE FOR CITIES AND URBAN DRAINAGE IN THE CAPITALOCENE
A Systematic Literature Review

Rithiele Gonçalves Araujo[1], Luana Helena Loureiro Alves dos Santos[2], Thais Lemos da Silveira[3], Agnes Ramos Rodrigues[4], Natália dos Santos Petry[5], Juliana Tasca Tissot[6] e Nirce Saffer Medvedovski[7]

Resumo
Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre drenagem urbana sustentável, com foco em Soluções Baseadas na Natureza (SBN) aplicadas à gestão de águas pluviais. A partir do uso da ferramenta StArt (Zamboni et al., 2010) foi desenvolvido um protocolo para seleção e análise de artigos, foram elencadas as strings, bem como os critérios de inclusão e exclusão. Os resultados evidenciam que essas soluções contribuem para o controle do escoamento superficial, a melhoria da qualidade da água, a recarga de aquíferos e a mitigação de eventos extremos, além de dialogarem com temáticas presentes nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Apesar dos avanços, lacunas metodológicas e falta de monitoramentos de longo prazo ainda limitam a replicabilidade e a integração dessas soluções no planejamento urbano. O estudo reforça a importância de políticas e estratégias que incorporem SBN para promover cidades mais resilientes e sustentáveis, especialmente diante dos desafios urbanos do Capitaloceno.
Palavras-chave: drenagem urbana sustentável; soluções baseadas na natureza; gestão de águas pluviais; ODS.

Abstract
This article presents a systematic literature review on sustainable urban drainage, focusing on Nature-Based Solutions (NBS) applied to stormwater management. Using the StArt tool (Zamboni et al., 2010), a protocol was developed for article selection and analysis, including the definition of search strings and inclusion and exclusion criteria. The results show that these solutions contribute to runoff control, water quality improvement, groundwater recharge, and the mitigation of extreme events, while also addressing themes associated with the Sustainable Development Goals (SDGs). Despite these advances, methodological gaps and the lack of long-term monitoring still limit the replicability and integration of these solutions into urban planning. The study highlights the importance of policies and strategies that incorporate Nature-Based Solutions to promote more resilient and sustainable cities, especially in the face of the urban challenges of the Capitalocene.
Keywords: sustainable urban drainage; nature-based solutions; stormwater management; SDGs.

1 Mestranda em Arquitetura e Urbanismo pelo PROGRAU (UFPEL). Arquiteta e Urbanista (UFPEL/2024).
2 Mestranda em Arquitetura e Urbanismo pelo PROGRAU (UFPEL). Arquiteta e Urbanista (UFPEL/2023).
3 Mestranda em Arquitetura e Urbanismo pelo PROGRAU (UFPEL). Arquiteta e Urbanista (UCPEL/2018).
4 Graduanda em Arquitetura e Urbanismo (UFPEL).
5 Doutora em Engenharia (UFRGS/2021). Mestra em Engenharia Civil (UFRGS/2015) e Arquiteta e Urbanista (ULBRA/2008).
6 Doutorado em Arquitetura e Urbanismo (UFSC/2022). Mestra em Arquitetura Urbanismo (UFSC/2016). Graduação em Arquitetura e Urbanismo (UNIPAR/2008).
7 Doutora em Estruturas Ambientais Urbanas (USP/1998). Mestra em Planejamento Urbano e Regional (UFRGS/1983). Arquiteta e Urbanista (UFRGS/1975).

Introdução

O presente artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma revisão sistemática da literatura voltada à identificação do estado da arte sobre a temática da drenagem urbana sustentável. Para garantir o rigor metodológico da pesquisa, utilizou-se a ferramenta StArt (State of the Art through Systematic Review) (Zamboni et al., 2010). As publicações selecionadas constituíram a base para uma análise crítica da produção científica da área, a fim de permitir uma melhor compreensão das estratégias de drenagem urbana sustentável atualmente discutidas e aplicadas.

A crescente ocorrência de eventos climáticos extremos, associada às transformações ambientais decorrentes das atividades humanas e dos modelos de desenvolvimento adotados, torna fundamental aprofundar as discussões sobre seus impactos nos geossistemas e ecossistemas locais (Menegat, 2025). Nesse contexto, o avanço do conhecimento teórico contribui para a formulação e implementação de soluções capazes de reduzir vulnerabilidades e minimizar a exposição da população a situações de risco.

Essa discussão pode ser compreendida à luz do conceito de Capitaloceno, mobilizado por Moore (2015) para problematizar a separação entre natureza e sociedade e compreender o capitalismo como uma forma histórica de organizar a natureza. Nessa perspectiva, a crise socioambiental contemporânea não resulta apenas da ação humana em sentido genérico, mas de processos históricos de produção, apropriação e transformação da natureza orientados pela acumulação. Haraway (2015), ao discutir os limites do Antropoceno e a necessidade de outros nomes para interpretar a crise atual, reforça que as transformações planetárias devem ser compreendidas a partir de sua escala, velocidade, sincronicidade e complexidade. A impermeabilização do solo, a canalização dos cursos d'água e a artificialização da drenagem podem ser interpretadas como expressões territoriais dessa lógica, tornando necessária a busca por estratégias que recomponham relações entre cidade, água e processos ecológicos.

Frente aos desafios impostos pelas transformações ambientais contemporâneas, evidencia-se a necessidade de implementar soluções que conciliem o desenvolvimento urbano com a sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, a investigação de estratégias de drenagem urbana sustentáveis, capazes de complementar ou substituir os modelos convencionais, torna-se indispensável para fundamentar sua adoção de forma mais ampla e eficiente. Este artigo, portanto, contribui para o avanço do debate sobre o tema ao realizar uma revisão sistemática da literatura e apresentar uma análise crítica do estado da arte da drenagem urbana sustentável.

Aproximação Teórica

O sistema de drenagem urbana deve ser responsável por gerenciar o transporte, a retenção, tratamento e disposição final das águas da chuva. A falta de estudos

relacionados à implantação de sistemas pluviais adequados para cada região reflete diretamente a baixa qualidade nos serviços de drenagem oferecidos para uma população (Merenciano, 2021).

A drenagem urbana está intimamente ligada aos aspectos socioeconômicos e ambientais de uma região, além de interagir com vários componentes da infraestrutura, sendo, portanto, um assunto que requer atenção especial no contexto do planejamento urbano (De Barros, 2004 Apud Canholi, 2014). Tratar do sistema de drenagem urbana tradicional é referir-se àquele que busca delinear o caminho mais rápido para que a água da chuva saia das regiões urbanas e chegue aos cursos d'água. Por volta dos anos de 1960, essa visão de projeto começou a ser questionada em alguns países (Pompeo,2000), iniciando a pesquisa por novas estratégias para a gestão das águas. Estas novas soluções começaram a levar em consideração a visão mais ampla do escoamento de água, elevando o nível de complexidade do sistema.

Para que estratégias de drenagem urbana sejam construídas de uma melhor maneira, principalmente considerando a sustentabilidade, é importante analisar a diversidade das relações entre o ambiente natural, o ambiente urbano e a sociedade como um todo (Pompeo, 2000). É nesse contexto que o conceito de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) se encaixa, pois busca opções mais adequadas, não apenas para a drenagem urbana, mas para o desenvolvimento da cidade como um todo. Este conceito abrange ainda, um conjunto diverso de abordagens que utilizam os processos e estruturas do meio natural para enfrentar desafios urbanos e ambientais. As SBN podem ser entendidas como estratégias que integram funções ecológicas aos sistemas construídos, de modo a promover benefícios simultâneos à sociedade e ao ambiente (Fraga; Sayago, 2020).

A definição oficial das SBN se resume em uma série de, "ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais e modificados que enfrentam desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, beneficiando simultaneamente as pessoas e a natureza" (Cohen-Shacham et al. 2016, p. 5, tradução nossa). Essa definição amplia a compreensão do conceito ao evidenciar que seu alcance vai além da dimensão ambiental, integrando a necessidade de enfrentar desafios sociais, como as mudanças climáticas, a segurança hídrica, a saúde humana e a redução de riscos de desastres. O documento da IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza também evidencia a relação direta dessas soluções com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), e destaca sua importância para ações de mitigação e adaptação climática, gestão de riscos, justiça socioambiental e processos de governança.

Desse modo, as SBN não devem ser compreendidas apenas como dispositivos técnicos de drenagem, mas como estratégias capazes de tensionar a lógica urbana que historicamente separou os sistemas construídos dos processos ecológicos. Ao favorecer infiltração, retenção, evapotranspiração, melhoria da qualidade da água e recomposição de funções ambientais, essas soluções dialogam com uma leitura crítica do Capitaloceno, pois indicam alternativas à urbanização baseada na impermeabilização extensiva e no rápido afastamento das águas pluviais.

O tratamento da drenagem urbana por meio de SBN torna-se ainda mais relevante diante das mudanças climáticas em escala global. Observa-se que eventos climáticos extremos tendem a se intensificar com o passar do tempo, como apontado nos relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2016; 2021). O cenário atual demanda um planejamento urbano resiliente, capaz de promover adaptação em situações de crise climática, especialmente em uma perspectiva de longo prazo (Miron et al., 2024), portanto, essas soluções se destacam por buscar o manejo das águas pluviais de forma mais integrada e adaptativa, algo que gera maior compatibilidade com os ciclos naturais da dinâmica urbana.

Metodologia

Esta pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura,conduzida através da ferramenta StArt – State of the Art through Systematic Review (Zamboni et al., 2010). Os dados oriundos da pesquisa foram, posteriormente, tratados por análise de conteúdo (Bardin, 1977). A ferramenta de revisão sistemática de literatura – StARt, compreende três etapas, sendo elas (1) planejamento, (2) execução e (3) sumarização.

Na etapa de (1) planejamento, foi realizado o planejamento do protocolo de pesquisa com o nome dos pesquisadores, descrição da pesquisa, objetivos, definição das palavras-chave, plataformas de busca, critérios de inclusão (I) e exclusão (E) dos artigos encontrados, bem como critérios de qualidade para extração dos dados das pesquisas. Na Tabela 1, apresenta-se o detalhamento do protocolo:

PROTOCOLO DE PESQUISA	
Palavras-chave da pesquisa	bacia de retenção; bioretention; bioswales; biovaletas; calçadas drenantes; cidade esponja; detention pold; drenagem urbana sustentável; jardim de chuva; permeable pavements; rain gardens; retention pold; sponge city; sutentability; urban drain;
Idioma	Português, espanhol e inglês
Fonte e métodos de busca	Os trabalhos serão encontrados a partir de pesquisas realizadas em portais de busca de artigos e periódicos. Durante o procedimento serão consideradas as strings encontradas preferencialmente em títulos, resumos e palavras-chave de cada base de dados.
Base de Dados	SCIELO, LILACS, SCOPUS e Science Direct
String de busca	"urban drain" AND bioretention; "urban drain" and bioswales; "drenagem urbana sustentável" AND biovaletas"; "drenagem urbana sustentável" AND "calçadas drenantes"; "drenagem urbana sustentável" AND "cidade esponja"; "urban drain" AND "detention pond"; "dreenagem urbana sustentável AND jardim de chuva"; "urban drain" AND "permeable pavements"; "urban drain" AND "rain gardens";"urban drain" AND "retention pond" "urban drain" AND "sponge city"; "urban drain" AND sustainability; "urban drain" OR "urban drainage"; bioretention AND sustainability; bioswales AND sustainability; "detention pond" AND sustainability; "permeable pavements" AND sustainability; "rain gardens" AND sustainability; "retention pond" AND sustainability; "sponge city" AND sustainability.
Critério de seleção de estudos	(I) INCLUSÃO: pelo menos uma palavra-chave no resumo; publicações feitas nos últimos 10 anos; o artigo ser em português, inglês ou espanhol; open source; (E) EXCLUSÃO: outros idiomas, artigos que não apresentem pelo menos uma das palavras-chave no resumo, artigos pagos.

Tabela 1 - Estrutura do protocolo para busca de artigos em bases de dados. Fonte: os autores, 2025.

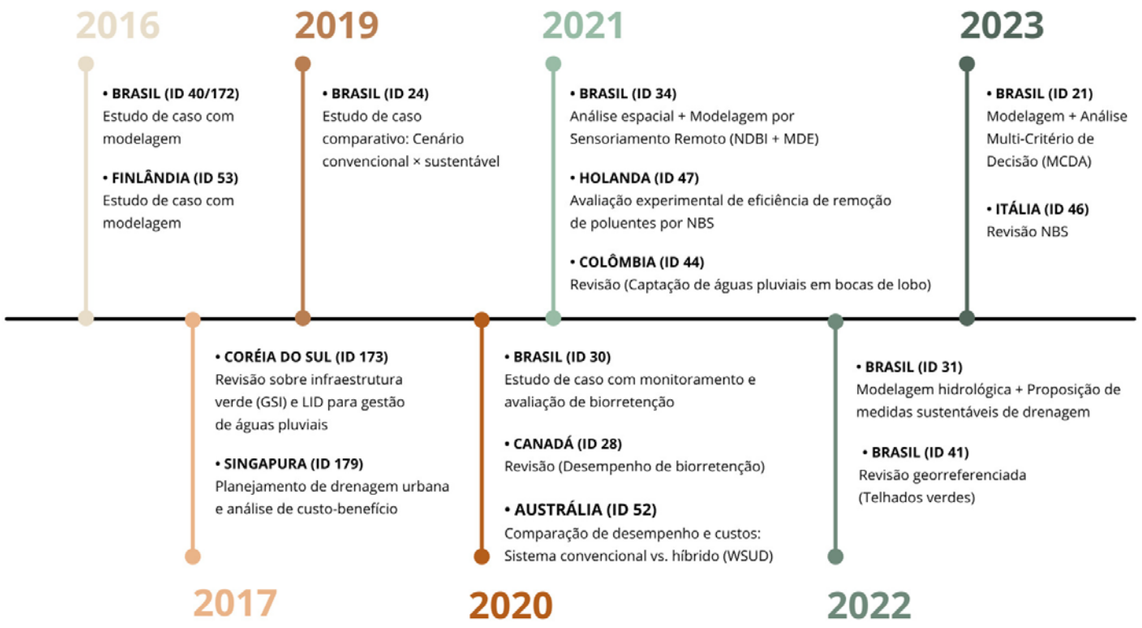


Figura 1 - Mapeamento das etapas da revisão sistemática de literatura pela ferramenta Start.Fonte: Autores, 2025.

A definição dos estudos foi realizada através de busca on-line nos meses de agosto e outubro de 2024 via plataformas Scielo, Scopus, Lilacs e Science Direct. A etapa de execução – foi dividida em três fases: identificação, seleção e extração. A partir das strings de busca estabelecidas, foram encontrados artigos nas bases de dados selecionadas e importadas para o software em formato RIS ou BIBITEX. Na fase de seleção, 53 artigos foram identificados. O sistema StARt identificou de modo automático a duplicação de 15 artigos, que foram rejeitados.

Na fase de extração, os critérios de inclusão (I) e exclusão (E) foram aplicados a partir da leitura dos resumos dos artigos, onde em seguida, iniciou-se a fase de sumarização final (etapa 3). Na sumarização, os critérios de qualidade foram aplicados, ao qual, durante a leitura dos artigos, buscava-se identificar:

Objetivo principal do artigo;
Método;
Resultados;
Foi citado no artigo alguma ODS? Qual?;
Foi citado no artigo alguma Solução Baseada na Natureza? Qual?

Na fase de extração, os critérios de inclusão (I) e exclusão (E) foram aplicados a partir da leitura dos resumos dos artigos, dos quais 15 artigos permaneceram para a sumarização final (etapa 3). A Figura 1, representa o mapeamento visual do processo de revisão sistemática de literatura, executado pela ferramenta Start.

Resultados e Discussões

A revisão sistemática de literatura, resultou na seleção de 15 (quinze) artigos, apresentados na Tabela 2 abaixo, que atenderam aos critérios definidos no protocolo de busca. Observou-se que alguns estudos se repetem em diferentes bases de dados ou apresentam versões publicadas em línguas distintas, o que indica sua relevância e ampla disseminação na literatura científica.

ANO	ID	TÍTULO	PALAVRA-CHAVE	CITA TERMO "SBN" NA PALAVRA-CHAVE	CITA TÉCNICA DE "SBN" NA PALAVRA-CHAVE
2016	40	Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro	técnicas compensatórias em drenagem urbana; drenagem urbana sustentável; controle de escoamento na fonte	Não	Não
2016	53	*Coupling GIS with Stormwater Modelling for the Location Prioritization and Hydrological Simulation of Permeable Pavements in Urban Catchments*	*Catchment hydrology (Hidrologia de bacia de contribuição); Geographic Information System; Permeable Pavement Systems; site selection; stormwater modelling; Sustainable Drainage Systems*	Não	Sim
2017	173	*Green stormwater infrastructure with low impact development concept: a review of current research*	*Green stormwater infrastructure; Grey stormwater infrastructure; Low impact development; Green roof; Bioretention; Grass swale; Permeable pavement*	Não	Sim
2017	179	*Development and valuation of adaptation pathways for storm water management infrastructure*	*Adaptation pathways, Uncertainty, Climate change, Urban drainage, Benefit cost assessment, Sustainable land use*	Não	Não
2019	24	Proposta de drenagem sustentável para uma municipalidade de pequeno porte – Estudo de caso	Infraestrutura urbana, Manejo pluvial, Recarga de manancial, Estudo de caso	Não	Não
2020	28	*A Need for Standardized Reporting: A Scoping Review of Bioretention Research 2000–2019*	*bioretention; scoping review; stormwater; low impact development; performance metrics; modelling; field study; hydrology; contaminant transport and fate*	Não	Sim
2020	30	Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar – Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo	poluição difusa; área urbana; biorretenção	Não	Sim
2020	52	*Performance Evaluation of Stormwater Management Systems and Its Impact on Development Costing*	*urban drainage; DRAINS model; source control; WSUD; costing*	Não	Não
2021	34	Sensoriamento Remoto aplicado à Avaliação do Impacto do Armazenamento da Água de Chuva no Sistema de Drenagem Urbana	drenagem urbana, telhado verde; caixa d'água	Não	Sim

Tabela 2 - Artigos selecionados. Fonte: os autores, 2025.

2021	44	*Review of the hydraulic capacity of urban grate inlet: a global and Latin American perspective*	*grate inlet, hydraulic efficiency, numerical model, physical model, review, urban drainage*	Não	Não
2021	47	*Evaluation of Pollutant Removal Efficiency by Small-Scale Nature-Based Solutions Focusing on Bio-Retention Cells, Vegetative Swale and Porous Pavement*	*stormwater runoff; nature-based solutions; hydraulic model; SWMM; pollutant removal; stormwater management*	Sim	Não
2022	31	Drenagem Urbana: Uma Análise de Vazão de Cheia para a Sub-Bacia do Rio Beberibe utilizando o modelo ABC6	águas pluviais, modelo hidrológico, entraves	Não	Não
2022	41	*Vegetated roofs rainwater management experimental research in Brazil: A georeferenced exhaustive review of a continental-size country*	*Green roofs, Runoff, Brazil, Retention, Experimental research, Climate zones*	Não	Sim
2023	21	*Assessment of sustainable drainage strategies in urban water systems using urban water metabolism and multi-criteria decision analyses*	*decision-making, metabolic system, performance, SUDS, urban drainage, WaterMet2*	Não	Sim
2023	46	*Nature-based solutions for urban stormwater management: an overview*	*NBS; climate change; urban flooding risk; green roof; green wall; rain garden; permeable pavement*	Sim	Sim

A primeira coluna apresenta o ano de publicação dos artigos, o que permite observar a distribuição temporal da produção científica e identificar momentos de maior consolidação teórica. O ID (segunda coluna), por sua vez, corresponde ao código gerado automaticamente pelo software StArt, garantindo rastreabilidade e segurança metodológica no processo de seleção. O título é apontado na terceira coluna e apresenta de forma direta o foco de cada estudo, além de orientar a leitura crítica das abordagens empregadas. Já as colunas quatro e cinco referentes à presença do termo SBN nas palavras-chave e à citação de técnicas associadas às SBN foram incluídas para avaliar o grau de apropriação conceitual do tema na literatura recente.

As informações das colunas quatro e cinco permitem identificar se os autores utilizam explicitamente o conceito de SBN ou utilizam diferentes terminologias, como LID (Low Impact Development), BMPs (Best Management Practices), WSUD (Water Sensitive Urban Design) e SuDS (Sustainable Urban Drainage Systems),arcabouços amplamente empregados na literatura internacional e reconhecidos como parte de um mesmo conceito guarda-chuva, conforme discutido no artigo de ID 46 (Palermo et al., 2023). O LID busca minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, priorizando infiltração, retenção e evapotranspiração locais; o WSUD integra princípios hidrológicos, urbanísticos e paisagísticos para tornar o ambiente construído mais sensível aos processos naturais da água; o conceito de SuDS enfatiza sistemas de drenagem capazes de simular mecanismos naturais de manejo pluvial; e as BMPs agrupam práticas estruturais e não estruturais voltadas ao controle do escoamento e da poluição difusa.

Essa diversidade vocabular aparece nos artigos de ID 21, 52 e 173, que adotam termos como LID e WSUD em suas palavras-chave, o que reflete diferentes estágios de consolidação do conceito de SBN. No caso do ID 41, observa-se uma configuração particular: o artigo não utiliza o termo SBN nas palavras-chave, embora inclua técnicas

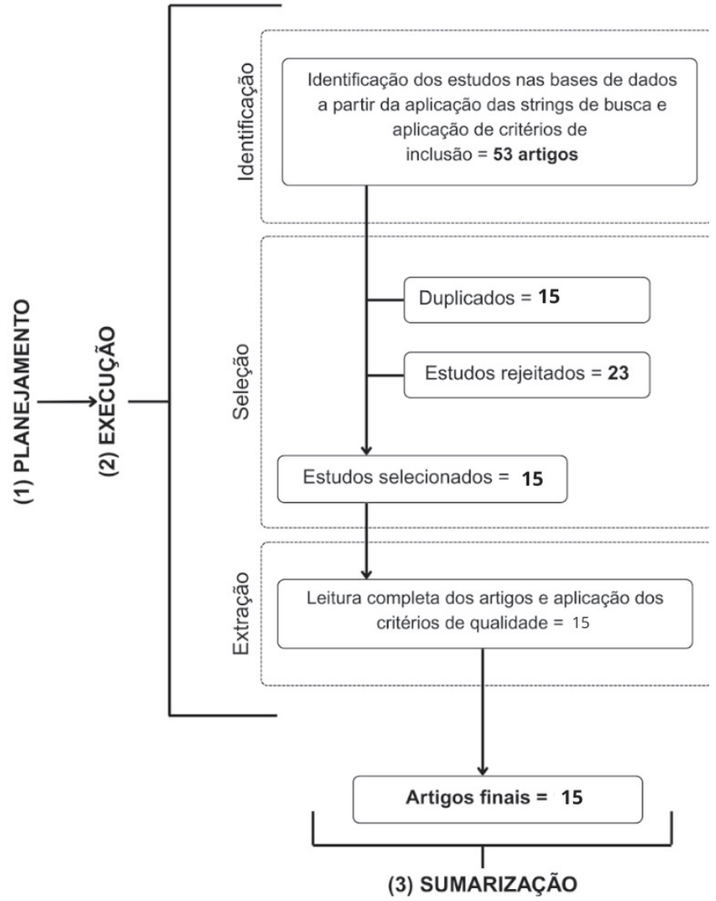


Figura 2 - País de origem dos artigos selecionados organizados por data de publicação. Fonte: Autores, 2025.

associadas às SBN nessa mesma seção e mencione os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) ao longo do texto.

Além da verificação das palavras-chave, também foi analisado se cada artigo mencionava alguma técnica de SBN ao longo do texto, independentemente de aparecer formalmente na seção de palavras-chave. Essa etapa permitiu avaliar a relação efetiva dos estudos com práticas alinhadas às SBN, como biorretenção, jardins de chuva, pavimentos permeáveis, valetas vegetadas, telhados verdes e outras estratégias de manejo sustentável das águas pluviais. Nessa análise, observou-se que apenas dois artigos não citavam nenhuma técnica associada às SBN ao longo do texto: o artigo de ID 44, que consiste em uma revisão de estudos experimentais e numéricos sobre a eficiência hidráulica de bocas de lobo e, portanto, mantém foco restrito ao desempenho desses dispositivos tradicionais; e o artigo de ID 52, que compara custos e desempenho de sistemas de drenagem convencionais e híbridos sob a ótica do WSUD, mas sem detalhar técnicas específicas de drenagem sustentável.

Entre os trabalhos analisados, predominam aqueles desenvolvidos em contextos urbanos de países desenvolvidos, embora se verifique um crescente número de pesquisas na América Latina, sobretudo no Brasil, evidenciando o avanço das discussões sobre drenagem sustentável e soluções baseadas na natureza (Figura 2).

A Figura 2 também evidencia a evolução temporal e geográfica das publicações analisadas, permitindo observar alguns padrões úteis para a compreensão do desenvolvimento das estratégias sustentáveis de drenagem urbana no conjunto estudado. Nota-se que os trabalhos mais antigos da amostra (2016–2017) concentram-se em países desenvolvidos, como Finlândia, Coreia do Sul e Singapura, caracterizando-se por abordagens voltadas à modelagem hidrológica, ao planejamento estratégico e a revisões conceituais. Esse padrão sugere que, nesses contextos, discussões relacionadas à infraestrutura verde, LID e SuDS já vinham sendo estruturadas de maneira mais consistente.

A partir de 2019, observa-se uma maior presença de estudos brasileiros, tendência que se intensifica entre 2020 e 2023, como ilustrado pela concentração de publicações ao longo da linha do tempo. Supõe-se que o tema tenha passado a receber maior atenção ao longo dos anos, ampliando a produção científica na área. Esses trabalhos compreendem diferentes métodos, como estudos de caso, monitoramentos experimentais, avaliações de biorretenção, modelagens hidrológicas e revisões georreferenciadas, indicando uma produção com forte componente aplicado e diretamente relacionada a situações urbanas específicas. Esse contraste pode sugerir diferenças de enfoque entre os contextos analisados, sendo possível perceber um caráter mais voltado à síntese teórico-metodológica em alguns países desenvolvidos e uma vocação mais aplicada nos estudos brasileiros, embora tais padrões não se configurem como regras fixas.

Também se observa que países como Itália, Holanda, Canadá e Austrália apresentam contribuições associadas a avaliações de desempenho, remoção de poluentes, comparações entre sistemas convencionais e híbridos, e revisões sobre estratégias sustentáveis em sentido amplo. Essa predominância pode estar relacionada a fatores como maior disponibilidade de infraestrutura de pesquisa, tradição em monitoramento ambiental ou consolidação de políticas voltadas à gestão hídrica. Ainda assim, tais elementos não permitem inferir níveis diferenciados de compromisso climático entre os países, mas apenas evidenciam que, na amostra analisada, esses contextos apresentam maior volume de estudos com enfoque avaliativo e comparativo. Assim, a imagem sintetiza uma tendência identificada na amostra: diferentes países parecem privilegiar enfoques distintos, ora mais analíticos, ora mais aplicados, o que pode refletir particularidades institucionais, metodológicas ou contextuais. Esses padrões, entretanto, devem ser interpretados com cautela, uma vez que a amostra não pretende representar a totalidade da produção científica sobre o tema, mas apenas indicar caminhos e aproximações observados no conjunto específico de estudos analisados.

A crescente impermeabilização dos solos urbanos compromete a infiltração das águas pluviais e resulta no aumento do escoamento superficial e das vazões de pico. Esse processo contribui para a degradação da qualidade das águas pluviais e dos corpos receptores, ao mesmo tempo em que potencializa a ocorrência de inundações e enchentes, ampliando a vulnerabilidade das áreas urbanas. Por outro lado, a água que chega até os mananciais através da infiltração e percolação, por entre o solo, possui menor risco de contaminação se comparada às águas oriundas do lançamento direto (Cauduro et al., 2019; Pereira et al., 2021).

A maior compreensão do manejo de recursos hídricos superficiais, assim como dos impactos adversos que o processo de urbanização causa nessas águas, leva à busca por soluções voltadas não apenas para o transporte das águas pluviais, mas à uma abordagem que vise imitar os padrões hidrológicos naturais, promovendo a infiltração e a evapotranspiração, para assim diminuir ou eliminar impactos ambientalmente negativos em cursos d' água urbanos (Spraakman et al., 2020).

Entende-se que a urbanização deve ser pensada para promover a preservação e a redução do impacto ambiental, manejando as águas pluviais e permitindo a recarga das águas subterrâneas. Como alternativa para essas práticas existem os sistemas sustentáveis, com diferentes estratégias de drenagem, as quais, dada sua diversidade, podem ser consideradas como as principais alternativas para mitigar problemas como transbordamentos, inundações e episódios de enchentes, além de promover a resiliência urbana (Cauduro et al., 2019; Garcia et al., 2023)

Estratégias de biorretenção são utilizadas de forma a complementar infraestruturas tradicionais de águas pluviais, com o objetivo de aumentar a capacidade de infiltração de água no solo, além de diminuir o volume e velocidade que ela chega aos corpos receptores. Cauduro et al(2019), aponta que com a substituição de superfícies impermeáveis por materiais que auxiliam a infiltração da água na área precipitada é possível reduzir significativamente o volume de água lançado no sistema de drenagem pluvial, retardando sua chegada nos corpos receptores, e assim reduzir o risco de inundações e enchentes.

As estratégias de biorretenção verificadas nos estudos de Cauduro et al (2019); Pereira et al.(2021); Santos et al. (2022) e Spraakman et al(2020), foram aplicadas com o objetivo de aumentar a capacidade de infiltração de água no solo, diminuir o volume e velocidade que ela chega aos corpos receptores, reduzir a carga poluidora oriunda do escoamento superficial, conter altos volumes de água na ocasião de fortes precipitações, amortizando a contribuição para os rios, ou permitir o armazenamento temporário do escoamento excedente, como no caso das bacias de detenção .

Observou-se ainda, nos artigos analisados uma ampla variedade de SBNs, como pavimentos permeáveis, telhados verdes, valetas vegetadas, paredes verdes, bacias de detenção e jardins de chuva. Essas soluções foram aplicadas com diferentes enfoques (controle hidrológico, melhoria da qualidade da água e mitigação das mudanças climáticas), mas todas compartilhando o princípio de restaurar funções naturais do ciclo hidrológico urbano.

Os estudos de Dutta(2021) e Jato-Espino (2016), reforçam a eficácia dessas soluções. Células de biorretenção, que consistem em depressões topográficas rasas, preenchidas com misturas de solo altamente permeáveis e vegetação específica, projetadas para reter, infiltrar e promover o tratamento físico-químico do escoamento superficial, por exemplo, mostraram-se capazes de remover até 83% de sólidos suspensos, 71% de nitrogênio e 69% de fósforo, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade das águas pluviais . Pavimentos permeáveis também demonstraram desempenho expressivo, com redução de 40% a 50% do volume de escoamento superficial, especialmente quando aplicados de forma estratégica em áreas de alta impermeabilização.

Já os telhados verdes, amplamente estudados no contexto brasileiro, apresentaram taxas médias de retenção entre 55% e 79%, dependendo da tipologia construtiva e do regime climático. Essa estratégia, além de contribuir para o controle hidrológico, favorece o conforto térmico e a eficiência energética em ambientes urbanos (Gobatti, 2022). O estudo de Palermo (2023), destacou ainda o potencial dos pavimentos permeáveis e das paredes verdes na redução do volume de escoamento e no atraso do pico de vazão, reforçando a importância de considerar as características dos materiais utilizados para garantir o desempenho hidráulico adequado.

Outro aspecto identificado é a crescente utilização de modelos hidrológicos e ferramentas de geoprocessamento, como o Storm Water Management Model (SWMM) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que auxiliam no dimensionamento e na

priorização de áreas para a implantação de SBN (Jato-Espino, 2016; Dutta, 2021). Tais recursos permitem prever o comportamento das soluções em cenários de diferentes intensidades de precipitação e níveis de urbanização, ampliando a capacidade de planejamento e adaptação das cidades.

Os estudos analisados demonstram que as pesquisas conduzidas em países de alta renda, como Estados Unidos, Austrália, China e países europeus, estão ligadas a centros de pesquisa especializados (Spraakman, 2020). Contudo, há uma expansão significativa das investigações na América Latina, especialmente no Brasil, onde cresce o número de estudos aplicados e revisões de desempenho de tecnologias sustentáveis de drenagem (Gobatti, 2022; Pereira, 2021). Em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), observou-se apenas uma menção explícita (ID 41). Embora vários estudos dialoguem indiretamente com temas associados aos ODS — como resiliência urbana, clima e água — esse alinhamento raramente é declarado de maneira formal nas palavras-chave ou no corpo do texto.

Dessa forma, a revisão sistemática de literatura realizada evidenciou que as estratégias de drenagem urbana sustentável vêm se consolidando como alternativas eficazes e multifuncionais, capazes de aliar desempenho técnico, benefícios ecológicos e qualidade urbana. Contudo, o avanço na padronização de métodos, na difusão de dados e na incorporação das SBN ao planejamento urbano é essencial para que tais soluções alcancem maior efetividade e replicabilidade. Esse diagnóstico está alinhado aos achados da revisão, que evidenciaram falta de padronização metodológica, uma vez que os artigos analisados utilizam abordagens distintas, o que dificulta a comparação direta dos resultados.

Considerações Finais

O estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre drenagem urbana sustentável, com foco em soluções baseadas na natureza aplicadas à mitigação dos impactos da impermeabilização e ao fortalecimento da resiliência urbana diante das mudanças climáticas. Esse objetivo foi alcançado, uma vez que a análise permitiu identificar as principais abordagens utilizadas, bem como tendências metodológicas e lacunas persistentes na área.

Os resultados indicam um processo de incorporação progressiva, ainda que heterogênea, das SBN no campo da drenagem urbana. A terminologia apareceu de forma limitada nas palavras-chave, coexistindo com arcabouços consolidados na literatura internacional, como LID, WSUD, SuDS e BMPs. Essa diversidade indica que os princípios das SBN já vêm sendo integrados às práticas de drenagem, embora a adoção terminológica ainda não seja uniforme. Entre as estratégias mais recorrentes destacam-se as células de biorretenção, pavimentos permeáveis, telhados e paredes verdes, jardins de chuva, valetas vegetadas e bacias de detenção, que, em conjunto, promovem controle de escoamento, recarga de aquíferos, melhoria da qualidade da água e mitigação de eventos extremos. Observou-se também que essa abordagem dialoga com temas previstos nos ODS 6, 11 e 13, ainda que apenas um artigo da amostra mencione explicitamente tais indicadores.
A análise geográfica dos estudos revelou diferenças de enfoque entre os contextos investigados. Países de alta renda apresentaram publicações majoritariamente orientadas à modelagem, avaliações de desempenho e sínteses conceituais, enquanto os estudos brasileiros concentraram-se em aplicações práticas e em avaliações em cenários reais. Embora essa configuração reflita o recorte específico dos artigos selecionados, ela evidencia a complementaridade entre agendas teóricas e aplicadas no campo da drenagem urbana sustentável.

Persistem, contudo, lacunas relevantes. Os principais problemas identificados referem-se à ausência de parâmetros para o monitoramento de longo prazo e à falta de detalhamento das variáveis climáticas, hidrológicas e construtivas dos sistemas analisados. O impacto direto dessa não padronização é a dificuldade de comparar resultados entre diferentes estudos, o que, por consequência, limita a definição de normativas técnicas e políticas públicas, uma vez que gestores e projetistas carecem de parâmetros de eficiência suficientemente consistentes e replicáveis. Diante desse cenário, entende-se que um caminho possível para enfrentar essa lacuna reside na definição e padronização de variáveis essenciais para as avaliações de desempenho. Vale destacar que esse tipo de rigor metodológico já se encontra consolidado em outras esferas técnicas da arquitetura e da engenharia, como nas simulações computacionais e nas modelagens paramétricas de desempenho, em que diretrizes normativas favorecem a replicabilidade e a comparabilidade dos modelos.

À luz do Capitaloceno, os resultados desta revisão permitem compreender que a drenagem urbana sustentável não se limita à eficiência hidráulica ou ao controle do escoamento superficial. Ela também envolve uma crítica ao modelo de urbanização que passou a tratar a água como problema a ser removido rapidamente da cidade, em vez de reconhecê-la como parte dos ciclos ecológicos que estruturam o território. Nesse sentido, as SBN assumem relevância por proporem formas de planejamento urbano mais integradas aos processos naturais, contribuindo para enfrentar riscos climáticos e socioambientais produzidos por padrões históricos de ocupação, impermeabilização e artificialização do espaço urbano.

Dessa forma, conclui-se que o fortalecimento da drenagem urbana sustentável depende da articulação entre avanço técnico-científico, padronização de métodos, integração normativa e participação social. Estudos futuros devem priorizar avaliações integradas de desempenho, análises de custo-benefício em diferentes escalas, monitoramentos contínuos e a adaptação das SBN a contextos socioambientais diversos.

Referências

AKHTER, F.; HEWA, G. A.; AHAMMED, F.; MYERS, B.; ARGUE, J. R. Performance Evaluation of Stormwater Management Systems and Its Impact on Development Costing. *Water,* v. 12, n. 2, p. 375, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w12020375. Acesso em: 12 out. 2025.

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo.* Lisboa: Edições 70, 1977.

CAUDURO, Flávia; MÜLLER, Christiane Ribeiro; ROSA, Gustavo Guimarães. Proposta de drenagem sustentável para uma municipalidade de pequeno porte – Estudo de caso. *Águas Subterrâneas,* [S. l.], v. 33, n. 2, 2019. DOI: 10.14295/ras.v33i2.29553. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29553. Acesso em: 29 nov. 2025.

COHEN-SHACHAM, E. et al. (ed.). *Nature-based solutions to address global societal challenges.* Gland: IUCN, 2016. xiii, 97 p. Disponível em: https://portals.iucn.org/library/node/46191. Acesso em: 20 nov. 2025.

DUTTA, A.; TORRES, A. S.; VOJINOVIC, Z. Evaluation of pollutant removal efficiency by small-scale nature-based solutions focusing on bio-retention cells, vegetative swale and porous pavement. *Water*, v. 13, p. 2361, 2021. Disponível em: https://doi.

org/10.3390/w13172361.

FRAGA, Raiza Gomes; SAYAGO, Doris Aleida Villamizar. Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito. *Parcerias Estratégicas,* Brasília, v. 50, n. 25, p. 67-82, jun. 2020. Semestral.

GARCIA, Maria Vitória da Silva; MORUZZI, Rodrigo Braga; BEHZADIAN, Kourosh. Assessment of sustainable drainage strategies in urban water systems using urban water metabolism and multi-criteria decision analyses. *Water Science & Technology,* v. 88, n. 11, p. 2809-2825, 2023. DOI: 10.2166/wst.2023.377.

GOBATTI, L.; LEITE, B. C. C. Vegetated roofs rainwater management experimental research in Brazil: A georeferenced exhaustive review of a continental-size country. *Cleaner Production Letters,* v. 3, p. 100013, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666791622000112. Acesso em: 12 out. 2025.

HARAWAY, Donna. Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin. E*nvironmental Humanities,* v. 6, p. 159-165, 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; POESSEL, R.; SHUKLA, P. R.; et al. (eds.). *Climate Change 2021:* The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 1–151. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/. Acesso em: 20 jul. 2025.

JATO-ESPINO, D.; SILLANPÄÄ, N.; CHARLESWORTH, S.M.; ANDRÉS-DOMÉNECH, I. Coupling GIS with Stormwater Modelling for the Location Prioritization and Hydrological Simulation of Permeable Pavements in Urban Catchments. *Water 2016*, 8, 451. https://doi.org/10.3390/w8100451

MENEGAT, Rualdo. Clima: a nova fronteira da interconexão humana com a Terra no Antropoceno. In: FERRER, João; DANÉRIS, Marcelo; MARQUES, Pedro Romero (org.). *Reflexões para a Reconstrução do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre: Libretos, 2025. p. 21-45.

MERENCIANO, G. Estudo de caso do sistema de drenagem urbana e sua relação com o meio ambiente em um bairro no município e Araraquara - sp. recima21 - *Revista Científica Multidisciplinar* - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 2, n. 2, p. e211985, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i2.985. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/985. Acesso em: 31 mar. 2025.

MIRON, Luciana Inês Gomes. Diretrizes do planejamento urbano e regional para uma transição sociotécnica resiliente na Região Hidrográfica do Guaíba. In: FERRER, João; DANÉRIS, Marcelo; MARQUES, Pedro Romero (org.). *Reflexões para a Reconstrução do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre: Libretos, 2025. p. 235-261.

MOORE, Jason W. *Capitalism in the Web of Life:* Ecology and the Accumulation of Capital. London: Verso, 2015.

PALERMO, S. A.; TURCO, M.; PIROUZ, B.; PRESTA, L.; FALCO, S.; DE STEFANO, A.; FREGA, F.; PIRO, P. Nature-based solutions for urban stormwater management: an overview. *IOP Conference Series:* Earth and Environmental Science, v. 1196, p. 012027, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1196/1/012027. Acesso em: 12 out. 2025.

PEREIRA, M. C. S.; MARTINS, J. R. S.; NOGUEIRA, F. F.; MAGALHÃES, A. A. B.; SILVA, F. P. Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar – Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo. *Engenharia Sanitária e Ambiental,* v. 26, n. 3, p. 295–306, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-415220190272. Acesso em: 12 out. 2025.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos,* v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

SPRAAKMAN, S.; RODGERS, T. F. M.; MONRI-FUNG, H.; NOWICKI, A.; DIAMOND, M. L.; PASSEPORT, E.; THUNA, M.; DRAKE, J. A Need for Standardized Reporting: A Scoping Review of Bioretention Research 2000–2019. *Water*, v. 12, n. 11, p. 3122, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w12113122. Acesso em: 12 out. 2025.

SANTOS, Cíntia Rafaela Lima dos; SILVA, Gisellia Muniz da; SANTANA, Kássia Carneiro da Silva; LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz; SILVA, Simone Rosa da. Drenagem urbana: uma análise de vazão de cheia para a sub-bacia do rio Beberibe utilizando o modelo ABC6. *Revista Brasileira de Geografia Física,* Recife, v. 15, n. 4, p. 2104-2120, 2022.

ZAMBONI, E. *Revisão sistemática da literatura: uma abordagem prática.* São Paulo: Editora Atlas, 2010.