

POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS COM O USO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

João Victor Soléra Pena ¹; Anai Floriano Vasconcelos ²; Elza Luli Miyasaka ³; Diego de Oliveira Martins ⁴; Tatiane Ferreira Olivatto ⁵; Stanley Cabral Cramolichi ⁶; Júlia Neves Andrade ⁷.

RESUMO: As mudanças climáticas intensificam eventos extremos de precipitação, gerando maior escoamento superficial e pressionando sistemas urbanos de drenagem. Em cidades com infraestrutura limitada, inundações recorrentes comprometem o bem-estar social, a qualidade ambiental e a gestão hídrica. Nesse cenário, técnicas compensatórias surgem como alternativas para reter, infiltrar e regular águas pluviais, contribuindo para a mitigação de impactos climáticos. Objetiva-se investigar o estado da arte sobre a aplicação de técnicas compensatórias em diferentes contextos urbanos e climáticos, identificando autores, abordagens metodológicas e soluções mais recorrentes, além de compreender seu potencial de adaptação frente aos cenários futuros de mudanças climáticas. Foi conduzida uma revisão sistemática na base Scopus, empregando palavras-chave relacionadas às técnicas compensatórias e às mudanças climáticas. Aplicaram-se filtros e após a triagem, foram lidos 48 artigos mais citados, selecionando-se 20 para análise aprofundada. Os estudos evidenciam que soluções baseadas na natureza reduzem vazões de pico, aumentam a infiltração e contribuem para a resiliência urbana.

Palavras-Chave: Técnicas compensatórias, Mudanças climáticas, Resiliência urbana.

ABSTRACT: Climate change intensifies extreme precipitation events, generating greater surface runoff and putting pressure on urban drainage systems. In cities with limited infrastructure, recurring floods compromise social well-being, environmental quality, and water management. In this scenario, compensatory techniques emerge as alternatives to retain, infiltrate, and regulate rainwater, contributing to the mitigation of climate impacts. This study aims to investigate the state of the art regarding the application of compensatory techniques in different urban and climatic contexts, identifying authors, methodological approaches, and the most recurrent solutions, as well as understanding their potential for adaptation to future climate change scenarios. A systematic review was conducted in the Scopus database, using keywords related to compensatory techniques and climate change. Filters were applied, and after screening, 48 of the most cited articles were read, selecting 20 for in-depth analysis. The studies show that nature-based solutions reduce peak flows, increase infiltration, and contribute to urban resilience.

Keywords: Compensatory techniques, Climate change, Urban resilience.

¹) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, joaopena@estudante.ufscar.br

²) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, anai.vasconcelos@ufscar.br

³) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, elza.miyasaka@ufscar.br

⁴) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, diegomartins@ufscar.br

⁵) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, tatianeolivatto@ufscar.br

⁶) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, stanleycramolichi@estudante.ufscar.br

⁷) Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, julianeves@estudante.ufscar.br

INTRODUÇÃO

A gestão das águas pluviais desempenha um importante papel no desenvolvimento sustentável das cidades. A partir dela, intenta-se minimizar os impactos dos eventos extremos de precipitação, melhorando a qualidade hídrica e urbana (Buose, 2024). Diante das ocorrências de chuvas intensas, a geração de inundações se torna uma realidade em áreas desprovidas de infraestrutura de drenagem que atendam capacidades elevadas, e esses eventos se acentuam devido às mudanças climáticas.

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) as mudanças climáticas são definidas como uma “alteração no estado do clima que pode ser identificada por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades e que persiste por um período prolongado, tipicamente décadas ou mais” (IPCC, 2021). Os cenários extremos de precipitação são um exemplo de que as mudanças climáticas afetam negativamente as cidades, o bem-estar da população e a qualidade ambiental, devido a geração de maior volume de escoamento superficial.

O escoamento superficial é a parcela das águas pluviais que não infiltra no solo. Ele se propaga devido a saturação do solo, que atingiu o seu limite de capacidade de infiltração antes ou durante a chuva (Collischonn e Dornelles, 2015). Ele também pode ser causado pela impermeabilização decorrente do processo de urbanização. Os sistemas de drenagem de águas pluviais atualmente não comportam o volume excessivo de escoamento superficial, surgindo a necessidade de complementar a capacidade com outras estratégias. Neste contexto pode-se aplicar as técnicas compensatórias (TC) em drenagem urbana.

As TC são métodos de controle das águas pluviais na fonte. Para Oliveira, Barbassa e Gonçalves (2016), elas melhoram o desempenho de infiltração das águas da chuva e evitam maiores vazões de pico e geração de escoamento superficial. Corroborando com isso, Baptista, Nascimento e Barraud (2005) defendem que as técnicas compensatórias reduzem a possibilidade de inundações e colaboram com a qualidade das águas da chuva.

Como as técnicas compensatórias se comportam diante de cenários futuros das mudanças climáticas? Quais são as técnicas e metodologias adotadas por outros pesquisadores ao redor do mundo sobre essa temática? Para responder a essas perguntas, objetiva-se desenvolver uma pesquisa de literatura por meio de uma revisão sistemática e analisar o que se estuda sobre técnicas compensatórias e o seu potencial em relação às mudanças climáticas segundo o ponto de vista de outros autores e obras.

METODOLOGIA

Para avaliar as produções científicas relacionadas a técnicas compensatórias e mudanças climáticas, foi utilizada a base de dados *online* internacional Scopus. A partir dela, uma revisão sistemática foi desenvolvida. A revisão sistemática, segundo Sampaio e Mancini (2007), consiste em reunir e analisar dados provenientes de pesquisas independentes sobre uma mesma intervenção ou tratamento, comparando achados que podem ser divergentes ou semelhantes, além de apontar lacunas que requerem comprovação científica, contribuindo para direcionar novos estudos.

Para a primeira etapa, foi definido o objetivo de investigar o que se estuda sobre técnicas compensatórias e seu potencial em relação às mudanças climáticas, identificando autores, locais e datas de publicação. As perguntas que nortearam essa pesquisa foram: Quem são os autores que desenvolveram essas obras? Onde e quando estas obras foram publicadas?

As palavras-chave definidas para conduzir a pesquisa foram: Técnicas Compensatórias e Mudanças Climáticas. A partir delas, foi desenvolvida a *string* de busca com os significados literais e sinônimos dessas palavras em língua inglesa. Para as Técnicas Compensatórias, foram aplicados os nomes de algumas técnicas compensatórias de drenagem urbana para auxiliar na busca mais pontual desses recursos.

Dentro da *string* de busca, os operadores booleanos AND e OR foram utilizados para elaborar uma organização da tarefa de busca. Já o caractere asterisco (*) foi aplicado para garantir que na busca também fossem encontradas palavras no plural e as aspas (") para representar palavras compostas. Além disso, para a determinação de controle de publicações, foram aplicados alguns filtros que ajudaram a determinar os documentos de interesse para a pesquisa. A *string* de busca e o processo de filtragem foram representados na Figura 1.

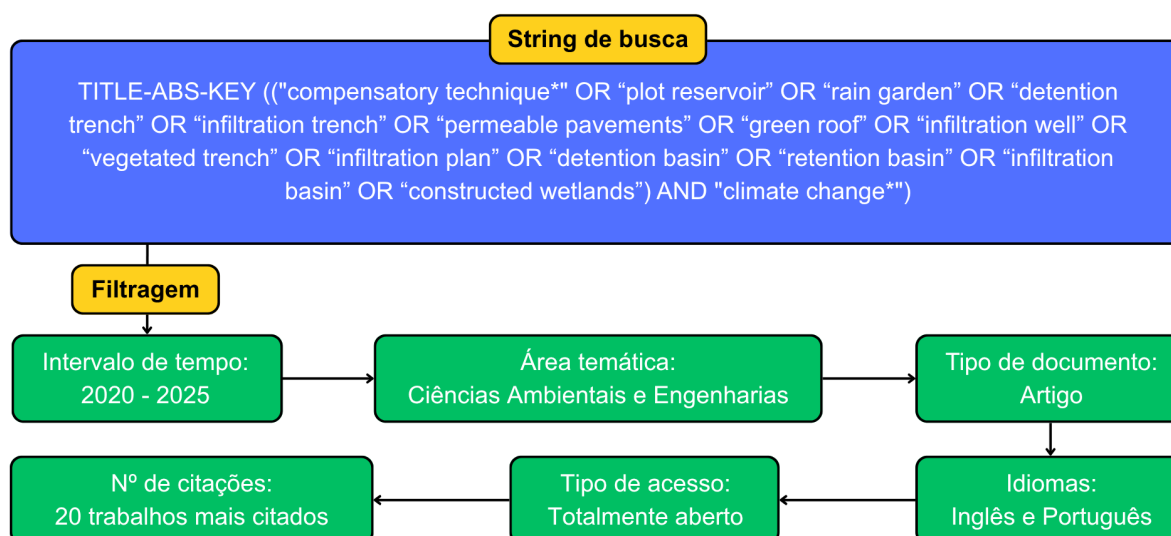


Figura 1 - Metodologia de busca e filtragem na plataforma Scopus. Fonte: os autores.

Esses filtros foram aplicados para o refinamento dos resultados de busca, objetivando encontrar artigos científicos que representassem a temática no contexto global atual, e por isso, foi realizado no intervalo de tempo entre 2020 e 2025. Dentro das áreas de Ciências Ambientais e de Engenharias, é possível ter uma visão mais técnica e urbana desse assunto. Artigos em inglês e português de acesso aberto possibilitaram a disponibilidade e compreensão dos textos para a realização dessa pesquisa.

Para selecionar as publicações utilizadas neste trabalho dentro da plataforma de busca Scopus, foram organizados os artigos por ordem decrescente em relação ao número de citações, ou seja, dos mais citados aos menos citados. A quantidade de documentos almejados determinada pelos autores foi de 20 artigos. Os autores estabeleceram um número de 20 documentos para análise. Desta forma, a partir da lista de artigos obtida e ordenada com base nas citações, os resumos dos artigos mais citados foram lidos para verificar se eles contemplavam os temas de interesse. Os primeiros 20 artigos da lista que se relacionavam com técnicas compensatórias e mudanças climáticas foram selecionados para continuidade da pesquisa. Essa escolha se justifica devido a maior relevância que esses artigos já demonstraram ter ao longo desse pequeno período.

A busca de dados na plataforma Scopus foi realizada em 01 de novembro de 2025. Com a exportação de um arquivo contendo todos esses documentos, foi organizada uma planilha com os tópicos: título do artigo, nome do periódico, ano de publicação, autor(es), número de citações, objetivo e palavras-chave.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da atribuição da *string* de busca na plataforma Scopus, foram disponibilizados documentos independentes de diversas áreas temáticas e localizações. Com isso, a Tabela 1 apresenta de forma quantitativa os documentos encontrados para cada filtro aplicado. É preciso salientar que o filtro 6 foi realizado a partir da leitura dos diversos documentos mais citados, e não determinado pela própria plataforma Scopus.

Os artigos científicos selecionados para o estudo desta revisão sistemática representam 1,36% de todos os 1466 documentos encontrados na primeira busca na plataforma.

Tabela 1 – Quantidade de documentos encontrados na plataforma Scopus.

Filtros	Tipos de filtros aplicados	Documentos encontrados	Porcentagem de documentos
Busca inicial	Total (1993-2026)	1.466	100%
Filtro 1	Intervalo de tempo (2020-2025)	1.040	70,94%
Filtro 2	Área temática (Ciências Ambientais e Engenharia)	886	60,43%
Filtro 3	Tipo de documento (Artigo)	605	41,26%
Filtro 4	Idioma (Inglês e Português)	587	40,04%
Filtro 5	Tipo de acesso (Totalmente aberto)	362	24,69%
Filtro 6	Documentos mais relevantes	20	1,36%

Fonte: os autores.

A partir da leitura dos 20 documentos mais citados na plataforma, foram coletados título do artigo, nome do periódico, ano de publicação, autor(es), número de citações, objetivo e palavras-chave de cada um dos artigos. Através do fichamento de cada publicação, foi possível observar que o ano com maior número de artigos foi em 2022, com o total de 8 documentos. Já o ano com menor número de documentos publicados foi em 2023, com apenas 2. Os anos de 2024 e 2025 não obtiveram os documentos mais citados encontrados na lista devido, provavelmente, a ser um período mais recente.

A Figura 2 demonstra a nuvem de palavras-chave mais exibidas nos 20 artigos mais citados escolhidos para a realização desta revisão sistemática. A nuvem de palavras possibilita a visualização quantitativa dos diferentes tópicos trabalhados referentes ao tema de interesse. Quanto maior o círculo, maiores as ocorrências dessa palavra nos trabalhos estudados. É possível identificar que a palavra-chave mais usada nos artigos foi *climate change* (mudança climática). Outras palavras-chave, como *floods* (inundação) e *water management* (gestão de água) também foram muito utilizadas na maioria das publicações.

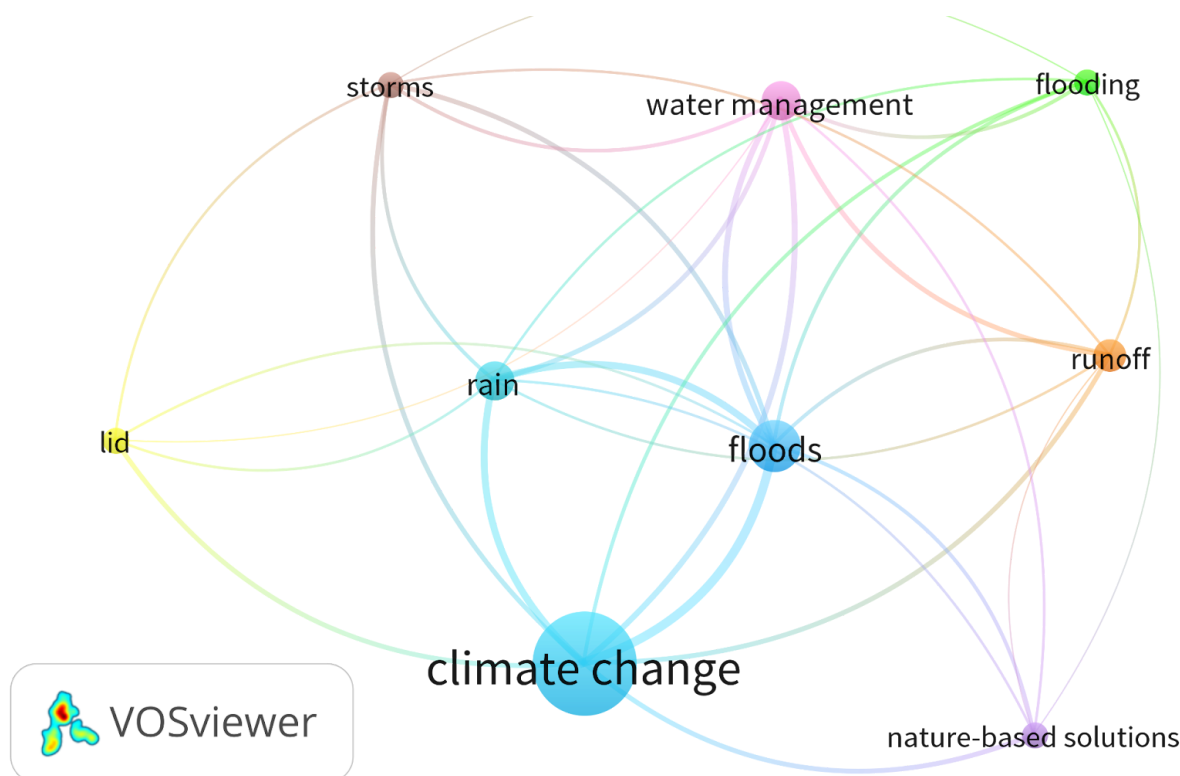


Figura 2 - Nuvem de palavras-chave dos artigos analisados. Fonte: os autores (elaborado no VOSViewer, 2025).

Dentre os artigos analisados, alguns grupos de estudos se caracterizam. O estudo de Hamel e Tan (2022) trabalha a revisão das Infraestruturas Verde-Azul e Soluções Baseadas na Natureza (SBN). Bibi (2022) e Bibi (2023) comparam a drenagem existente e as técnicas sustentáveis. Mubeen (2021) analisa o planejamento de SBN. Jemberie e Melesse (2021) avaliam a otimização do LID. Zhang *et al.* (2023) discutem sobre os danos e a intensidade de desastres. Cristiano *et al.* (2020) discorrem sobre a retenção por SBN. Todos estes artigos se relacionam por quantificar o potencial de mitigação das TC, a partir de modelos matemáticos e espaciais para enfrentar as mudanças climáticas.

O trabalho de Almaaitah (2021) fala das estratégias da Infraestrutura Verde-Azul, Kaur e Gupta (2022) analisam o planejamento espacial para conectar áreas verdes e azuis, Cortinovis (2022) avalia potencial de SBN em larga escala, Zhang *et al.* (2021) analisam a resiliência e eficácia da gestão pluvial, Zhang, Ye e Shibata (2020) verificam o desempenho de jardins de chuva em cenários de cheia, Liang (2020) analisa qual melhor design de Cidade Esponja, Cristiano *et al.* (2022) trabalham telhados que integram gestão hídrica e térmica e Bak e Barjenbruch (2022) analisam os desafios e benefícios de jardins de chuva. Esses autores convergem na busca por provar que a Infraestrutura Verde-Azul é eficaz para adaptar as cidades ao regime de chuvas.

Os autores que tratam sobre a análise ambiental, considerando elementos biológicos e a diversidade das espécies vegetais utilizadas nas soluções são Barriuso e Urbano (2021) e Badura *et al.* (2021). Já os autores Song (2022) e Pochodyla *et al.* (2021) abordam uma revisão técnica de eficácia dessas soluções em relação aos problemas hídricos.

Com esses resultados, apesar de não terem sido usados nas strings de busca, fica evidente a relação entre TC e outros termos correlatos, como Soluções Baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde-Azul, de modo que recomenda-se complementar a busca com outros termos que contemplem as técnicas compensatórias, como Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems* - SUDS), Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development* - LID), Melhores Práticas de Gestão (*Best Management Practices* - BMP), Soluções Baseadas na Natureza (*Nature-based Solutions* - NbS), entre outros.

CONCLUSÃO

A revisão sistemática realizada evidenciou que as TC vêm sendo amplamente exploradas como alternativas eficazes para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas no contexto urbano. Os estudos analisados demonstram que a infraestrutura verde-azul, as soluções baseadas na natureza e as práticas de desenvolvimento de baixo impacto apresentam potencial significativo para redução do escoamento superficial, mitigação de inundações e melhoria da qualidade ambiental. Além de atuarem sobre a drenagem urbana, essas estratégias favorecem a adaptação climática, reforçando a importância da integração entre planejamento urbano e gestão hídrica.

Os resultados também revelam uma diversidade metodológica e geográfica que amplia a compreensão sobre o tema. Pesquisas realizadas em outros países destacam diferentes configurações e escalas de aplicação das TC, evidenciando que seu desempenho está diretamente relacionado às especificidades locais, às características da paisagem urbana e aos objetivos de cada intervenção. Ainda assim, nota-se um consenso sobre o papel central dessas soluções na construção de cidades mais resilientes, sobretudo diante de eventos extremos de precipitação e do agravamento dos cenários hidrológicos associados às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ALMAAITAH, Tamer *et al.* (2021). “*The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: A systematic literature review*”. Blue-Green Systems, v. 3, n. 1, p. 223–248.

- BADURA, Tomas *et al.* (2021). “*Public support for urban climate adaptation policy through nature-based solutions in Prague*”. Landscape and Urban Planning, v. 215, p. 1–15.
- BAK, Joanna; BARJENBRUCH, Matthias (2022). “*Benefits, Inconveniences, and Facilities of the Application of Rain Gardens in Urban Spaces from the Perspective of Climate Change—A Review*”. Water, v. 14, p. 1–19.
- BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 318 p.
- BARRIUSO, Fernando; URBANO, Beatriz (2021). “*Green roofs and walls design intended to mitigate climate change in urban areas across all continents*”. Sustainability, v. 13, p. 1–14.
- BIBI, Takele Sambeto (2022). “*Modeling urban stormwater management in the town of Dodola based on landuse and climate change using SWMM 5.1*”. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 44, p. 1–20.
- BIBI, Takele Sambeto *et al.* (2023). “*Application of PCSWMM for assessing the impacts of urbanization and climate changes on the efficiency of stormwater drainage systems in managing urban flooding in Robe town, Ethiopia*”. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 45, p. 1–15.
- BUOSE, Brenda (2024). “*Impacto da Mobilidade Urbana na Gestão de Águas Pluviais*”. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, v. 12, n. 38, p. 126-141.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2015). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2ª impressão, p. 129-143.
- CORTINOVIS, Chiara *et al.* (2022). “*Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities*”. Urban Forestry and Urban Greening, v. 67, p. 1–14, 2022.
- CRISTIANO, Elena *et al.* (2020). “*Analysis of potential benefits on flood mitigation of a CAM green roof in Mediterranean urban areas*”. Building and Environment, v. 183, p. 1–8.
- CRISTIANO, Elena *et al.* (2022). “*Multilayer blue-green roofs as nature-based solutions for water and thermal insulation management*”. Hydrology Research, v. 53, n. 9, p. 1129–1149.

HAMEL, Perrine; TAN, Leanne (2022). “*Blue–Green Infrastructure for Flood and Water Quality Management in Southeast Asia: Evidence and Knowledge Gaps*”. *Environmental Management*, v. 69, n. 4, p. 699–718.

GUPTHA, Guru Chythanya *et al.* (2022). “*Assessing the role of SuDS in resilience enhancement of urban drainage system: A case study of Gurugram City, India*”. *Urban Climate*, v. 41.

IPCC (2021). *Annex VII: Glossary*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 2215–2256. doi:10.1017/9781009157896.022.

JEMBERIE, Mengistu A.; MELESSE, Assefa M. (2021). “*Urban Flood Management through Urban Land Use Optimization Using LID Techniques, City of Addis Ababa, Ethiopia*”. *Water*, v. 13, p. 1–17.

KAUR, Ravnish; GUPTA, Kshama (2022). “*Blue-Green Infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: A geospatial approach*”. *City and Environment Interactions*, v. 16, p. 1-13.

LIANG, Changmei *et al.* (2020). “*An integrated framework to select resilient and sustainable sponge city design schemes for robust decision making*”. *Ecological Indicators*, v. 119, p. 1-11.

MUBEEN, Adam *et al.* (2021). “*Planning and Suitability Assessment of Large-scale Nature-based Solutions for Flood-risk Reduction*”. *Water Resources Management*, v. 35, p. 3063–3081.

OLIVEIRA, Aline Prado de; BARBASSA, Ademir Paceli; GONÇALVES, Luciana Márcia (2016). “*Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos-SP*”. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, v. 4, n. 9, p. 87-101.

POCHODYŁA, Ewelina; GLIŃSKA-LEWCZUK, Katarzyna; JASZCZAK, Agnieszka (2021). “*Blue-green infrastructure as a new trend and an effective tool for water management in urban areas*”. *Landscape Online*, v. 92, p. 1–20.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. (2007). “*Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica*”. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 11, n. 1, p. 83-89.

SONG, Chen (2022). “*Application of nature-based measures in China’s sponge city initiative: Current trends and perspectives*”. *Nature-Based Solutions*, v. 2, p. 1-13.

ZHANG, Linying; YE, Zehao; SHIBATA, Shozo (2020). “*Assessment of Rain Garden Effects for the Management of Urban Storm Runoff in Japan*”. Sustainability, v. 12, p. 1–17.

ZHANG, Xiwen *et al.* (2023). “*A disaster-damage-based framework for assessing urban resilience to intense rainfall-induced flooding*”. Urban Climate, v. 48, p. 1-14.

ZHANG, Yixin *et al.* (2021). “*Assessment on the effectiveness of urban stormwater management*”. Water, v. 13, n. 4, p. 1–20.