

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Arthur Alves Costa Lignani de Miranda

**As Cidades-Esponja e a demanda pelo desenvolvimento resiliente em
Manhuaçu: proposta de Diretrizes para áreas consolidadas**

Juiz de Fora
2026

Arthur Alves Costa Lignani de Miranda

**As Cidades-Esponja e a demanda pelo desenvolvimento resiliente em
Manhuaçu: proposta de Diretrizes para áreas consolidadas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientadora: Profa. Dra. Ercilia de Stefano

Coorientador: Prof. Dr. José Cristiano Pereira

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Miranda, Arthur Alves Costa Lignani de.

As Cidades-Esponja e a demanda pelo desenvolvimento resiliente em Manhuaçu : proposta de Diretrizes para áreas consolidadas / Arthur Alves Costa Lignani de Miranda. -- 2026.

109 p. : il.

Orientadora: Ercilia de Stefano

Coorientador: José Cristiano Pereira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2026.

1. Cidade-Esponja. 2. Resiliência urbana. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Stefano, Ercilia de, orient. II. Pereira, José Cristiano, coorient. III. Título.

Arthur Alves Costa Lignani de Miranda

As Cidades-Esponja e a demanda pelo desenvolvimento resiliente em Manhuaçu: proposta de Diretrizes para áreas consolidadas

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 30 de janeiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Ercilia de Stefano - Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr .José Cristiano Pereira - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr . Fabricio Rezende Fontenelle
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr. César Henrique Barra Rocha
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr . Alberto Eduardo Besser Freitag
Universidade Candido Mendes

Juiz de Fora, 16/01/2026.



Documento assinado eletronicamente por **Ercilia de Stefano, Professor(a)**, em 30/01/2026, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Rezende Fontenelle, Professor(a)**, em 30/01/2026, às 17:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Rocha Olivi, Vice-Coordenador(a)**, em 01/02/2026, às 20:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALBERTO EDUARDO BESSER FREITAG, Usuário Externo**, em 02/02/2026, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Cristiano Pereira, Usuário Externo**, em 02/02/2026, às 12:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Henrique Barra Rocha, Professor(a)**, em 02/02/2026, às 14:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uffj (www2.uffj.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2829496** e o código CRC **3734AD5F**.

Dedico este trabalho à minha mãe Lygia (*in memoriam*) que sempre me incentivou a seguir meus sonhos e ao meu pai Luis Augusto, que não mede esforços para me apoiar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram incondicionalmente nos estudos e na vida e que me possibilitaram a conclusão de mais uma etapa da minha formação. Amplio os agradecimentos para os familiares que me acompanharam durante a minha trajetória.

Agradeço ademais aos amigos e amigas que sempre torceram por mim e que são parte fundamental para minha vida, comemorando as conquistas mutuamente.

À minha orientadora Ercilia, que também se tornou uma amiga, por todos os ensinamentos e parcerias que tornaram o Mestrado uma experiência ainda mais especial do que eu havia imaginado.

Aos professores membros da Banca, pelos aceites, participações e contribuições para o trabalho.

À minha turma do PROAC, pessoas que eu tenho muita gratidão por ter conhecido e acompanhado nesta etapa, é muita sorte poder conviver com vocês academicamente e pessoalmente. Com destaque ao Flávio e à Natália, “meu grupo” nas orientações, trabalhos e artigos e à Flávia que sempre apoiou a todos com sua dedicação e amizade, dentre outras pessoas que apesar de não citar nominalmente, foram fundamentais.

Também a todos os professores e professoras que muito acrescentaram no meu progresso e constante aprendizado, tanto no Mestrado quanto ao longo de toda a vida.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, que tanto ajudou durante a realização do Mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Deus, por todas as oportunidades.

As mudanças climáticas significam mudanças na paisagem, e vice-versa. Arquitetura da paisagem significa, literalmente, a arte de transformar e modificar paisagens por meio do *design*. Ao modificar a paisagem, você pode tanto se adaptar quanto contrapor-se aos processos naturais, bem como mitigar ou amplificar os processos naturais que são causados pelas mudanças climáticas ou que as provocam (Yu, 2025, s/p., tradução nossa)¹.

¹ Kongjian Yu (1963-2025) foi um arquiteto paisagista e urbanista chinês, criador e principal difusor do conceito “Cidade-Esponja”, foco do trabalho, que faleceu no decorrer da elaboração da presente Dissertação, em um acidente com uma aeronave, no Brasil, onde se destacou ao participar da Bienal de Arquitetura (G1, 2025).

RESUMO

A demanda por formas de desenvolvimento mais sustentáveis e resilientes é um paradigma mundial na atualidade, tanto nas cidades quanto na natureza. E a possibilidade de união entre esses dois elementos, incorporando soluções naturais ao desenvolvimento urbano é comprovadamente uma das possibilidades de conferir maior qualidade ambiental, de vida e mitigar diversos dos desastres ambientais presentes. A partir disso, o conceito de Cidade-Esponja surgiu na China, se inspirando na natureza para garantir maior absorção e purificação da água, preservando os corpos hídricos e propondo medidas que aumentam a permeabilidade, em detrimento de soluções “cinzas” como canalizações e pavimentações asfálticas, consequentemente reduzindo impactos e riscos de inundações. Dentre os desastres, podem-se citar as enchentes, comuns no Brasil e em outros países, resultantes de precipitações intensas, e fortemente intensificadas em determinados modelos de ocupação predatórios. Historicamente, várias cidades se desenvolveram tendo os corpos hídricos como base, havendo alterações na paisagem e modificações muitas vezes visando o desenvolvimento rápido de infraestruturas que, quando espontaneamente e sem planejamento, ocasiona graves problemas. Um exemplo disso é a cidade de Manhuaçu, que se expandiu às margens do rio homônimo. Diante disso, o presente trabalho exploratório possui o objetivo geral de elaborar uma Proposta de Diretrizes para adoção de estratégias “esponja” em Manhuaçu, identificando possibilidades e desafios e realizando adaptações necessárias para as especificidades da cidade. Para tanto, a metodologia se configura por meio do delineamento de pesquisa bibliográfica/documental, tendo como pilares-chave a análise histórica do crescimento manhuaçuense a partir de materiais científicos, dados e informativos e uma revisão sistemática da literatura adaptada sobre casos de aplicação global de Cidades-Esponja, que identificou a predominância das bibliografias na China (trazendo uma limitação em interpretar dados em contextos distintos), mas a gradual expansão para outros países e continentes, demonstrando a difusão e relevância. No caso do Brasil, isso pode ser comprovado a partir do surgimento de Leis e Projetos de Lei no assunto. A partir disso e das análises críticas, foi possível identificar convergências e divergências e propor as Diretrizes e adaptações necessárias para Manhuaçu, considerando tratar-se de área consolidada em maior

parte. Para o município, os resultados apontaram para as possibilidades parciais de adoção, tendo como um dos produtos um Quadro que sintetiza tais direcionamentos para as partes interessadas, incluindo aspectos estratégicos e recomendações de locais da malha urbana e regional. Por fim, pode-se concluir acerca do potencial desse tipo de solução baseada na natureza ser replicado de forma compatibilizada para outros contextos, justificando a busca pela promoção no Brasil.

Palavras-chave: Cidade-Esponja; Resiliência urbana; Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The demand for more sustainable and resilient forms of development constitutes a global paradigm today, both in urban and natural environments. The integration of these two dimensions, incorporating nature-based solutions into urban development, has been shown to improve environmental and living conditions, while also mitigating several existing environmental hazards. Within this perspective, the concept of the Sponge City emerged in China, drawing inspiration from natural processes to enhance water absorption and purification, safeguard water bodies, and promote measures that increase permeability. These strategies contrast with conventional “grey” solutions, such as canalization and asphalt paving, thereby reducing impacts and risks associated with flooding. Floods, which are frequent in Brazil and many other countries, exemplify such disasters. They result from intense rainfall events and are often exacerbated by unsustainable land-use practices. Historically, numerous cities developed around water bodies, leading to significant alterations in the landscape. In many cases, unplanned and rapid infrastructural expansion generated severe problems. An illustrative example is the city of Manhuaçu, which expanded along the banks of the river of the same name. In this context, the present exploratory study has the general objective of developing a Proposal of Guidelines for the adoption of “sponge” strategies in Manhuaçu, identifying possibilities and challenges and carrying out the necessary adaptations to the city’s specificities. To this end, the methodology is structured through a bibliographic and documentary research design, with key pillars including a historical analysis of Manhuaçu’s urban growth based on scientific materials, data, and reports, and an adapted systematic literature review of global applications of Sponge Cities. This review identified a predominance of bibliographic sources from China (posing a limitation in interpreting data in different contexts), but also a gradual expansion to other countries and continents, demonstrating the diffusion and relevance of the concept. In the case of Brazil, this can be evidenced by the emergence of Laws and Bills addressing the topic. Based on these findings and critical analyses, it was possible to identify convergences and divergences and to propose the necessary Guidelines and adaptations for Manhuaçu, considering that it is mostly a consolidated urban area. For the municipality, the results pointed to partial possibilities for adoption, with one of the outputs being a Framework that synthesizes these guidelines for stakeholders,

including strategic aspects and recommendations for locations within the urban and regional network. Finally, it can be concluded that this type of nature-based solution has the potential to be replicated in a context-compatible manner in other settings, thereby justifying efforts to promote it in Brazil.

Keywords: Sponge City; Urban resilience; Sustainable development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Média anual de pessoas afetadas por desastres na década de 2020.....	26
Figura 2	– Média anual de pessoas afetadas por inundações na década de 2020.....	27
Figura 3	– Localização de Manhuaçu em Minas Gerais e de MG no Brasil.....	28
Figura 4	– O município de Manhuaçu e concentrações urbanas e rurais.....	29
Figura 5	– Crescimento de Manhuaçu entre os anos de 1985 e 2015.....	31
Figura 6	– Área de Manhuaçu nos anos de 1898 e 2019, respectivamente.....	32
Figura 7	– Destaque às edificações próximas à margem do Rio Manhuaçu.....	34
Figura 8	– Compilação de registros históricos da enchente de 1979 em Manhuaçu.....	35
Figura 9	– Compilação de registros da enchente de 2020 em Manhuaçu.....	36
Figura 10	– Mapeamento de iniciativas de resiliência urbana em escala global....	39
Figura 11	– Temáticas e dinâmicas chave às SbN.....	40
Figura 12	– Representação esquemática de uma Cidade-Esponja.....	42
Figura 13	– Estratégias “Esponja” ao longo de toda a bacia hidrográfica.....	45
Figura 14	– Análise de Similitude: comunidades de termos relacionados às Cidades-Esponja.....	47
Esq. 1	– Esquema de Metodologia e Delineamento adotados.....	56
Gráfico 1	– Artigos por país de enfoque dos casos.....	60
Figura 15	– Cirrus: Artigos com foco na China.....	63
Figura 16	– Link: Artigos com foco na China.....	64
Figura 17	– Cirrus: Artigos com foco em outros países.....	67
Figura 18	– Link: Artigos com foco em outros países.....	68
Figura 19	– Cirrus: Artigos com foco em materiais, técnicas ou estatísticas.....	75
Figura 20	– Link: Artigos com foco em materiais, técnicas ou estatísticas.....	77
Figura 21	– Situação do rio Manhuaçu dentro da bacia do Rio Doce.....	83
Figura 22	– Rio Manhuaçu: bacia hidrográfica, municípios e sub-bacias.....	84
Figura 23	– Mapeamento de inundações e riscos recorrentes.....	87
Figura 24a	– Soluções adotadas no loteamento Cristal Bandeira.....	88
Figura 24b	– Soluções adotadas no loteamento Cristal Bandeira.....	88
Figura 25	– Demarcação de bairros estratégicos no mapa do Distrito Sede.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Dois tipos de desenvolvimento urbano e características	22
Quadro 2	– Resumo de principais elementos de Cidades-Esponja.....	44
Quadro 3	– Termos mais frequentes nos <i>abstracts</i> de todos os artigos analisados.....	59
Quadro 4	– Resumo das abordagens, metodologias e descrições dos artigos sobre demais países.....	73
Quadro 5	– Legislações sobre Cidades-Esponja em cidades brasileiras.....	80
Quadro 6	– Síntese das Diretrizes propostas para Manhauçu.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CRED	Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres
f	Frequência
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPTU	Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
LID	<i>Low Impact Development</i>
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SCP	<i>Sponge City Program</i>
SbN	Soluções baseadas na Natureza
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	17
1.3	ESTRUTURA DO TEXTO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	O PAPEL DOS CORPOS HÍDRICOS NA HISTÓRIA DA URBANIZAÇÃO.....	19
2.2	DESAFIOS URBANOS DIANTE DA QUESTÃO DAS ÁGUAS.....	23
2.3	MANHUAÇU: RIO E CIDADE	28
2.3.1	Breve histórico do município de Manhuaçu	30
2.3.2	A questão hídrica manhuaçuense.....	31
2.4	A NATUREZA COMO BASE PARA O URBANISMO RESILIENTE.....	37
2.5	O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL A PARTIR DE CIDADES-ESPONJAS	41
3	METODOLOGIA	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1	REVISÃO DE CASOS CIENTÍFICOS SOBRE CIDADES-ESPONJA	58
4.1.1	Pesquisas com foco em contextos da China	62
4.1.2	Pesquisas com foco em outros países	66
4.1.3	Pesquisas com foco específico em materiais, técnicas ou estatísticas.....	74
4.2	LEGISLAÇÕES SOBRE CIDADES-ESPONJA NO BRASIL: A BUSCA PELO CONCEITO EM TERRITÓRIO NACIONAL	78
4.3	A PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES DE CIDADE-ESPONJA PARA MANHUAÇU	82
4.3.1	Integração com a bacia e o planejamento urbano	82
4.3.2	Demarcação de áreas-piloto para intervenções	85
4.3.3	Aplicação gradual e difusão das soluções Esponja	89

4.3.4	Participação popular e capacitação profissional	91
4.3.5	Monitoramento, sensores, avaliações e indicadores	82
4.3.6	Proposta de Diretrizes para adoção de estratégias de Cidades- Esponja no município de Manhauçu	93
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
6	RECOMENDAÇÕES.....	100
	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano sustentável é um objetivo e temática amplamente em pauta na atualidade, incluindo-se as possibilidades de soluções baseadas na natureza que norteiam a presente Dissertação. Visando compreender a temática, a introdução contextualiza aspectos correlatos às cidades e transformações urbanas, bem como os desafios intrínsecos e vivenciados cotidianamente em vários lugares, inclusive na cidade de Manhuaçu, enfoque da pesquisa. A partir disso, surgem os objetivos para alcançar a Proposta de Diretrizes e oportunidades, bem como a relação entre as temáticas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As cidades, nos mais diversos contextos, são de vital relevância para grande parte da população global, o que é comprovado pelo fato de que mais da metade da população habita tais espaços na atualidade, com a perspectiva de que essa proporção aumente ainda mais em cenários futuros, tanto numericamente quanto proporcionalmente. Estima-se que por volta do ano de 2050, 68% da população tenda a viver em espaços urbanos, corroborando a importância de se discutir o assunto (UN-Habitat, 2022; Wang *et al.*, 2023).

O constante crescimento dos referidos números até o presente momento demonstra o desenvolvimento urbano como um processo gradual e capaz de exemplificar as mudanças de paradigmas e no estilo de vida das sociedades. Tal processo, apesar de trazer benefícios e possibilidades, pode trazer também grandes desafios e até mesmo problemas, que extrapolam barreiras e afetam fortemente todos os envolvidos. As mudanças nas formas de habitar e viver, concomitantemente, afetam e são afetadas pelos espaços que circundam as pessoas, promovendo por sua vez mudanças atitudinais diante do meio ambiente (Tuan, 2012), devendo-se analisar esses fatores de forma conjunta, visando compreender os cenários de forma abrangente.

Para tanto, é indispensável compreender os aspectos históricos no que tange o surgimento e o crescimento das primeiras cidades, buscando não somente entender como os processos de urbanização ocorreram e ocorrem até então e embasar as análises, como ainda perceber como as primeiras formas de lidar com a

natureza e a urbanização interferem até hoje nas cidades atuais, especialmente nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, o que será abordado mais detalhadamente na fundamentação do presente trabalho.

As formas “predatórias” como muitas das cidades se desenvolveram, com as ocorrências de, por exemplo, desmatamentos, ocupações espontâneas próximas a corpos hídricos e sem os devidos cuidados, dentre outros fatores correlatos à falta de planejamento urbano e priorização do rápido crescimento em detrimento do respeito ao ambiente, são aspectos que originaram muitos dos problemas vivenciados atualmente, como por exemplo as enchentes, a poluição, deslizamentos e muitos outros desastres que atingem muitas cidades, principalmente em contextos de maior vulnerabilidade (Firmo; Rocha, 2022).

Caso o planejamento urbano houvesse ocorrido de forma integrada desde os primórdios, pensando-se na urbanização de forma ordenada e respeitosa, muitos dos desafios seriam consideravelmente reduzidos ou até mesmo inexistentes, tendo em vista o potencial de atuações preventivas. Porém, a ausência do devido planejamento é origem de muitos dos supracitados problemas, que demandam estratégias a fim da mitigação e correções.

Ao lidar com a urbanização de novas áreas na atualidade, tendo-se como um breve exemplo o surgimento de novos loteamentos, o planejamento muitas vezes é resguardado por Planos Diretores (no caso do Brasil) e atuações de diversos profissionais, permitindo-se o planejamento antes da efetiva instalação e construção de infraestruturas, otimizando a integração do caráter preventivo almejado. Porém, ao lidar com as cidades como um todo, percebe-se que em grande parte das infraestruturas já existentes e espaços já construídos, deve-se adotar posturas “remediadoras”, que trazem consigo o desafio de buscar corrigir estruturas presentes desde o passado, demandando especificidades e muitas vezes dificultando o encontro de soluções efetivas.

Aprofundando-se brevemente acerca do histórico do urbanismo no Brasil, é perceptível a forma não planejada que o crescimento ocorreu em diversas cidades, destacadamente no que tange as formas de interferir no ambiente natural. Os corpos hídricos foram de vital importância para as civilizações, sendo afetados pelas interferências intrínsecas ao desenvolvimento presente nos modelos de urbanização ocorridos, trazendo em variados contextos, severas consequências (Baptista; Cardoso, 2013).

A cidade de Manhuaçu, localizada em Minas Gerais, é um exemplo disso: o crescimento urbano iniciou-se próximo às margens do rio homônimo, acompanhando-o por longos trechos, com muitas edificações e pavimentações próximas ao corpo hídrico, sem os devidos distanciamentos e sem o devido cuidado, o que sempre trouxe dificuldades e desastres locais, com enfoque para enchentes ocorridas ao longo do tempo, o que será abarcado mais detalhadamente no histórico do município e nas discussões acerca do respectivo desenvolvimento (Gomes, 2019; Oliveira; Graça; Espíndula, 2019; Cruz, 2020; Cruz, 2024).

Levando-se em consideração os desafios e especificidades encontrados na referida cidade, percebe-se a demanda por atuações que visem o desenvolvimento sustentável, principalmente por tratar-se de uma cidade com vastas atividades comerciais e que funciona como um centro regional, devido aos serviços oferecidos. Havendo os problemas recorrentes e correlatos à infraestrutura já existente, nota-se a necessidade de adoção de medidas mitigadoras e, diante da ampliação da malha urbana, documentada por Oliveira, Graça e Espíndula (2019), o interesse de incorporar ademais as medidas preventivas, para evitar que problemas se repitam nas novas áreas.

A natureza, parte fundamental da paisagem e da sobrevivência, que tantas vezes teve seu papel desrespeitado no crescimento urbano, deve sempre ser considerada de forma integrada ao ambiente construído, devendo ser ponto central na atuação dos mais diversos atores envolvidos no que tange o desenvolvimento. Diante disso, as soluções baseadas na natureza (SbN) que, além de incluir e cuidar da atuação diante desta, inspiram-se nos próprios elementos naturais, são apontadas como uma forma de otimizar as transformações espaciais em busca de maior sustentabilidade nas cidades (Herzog; Freitas; Wiedman, 2022).

O presente trabalho tensiona-se a partir do conceito de Cidade-Esponja, correspondente a uma das SbN e consistindo em trazer aos ambientes urbanos elementos mais naturais para lidar com os desafios hídricos, acarretando maior qualidade ambiental e consequentemente de vida, a partir de estratégias que envolvem maior permeabilidade, absorção, filtração e respeito aos leitos dos rios e córregos, dentre outros fatores. Assim, o ecossistema funciona de forma parecida a uma “esponja” na natureza, trazendo benefícios já comprovados em base nos casos de aplicação do conceito ao redor do mundo, com destaque à China, onde surgiu e a

implementação em cidades demonstra-se como sucesso (Zhao *et al.*, 2022; Shi *et al.*, 2023).

As referências de aplicação das estratégias “esponja” na China e no mundo impulsionam o presente trabalho a fim de buscar adaptar o conceito para a realidade manhuaçuense, sabendo-se que uma ampla gama de estratégias integra a técnica, que será explorada de forma interdisciplinar. Nesse panorama, tem-se a hipótese de que a utilização de elementos pertencentes ao conceito de Cidade-Esponja, considerando as especificidades locais e a aplicação gradual, tende a possibilitar melhorias na cidade de Manhuaçu, reduzindo alagamentos e ademais melhorando a natureza e as áreas urbanas do local e, conseqüentemente, trazendo mais sustentabilidade e qualidade de vida para a população.

Diante da pesquisa almejada, tem-se o questionamento de “como as estratégias de Cidades-Esponja poderiam ser adaptadas para atender o município de Manhuaçu?”, sabendo-se que a forma como a cidade configura-se traz consigo desafios que, superados, poderiam otimizar o local, mesmo que não seja possível aplicar o conceito em sua totalidade, tendo em vista a necessidade de preservar e adaptar infraestruturas já existentes.

1.2 OBJETIVOS

Visando responder à questão de pesquisa, os objetivos dividem-se em geral e específicos, sendo que o primeiro corresponde à verificação e embasamento para aplicação do conceito, e os demais são etapas essenciais para o alcance deste, bem como para embasar a atuação.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal da presente Dissertação, com caráter exploratório e descritivo, e ademais etapa propositiva, é a elaboração de uma Proposta de Diretrizes para adoção de estratégias integrantes das denominadas Cidade-Esponja no município de Manhuaçu.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender as possibilidades de aplicação do conceito de Cidades-Esponja no município de Manhuaçu, a partir de análises minuciosas da conformação do local;
- Identificar as limitações presentes no espaço urbano, buscando condições de contornar os desafios e mitigar as referidas limitações;
- Propor adaptações ou estratégias de aplicação parcial e/ou gradual de técnicas interdisciplinares presentes no conceito, considerando o cenário da região de estudo;
- Elaborar proposta de diretrizes a fim de mitigar desafios ambientais em eventuais situações em que não seja possível propor grandes intervenções e apresentar estratégias para aplicação.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

O presente trabalho estrutura-se em seis capítulos, considerando-se a necessidade de apresentar questões correlatas à urbanização em geral e na cidade do estudo, bem como as soluções que englobam as estratégias “esponja”. Até a presente etapa, foi conduzida uma introdução sobre os assuntos a serem abordados mais detalhadamente ao longo de toda a Dissertação, bem como o objetivo geral que abarca o produto ao qual visa-se produzir, e os objetivos específicos que conduzem e otimizam as estratégias.

Na segunda seção, correspondente ao Referencial Teórico, apresentam-se análises acerca das pesquisas bibliográficas/documentais conduzidas, perpassando desde o histórico do surgimento de cidades e do aumento da urbanização de forma genérica, com aprofundamentos que direcionam para o foco da pesquisa, adiante apresentando um breve histórico da cidade de Manhuaçu, visando situar o leitor acerca do local de trabalho, com os respectivos atravessamentos e considerações acerca do modelo de urbanização identificado. Após tais referenciais, ainda na mesma seção, discorre-se quanto às SbN para lidar com o desenvolvimento de cidades, direcionando para, por fim, detalhar acerca do conceito de Cidade-Esponja, envolvendo desde o surgimento até o desenvolvimento e a evolução das pesquisas,

tendo-se como base referências científicas que corroboram as possibilidades e incentivos para estudar sobre o tema.

Adiante, a Metodologia detalha sobre a pesquisa bibliográfica/documental conduzida, bem como apresenta as estratégias de ação presentes na proposta e que visam alcançar os objetivos apresentados anteriormente, mostrando detalhadamente as etapas percorridas e integrantes do presente trabalho.

A partir da aplicação da etapa anterior, o capítulo de Resultados e Discussões é composto pelas análises, realizando aproximações entre o percebido durante toda a pesquisa, considerando as viabilidades e demandas presentes nas pesquisas científicas e posicionando as estratégias de forma específica para o recorte temporal e local.

Por fim, as Considerações Finais são apresentadas, analisando o panorama da Dissertação a partir das potencialidades e limitações vistas, tratando sobre o alcance à questão de pesquisa e contribuições para a sociedade científica.

Após todas essas seções, apresentam-se Recomendações para os atores do planejamento urbano e partes interessadas, e a seguir as Referências (tanto bibliográficas quanto documentais) que possibilitaram a realização da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento urbano corresponde a um processo indispensavelmente complexo e interdisciplinar, devendo-se sempre ser analisado de forma contextualizada e embasada. Portanto, o referencial teórico busca, primeiramente, discorrer acerca da história do urbanismo e respectivas transformações, incluindo características desde o início das primeiras cidades até momentos mais atuais, uma vez que tais modificações ao longo do tempo são chaves para o entendimento das dinâmicas e conformações presentes nas localidades. Em sequência, situando o leitor, apresenta-se de forma específica um breve histórico da cidade de Manhuaçu, fazendo-se considerações e análises, buscando sempre compreender de forma conjunta as teorias e práticas, direcionando o olhar para causas e consequências de muitos problemas vigentes.

A partir disso, estende-se o estudo para a questão da resiliência urbana, que é objetivada por todo o planeta e, dentre as referências correlatas ao uso das soluções naturais, dá-se o enfoque para o conceito de Cidade-Esponja, demonstrando o aprendizado a partir do ambiente e embasando as ideias quanto à capacidade de benefícios para infraestruturas e pessoas a partir de abordagens sustentáveis, otimizando o que já existe e o planejamento para futuras áreas.

2.1 O PAPEL DOS CORPOS HÍDRICOS NA HISTÓRIA DA URBANIZAÇÃO

Durante toda a história das cidades, as relações entre o ambiente construído e o ambiente natural foram e são indispensáveis. Logo nas primeiras civilizações, os recursos naturais presentes, principalmente os recursos hídricos, guiaram e direcionaram o desenvolvimento, tendo-se em vista que as primeiras cidades estavam sempre situadas nas proximidades de mares e/ou rios, cuja função extrapolava o atendimento às demandas de abastecimento e físicas: possibilitava ainda a circulação de pessoas, mercadorias e as relações comerciais, conforme pontuam Baptista e Cardoso (2013) acerca do papel desses recursos nas cidades.

Baptista e Cardoso (2013) detalham esse papel dos rios no crescimento das cidades, reforçando o papel da água tanto como necessidade dos seres vivos, como nas funções estéticas e culturais, não sendo possível descrever a história sem tais correlações com os recursos hídricos.

Isso demonstra-se, por exemplo, no surgimento das primeiras aglomerações urbanas no delta do rio Euphrates, milênios antes de Cristo, nos períodos nos quais as populações passaram a viver de forma mais fixa em determinados locais (Baptista; Cardoso, 2013). Demais exemplos históricos ocorrem:

Também nos vales do Indus, dos rios Amarelo e Nilo, a partir do V milênio a.C., pequenas vilas se transformam, gradualmente, em cidades, invariavelmente junto aos rios, explorados já por complexos sistemas de irrigação, que exigiram os primeiros esforços do homem no sentido de regular e sistematizar, de forma estrita, o acesso à água (Baptista; Cardoso, 2013, p. 127).

Outros exemplos de cidades que se consolidaram nos arredores de rios por todo o mundo nos mais diversos contextos, são múltiplos, destacando o privilégio que a proximidade com margens de corpos hídricos trouxe historicamente. Incluem-se aí cidades como Paris (França), às margens do rio Sena, a atual Budapeste (Hungria), às margens do Rio Danúbio, e muitas outras cidades como Londres, e também muitas cidades por todo o mundo não citadas até então, inclusive no Brasil (Baptista; Cardoso, 2013).

Reforçada a importância da água no surgimento dos núcleos, pode-se afirmar a interferência direta do referido recurso na organização das cidades. De forma semelhante, considerando-se as demandas populacionais ocasionadas, o recurso manteve-se indispensável durante as constantes transformações, tendo seu papel modificado e adaptado ao longo do tempo e das paisagens, como também indicaram Baptista e Cardoso (2013).

Acerca das transformações, pode-se dizer que os rios, concomitantemente, afetam e foram afetados pelo crescimento das cidades, ou seja, casos nos quais as cidades se adequaram a estes, ou casos nos quais buscaram adequar os rios às ideias de urbanização e aos anseios das comunidades. O estabelecimento desses encadeamentos diante do meio ambiente pode ser resumido a partir da retomada às abordagens de Tuan (2012, p. 96), que afirma que “[...] mudanças em estilos de arquitetura refletem mudanças em tecnologia, economia e na atitude das pessoas para com o que é desejável no meio ambiente físico”.

Em síntese, evidencia-se que o desenvolvimento de tecnologias, técnicas, estudos e aplicações inevitavelmente trouxe diversas possibilidades e mudanças, de

forma quase cíclica, permitindo expandir cada vez mais as cidades, em consonância com os desejos econômicos (Tuan, 2012).

Mauch e Zeller (2008) fortalecem as ideias analisadas anteriormente, destacando a influência que os rios sempre tiveram no surgimento e nas transformações das civilizações, documentando que os vínculos com a água sempre foram indispensáveis no sucesso (ou não) de determinadas áreas. Outrossim, apresenta ainda o caráter “ambíguo” dos referidos corpos hídricos, dependendo de suas características e atuações, apontando-os como “fontes tanto de abundância quanto de destruição, de vida e de morte [...]” (Mauch; Zeller, 2008, p. 1, tradução nossa).

Intervenções antrópicas ocorridas visando atender objetivos de crescimento impactaram nos corpos hídricos fortemente, tanto de forma direta, com estratégias como canalizações e modificações de cursos e características, como de forma indireta, como a maior presença de áreas impermeáveis pela cidade, tendo-se como principais exemplos edificações e pavimentações. Muitas vezes esses recursos hídricos foram até mesmo negligenciados em detrimento do denominado “progresso”, tendo o papel minimizado, o que traz consequências conhecidas como a poluição e as inundações, presentes em várias regiões do mundo (Mauch; Zeller, 2008; Ikemoto; Sakura; Astaburuaga, 2021).

Diferentes maneiras de interferências diante dos rios puderam ser visualizadas conforme pontuam Ikemoto, Sakura e Astaburuaga (2021), dependendo fortemente da época e local onde estiveram situadas, tendo em vista que os processos puderam ocorrer de forma diversa de acordo com os contextos, devendo ainda considerar as variedades de características presentes no meio ambiente, para além das atuações e do ritmo da urbanização, sendo válido pontuar que:

No que diz respeito ao desenvolvimento urbano e ao seu processo, o grau de influência dos sistemas hidráulicos históricos sobre a morfologia urbana é inversamente proporcional à escala e à velocidade da transformação urbana. As áreas que passaram por um rápido desenvolvimento urbano, com grande escala construtiva, não preservam diretamente as formas orgânicas herdadas dos canais históricos. Em contrapartida, as áreas que cresceram gradualmente, com reduzida quantidade e escala de construções, mantêm as formas históricas e, por vezes, os cursos d'água visíveis (Ikemoto; Sakura; Astaburuaga, 2021, p. 23, tradução nossa).

Tal citação embasa a ideia preliminar da necessidade de realizar estudos cuidadosos e que considerem as especificidades locais e da sociedade, de forma integrada. Ao ponderar sobre as considerações de Ikemoto, Sakura e Astaburuaga (2021), pode-se inferir que as cidades planejadas tendem a preservar os aspectos hídricos na paisagem e enfrentar menos desafios, levando-se em conta as prevenções e previsões, enquanto as cidades que se desenvolveram de forma espontânea e descontrolada afetaram de forma mais intensa suas águas, qualitativa e quantitativamente, promovendo não só a piora da qualidade, quanto maiores probabilidades de desastres ambientais.

Essa questão impacta diretamente no que será tratado no trabalho, especialmente a partir de 2.2 e, para otimizar a visualização e compreender como esses processos de estruturação impactam na resiliência urbana (2.4), o Quadro 1 antecede tais debates para situar o leitor desde o princípio (Rolnik; Klink, 2011; Maricato, 2013).

Quadro 1 – Dois tipos de desenvolvimento urbano e características

Crescimento predatório	Crescimento resiliente
Expansão da malha urbana espontaneamente, guiada pelo mercado.	Planejamento integrado, com participação cuidadosa e interesse do setor público.
“Criação” de espaços com desigualdades sociais.	Desenvolvimento qualificado e promotor de inclusão social, ambiental e econômica.
Edificações em áreas frágeis/vulneráveis no tocante às características ambientais.	Uso do solo protegido fortemente, visando os cuidados com a natureza.
Precariedade em muitas das infraestruturas e desafios econômicos, demandando ações corretivas.	Características preventivas desde o princípio, com infraestruturas projetadas e executadas cuidadosamente.
Maior suscetibilidade a riscos de desastres urbanos e diante das mudanças climáticas.	Maior capacidade de adaptação às intempéries e aumento da qualidade de vida.

Fonte: Elaborado com base em Rolnik e Klink (2011) e Maricato (2013).

Diante disso, ao se direcionar o olhar para as realidades do Brasil, país que se destaca no cenário global devido às grandes reservas de águas doces e por sua enorme rede hidrográfica, como documentado por Assad (2013), pode-se traçar um paralelo com narrativas internacionais, tendo como exemplo o caráter ambíguo percebido por Mauch e Zeller (2008). Nesse contexto, quanto ao território brasileiro e as águas nos diversos espaços, pode-se interpretar que:

[...] O país mantém com seus rios uma relação ambígua: as cidades os abraçam para crescer e se desenvolver, criando importante laço

para o desenvolvimento urbano e agrícola, mas os destroem, ao torná-los o principal meio de escoamento de esgoto. Os rios sofrem com a poluição, o assoreamento, o desvio de seus cursos e com a destruição das matas ciliares; e a beleza da paisagem fica obstruída pelo mau cheiro, mudança de coloração, incapacidade de uso original de seus recursos (Assad, 2013, p. 6).

Após as apreciações acerca do resumido histórico das relações entre os rios e o desenvolvimento das cidades, é inevitável perceber as consequências promovidas pelas formas de ocupação conhecidas. Assim, torna-se necessário debater as dinâmicas presentes nos espaços, com o que foi trazido até a presente etapa promovendo o embasamento para o debate.

2.2 DESAFIOS URBANOS DIANTE DA QUESTÃO DAS ÁGUAS

É nítido que as formas de ocupar as regiões próximas aos rios, lagos, mares e demais corpos hídricos é uma questão adversa, considerando-se diversidades, resumindo-se que os corpos hídricos que tanto favorecem o meio urbano, quando modificado por ações humanas de forma inadequada, pode passar a se apresentar como um grande complicador, trazendo uma série de desafios. Após a compreensão no que tange os aspectos históricos em variadas localidades e recortes temporais (Mauch; Zeller, 2008; Assad, 2013; Baptista; Cardoso, 2013; Ikemoto; Sakura; Astaburuaga, 2021), expande-se o horizonte acerca das questões a serem tratadas.

Em um estudo acerca do histórico global de enchentes, Angelakis *et al.* (2023) listam, primeiramente, muitos dos desafios ambientais e climáticos, podendo-se citar, para além das referidas inundações: aumentos de temperaturas, modificações nos padrões de chuvas e intempéries, tempestades, aumentos nos níveis marítimos, incêndios florestais, deslizamentos, secas, tempestades de poeiras, dentre outros. É importante pontuar que nem todos os desafios estão presentes em todos os lugares: alguns são comuns a apenas localidades específicas, enquanto outros são mais abrangentes, sendo importante que muitas vezes problemas como os citados podem ocorrer concomitantemente ou de forma inter-relacionada, ocasionando ou intensificando outros.

No referido estudo internacional, o enfoque ocorre na questão hídrica considerando tratar-se de um dos mais graves desafios ambientais, que afeta diretamente as pessoas e os ambientes (Angelakis *et al.*, 2023).

Tal direcionamento vai de encontro com o presente trabalho, justificando-se aqui pela constatação do Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED) de que as inundações repentinas correspondem, no Brasil, ao tipo de incidente natural que ocorre de forma mais intensa e frequente (CRED, 2021, *apud* Wink Junior *et al.*, 2024).

Interligando os desafios com os tópicos já analisados:

[...] observa-se que a suscetibilidade aos desastres ambientais no contexto urbano pode estar ligada ao histórico processo de ocupação e apropriação do espaço, associado às desigualdades socioespaciais que permeiam os bairros das cidades [...], potencializando os riscos sociais e ambientais (Firmo; Rocha, 2022, p. 142).

Isso demonstra que os problemas assolam regiões de formas divergentes, ou seja, diferentes grupos e áreas (até mesmo em uma mesma cidade) podem estar mais ou menos suscetíveis de acordo com aspectos locais e socioeconômicos, considerando as realidades da desigualdade social, que ocasionam diferentes vivências ambientais diante das precipitações e das mais diversas situações, de forma multidimensional (Firmo; Rocha, 2022).

O artigo científico de Firmo e Rocha (2022) volta-se para a questão brasileira, apresentando que, de acordo com as características do país, os riscos mais impactantes nesse território correspondem aos alagamentos e inundações e, ademais, aos deslizamentos, muitas vezes atrelados, que não são causados somente pelas mudanças climáticas como também pela ocupação das localidades. Pontua-se que os desafios nacionais não se limitam aos três citados aqui.

Corroborando quantitativamente com as análises trazidas, Ritchie, Rosado e Roser (2022) apresentam um recurso digital a fim de acompanhar os números referentes aos desastres naturais, tanto pelo mundo quanto pelos países selecionados, desde que possuam dados disponíveis. Tal recurso, por sua vez, mantido em constante atualização, apresenta até o presente momento dados até o mês de abril de 2024, com base em CRED (2024, *apud* Ritchie; Rosado; Roser, 2022), ou seja, a ferramenta de análise digital já existente é alimentada periodicamente.

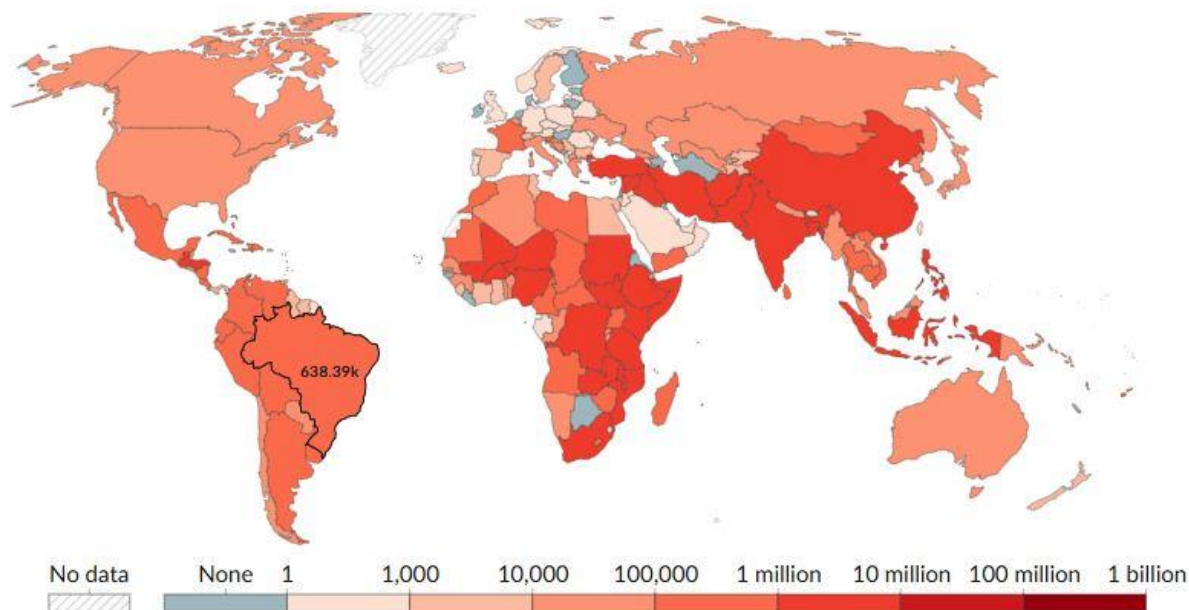
Na referida ferramenta, denominada “*Our World in Data*”, pode-se selecionar ademais os recortes temporais, tendo-se selecionado para as presentes análises a média decanal, ou seja, referente à década presente, tendo em vista a demanda de

demonstrar a atualidade do tema (Ritchie; Rosado; Roser, 2022). Os números apresentados correspondem, portanto às médias anuais calculadas nessa base. Em um primeiro momento, referente à década de 2020 até então, pode-se ver que a Figura 1 apresenta o número de pessoas afetadas por desastres, explicando-se que:

Os desastres incluem todos os eventos geofísicos, meteorológicos e climáticos, como terremotos, atividade vulcânica, deslizamentos de terra, secas, incêndios florestais, tempestades e inundações. O número total de pessoas afetadas corresponde à soma das pessoas feridas, que necessitam de assistência e desabrigadas (Ritchie; Rosado; Roser, 2022, n. p., tradução nossa).

Em adendo à descrição da Figura 1, pontua-se que foi selecionado o país Brasil em destaque, portanto tal país possui em seu território demarcado, a representação numérica dos totais de afetados por desastres, que por sua vez é de 638.393 pessoas, conforme documentado pelo Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres - CRED (2024, *apud* Ritchie; Rosado; Roser, 2022). Reforçando-se que alguns dos desastres citados acima não ocorrem no país. Porém, como é apresentado uma abordagem comparativa, estes são contabilizados nos países nos quais existem, tratando-se, portanto, de médias totais.

Figura 1 – Média anual de pessoas afetadas por desastres na década de 2020



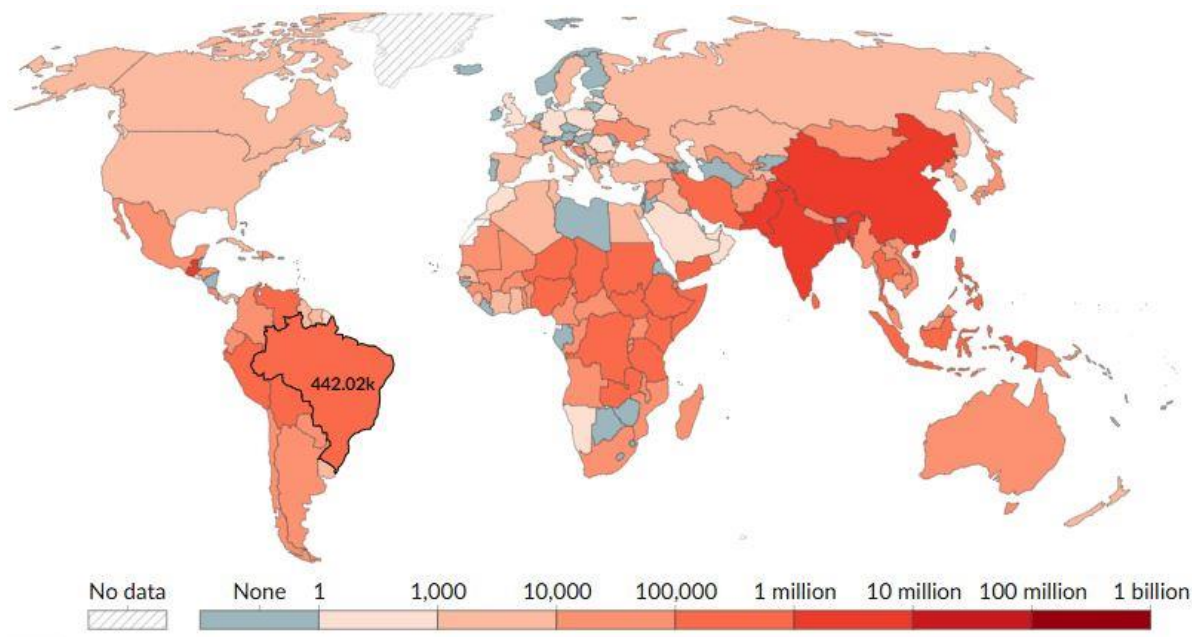
Fonte: *Our World in Data* baseado em EM-DAT, CRED (2024, n.p.)².

Prolongando-se as discussões acerca da Figura acima, percebe-se que, em caráter global, uma vasta gama de desastres assola uma grande parcela da população, com destaque para países da Ásia e da África. No caso deste primeiro, para além das adversidades e intempéries ao qual estão suscetíveis, destaca-se que os referidos países possuem algumas das maiores populações do mundo, justificando-se o alto número de pessoas atingidas, enquanto no continente africano, desafios socioeconômicos podem ser percebidos, em paralelo com a questão ambiental e de incidentes, o que se ratifica a partir das avaliações históricas realizadas por Angelakis *et al.* (2023).

Dinamicamente e considerando os apontamentos do CRED, da mesma forma como ilustrado quanto aos desastres em geral, ou seja, considerando-se a média decenal, pode-se analisar também, vide Figura 2, os dados referentes especificamente às inundações, destacando o Brasil, com a média dos afetados sendo de 442.024 cidadãos (CRED, 2024, *apud* Ritchie; Rosado; Roser, 2022).

² *Our World in Data* com base no EM-DAT, CRED / UCLouvain, Bruxelas, Bélgica – www.emdat.be (D. Guha-Sapir) – processado por *Our World in Data*. “Número total de pessoas afetadas por desastres” [conjunto de dados]. *Our World in Data* com base no EM-DAT, CRED / UCLouvain, Bruxelas, Bélgica – www.emdat.be (D. Guha-Sapir) [dados originais] (tradução nossa). Disponível em: <https://ourworldindata.org/natural-disasters>. Acesso em: 08 jul. 2025.

Figura 2 – Média anual de pessoas afetadas por inundações na década de 2020



Fonte: *Our World in Data* baseado em EM-DAT, CRED (2024, n.p.)³.

Estatisticamente, visualiza-se a partir da imagem supra, o fato de que as enchentes correspondem à maior parte dos desafios naturais no Brasil, equivalendo a mais de 69% dos desafios, comparando-se as médias entre esse problema e o total. Tal ideia vai de encontro com as bibliografias de autores diversos e, ao analisar criticamente com relação aos outros países, vê-se que o destaque nas inundações se situa novamente na Ásia, considerando as intempéries e populações. Ademais, percebe-se a predominância dos referidos desastres nos países em desenvolvimento, nos quais a desigualdade e as ocupações espontâneas e rápidas foram mais frequentes (Firmo; Rocha, 2022; Wink Junior *et al.*, 2024).

Em síntese, as análises dos mapas vistos nas Figuras 1 e 2 permite perceber questões globais e nacionais. Após a situação da questão nacional diante das inundações, pode-se perceber a relevância e a atualidade na busca de soluções para tais desafios, que devem ocorrer nas diferentes escalas, retomando a ideia de

³ *Our World in Data* com base no EM-DAT, CRED / UCLouvain, Bruxelas, Bélgica – www.emdat.be (D. Guha-Sapir) – processado por *Our World in Data*. “Número total de pessoas afetadas por inundações” [conjunto de dados]. *Our World in Data* com base no EM-DAT, CRED / UCLouvain, Bruxelas, Bélgica – www.emdat.be (D. Guha-Sapir) [dados originais] (tradução nossa). Disponível em: <https://ourworldindata.org/natural-disasters>. Acesso em: 08 jul. 2025.

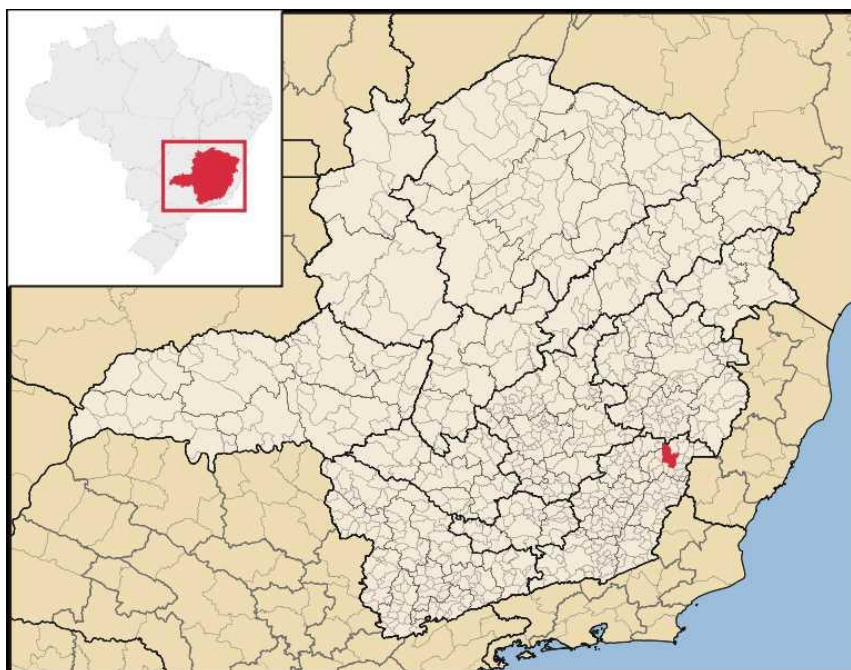
considerar cada local a partir das respectivas características ocupacionais e históricas.

2.3 MANHUAÇU: RIO E CIDADE

É impossível abordar a história da cidade de Manhuaçu sem simultaneamente abordar o rio Manhuaçu, que historicamente serviu como princípio norteador da cidade, guiando a ocupação espacial até hoje. Considerando-se a demanda de buscar soluções específicas para cada local, e considerando-se que o enfoque do presente trabalho é a referida cidade, busca-se aqui brevemente apresentá-la, conjuntamente com as dinâmicas ambientais e urbanas, para justificar as posteriores buscas por soluções que, na etapa de Resultados e Discussões, possibilitarão retomar as discussões sobre o referido contexto de forma mais direcionada.

Quanto à localização, conforme informativo institucional da Prefeitura Municipal de Manhuaçu (2023a) o município situa-se na mesorregião da Zona da Mata mineira, pertencente à unidade federativa de Minas Gerais (MG), Brasil, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Localização de Manhuaçu em Minas Gerais e de MG no Brasil

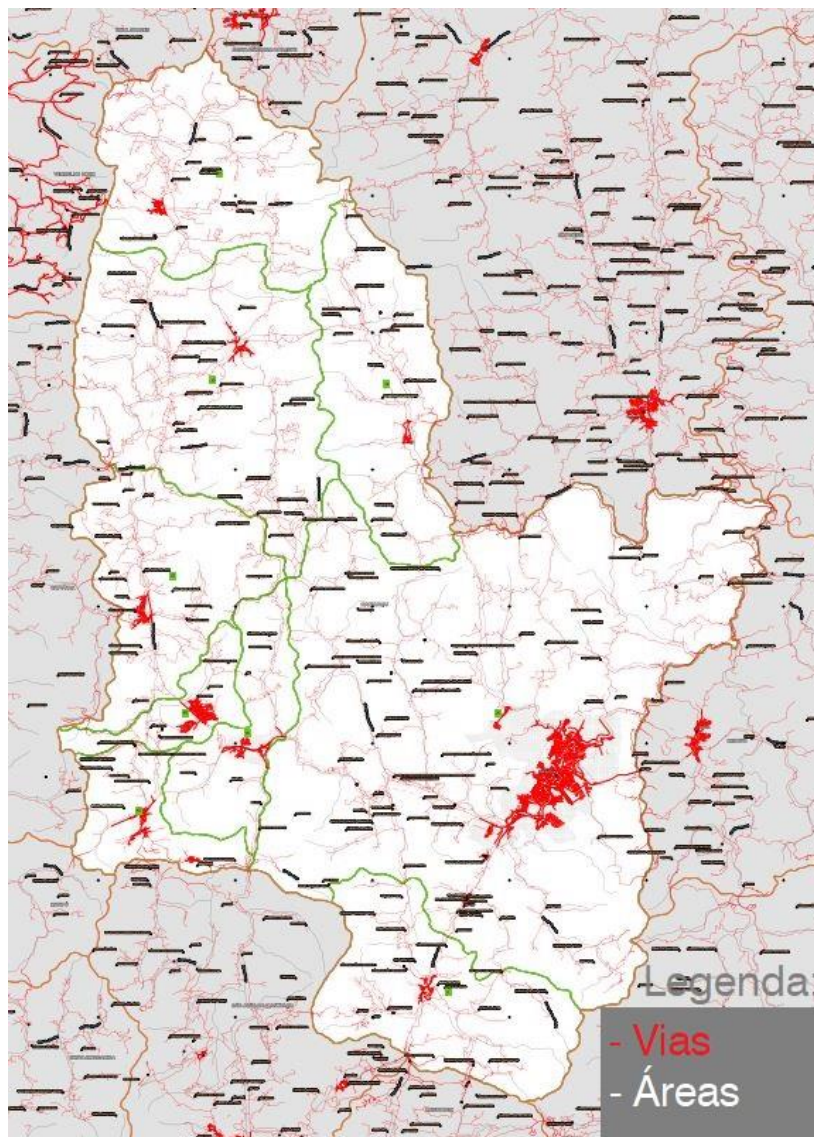


Fonte: Prefeitura de Manhuaçu (2023a, n.p.).

Geograficamente, conforme documentações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025) o município possui uma área de 628,318 km², abrigando uma população estimada de 96.545 pessoas para o ano de 2024, sendo que no Censo de 2022, o último realizado, a população apontada foi de 91.886.

Mirando apresentar as dinâmicas municipais e destacar a forte presença rural na região (o que será abordado novamente ao longo do trabalho), a Figura 4 (IBGE, 2020) apresenta a demarcação da área do município, em destaque, e também a aglutinação das vias urbanas que permitem discorrer sobre a densidade demográfica e concentração nos distritos, bem como a grande presença de áreas agricultáveis.

Figura 4 – O município de Manhuaçu e concentrações urbanas e rurais



Adaptado de: IBGE (2020).

A seguir, busca-se explicitar um histórico resumido do surgimento do município, para depois analisar a questão hídrica correlata ao ambiente construído.

2.3.1 Breve histórico do município de Manhuaçu

A água sempre acompanhou o surgimento e o desenvolvimento manhuaçuense, seja fisicamente, seja etimologicamente, a partir da respectiva nomenclatura, uma vez que Manhuaçu, termo de origem Tupi, pode ser entendido como “rio grande” ou “lugar de muita água”, de acordo com alguns historiadores, conquanto outros apontam o significado de “grande chuva”, tendo em vista que combina o significado das palavras “água” e “grande” (Manhuaçu, 2017; IBGE, 2023).

Economicamente a cidade é referência nacional no que tange o cultivo de café, maior fator de riqueza regional até a atualidade, desde quando findou-se o ciclo do ouro. Em decorrência do sucesso nas produções do referido grão, a cidade se fortaleceu, podendo ser considerada polo regional quanto aos serviços disponíveis e transações econômicas e comerciais, além da infraestrutura mais adequada se comparada com outras localidades do entorno imediato (Manhuaçu, 2017).

Expandindo as documentações acerca do histórico e dimensões, tem-se que:

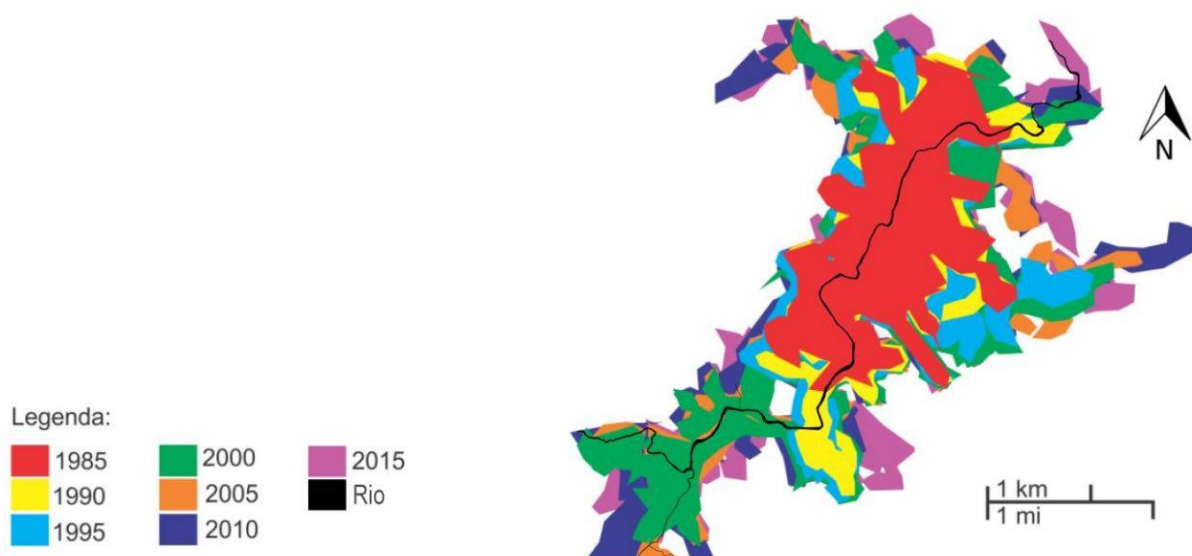
Além da sede, o município é composto pelos distritos de Dom Corrêa, São Sebastião do Sacramento, Vilanova, Realeza, Ponte do Silva, São Pedro do Avaí, Palmeiras do Manhuaçu e Santo Amaro de Minas, com as vilas de Palmeirinhas, Vila Formosa e Bom Jesus de Realeza.

A freguesia de Manhuaçu foi criada em 1875 e instituída em 1878, enquanto o município foi criado em 5 de novembro de 1877. Sua sede inicialmente foi em São Simão (hoje Simonésia) e transferida para a Vila de São Lourenço em 1881 (Manhuaçu, 2017, n.p.).

Percebe-se o destaque do município de forma crescente ao longo do tempo, o que, sincronicamente, constituiu um benefício e também um desafio, considerando que todas essas dinâmicas provocaram um rápido desenvolvimento que, no caso, foi intensificado pela falta de planejamento urbano adequado, o que pode ser analisado a partir das questões entre o rio, a cidade e as relações intrínsecas, conforme

pontuado por Oliveira, Graça e Espindula (2019). Tal cenário ilustra-se a partir da Figura 5.

Figura 5 – Crescimento de Manhauçu entre os anos de 1985 e 2015



Fonte: Almeida e Trindade (2017 *apud* Oliveira; Graça; Espindula, 2019, p. 84 adaptado).

Essa Figura corrobora a ideia de Baptista e Cardoso (2013) nas análises gerais quanto ao papel dos corpos hídricos na expansão das malhas urbanas, indo de encontro com essa característica comum a muitas cidades. Pode-se perceber que a parte mais antiga e robusta da cidade se configura ao redor do rio Manhauçu. A partir disso, pode-se discutir sobre o papel desse recurso no desenvolvimento da cidade, situando as problemáticas que se perpetuam.

2.3.2 A questão hídrica manhuaçuense

Congruente com a fundamentação acerca do surgimento e expansão municipal de forma geral, busca-se agora analisar de forma específica e direcionada a presença do rio homônimo no cenário local.

Apesar de, assim como na etapa anterior, contemplar elementos históricos, optou-se por abordar a questão hídrica no presente trabalho em tópico próprio, tendo em vista a delimitação do presente trabalho. Ressalta-se que tais temáticas aqui foram apenas separadas didaticamente, aspirando otimizar a compreensão do

enfoque da pesquisa, porém na prática, as abordagens entre o histórico do rio e da respectiva cidade estão sempre interligadas, de forma direta e inseparável.

Previamente aos apontamentos no que tange ao assunto, busca-se situar o leitor diante do espaço. A Figura 6 ilustra a cidade em dois momentos, distanciados por um intervalo de 121 anos e, não somente demonstrando o crescimento da cidade ao longo do tempo, como ainda documentando a ocupação da cidade juntamente ao leito do rio, conforme as reflexões e marcações de Gomes (2019).

Figura 6 – Área de Manhuaçu nos anos de 1898 e 2019, respectivamente



Fonte: Casa de Cultura (2017, *apud* Gomes, 2019, p. 40) e Gomes (2019, p. 40).

A partir da comparação visual acima, pode-se verificar para uma mesma área aproximada, na qual Gomes (2019) apontou pontos relevantes da malha urbana e ruas próximas ao rio, as características ocupacionais, iniciando-se de forma paralela a este, uma vez que os declives menos acentuados nas áreas contíguas ao rio

foram mais propícios para o crescimento linear à época, bem como outras partes nas centralidades e menos íngremes, conquanto as regiões de maior declividade e mais afastadas das águas tiveram expansão acentuada em contextos posteriores. Complementa-se ainda que, antigamente:

Algumas edificações possuíam quintais que se estendiam até o rio Manhuaçu, entretanto, as margens e o leito maior, inundável em períodos de cheias, permaneciam livres de ocupações.

À medida em que a cidade se desenvolvia, a malha urbana assumiu uma trama levemente ortogonal, porém de maneira espontânea, dentro das limitações com relação à conformação geográfica do sítio urbano.

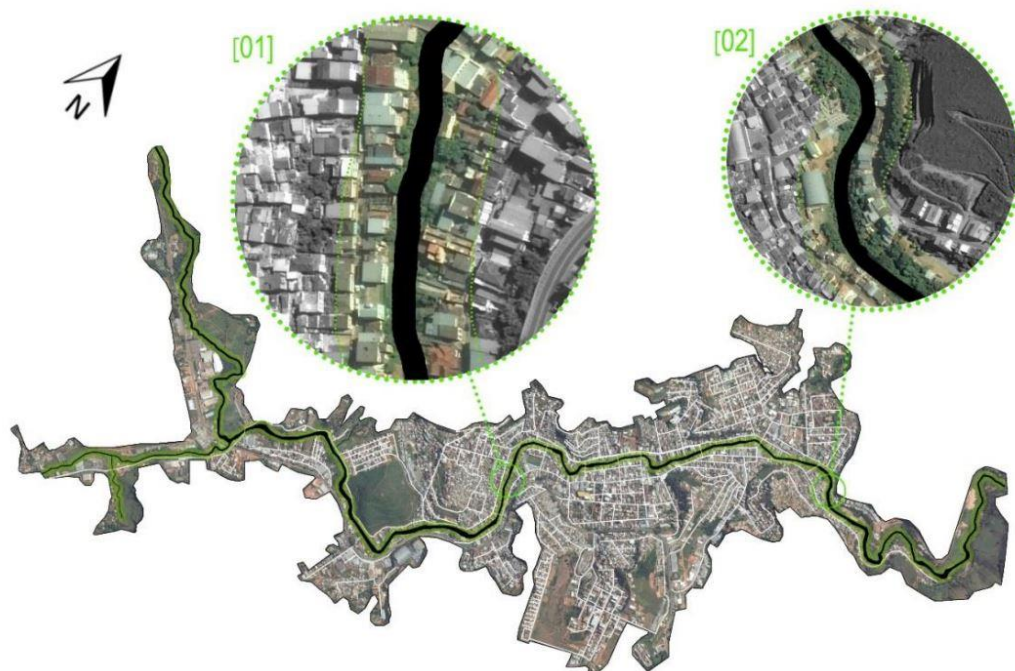
Após a ocupação na área central, a cidade se desenvolveu para as regiões mais distantes do curso d'água, com maior declividade, apresentando um novo traçado de caráter irregular, que se adaptou ao relevo ondulado e íngreme. (Gomes, 2019, p. 35-36).

A ocupação não planejada durante todos os momentos do desenvolvimento urbano ocasionara desafios que se perpetuam até o presente, tanto no tocante às formas de lidar com a água, quanto nas infraestruturas urbanas, com áreas mais adensadas, organizações pouco regulares, ruas estreitas, dentre outros fatores, que geram desafios cotidianos que extrapolam a parte das águas (Gomes, 2019).

O fato de muitas edificações possuírem o rio como áreas de “fundos”, somando-se as etapas subseqüentes da expansão urbana, ou seja, uma ocupação repleta de áreas construídas às margens, entre as ruas e o rio, constitui um desafio urbano capaz de exemplificar a mudança do papel do rio no cenário urbano, percebendo-se a alteração do desempenho na paisagem ao longo do tempo, de maneira semelhante à ocorrida em outras cidades brasileiras, na qual os rios auxiliaram o desenvolvimento, porém foram gravemente afetados por este, sofrendo com as conseqüências correlatas, com o desmatamento de matas ciliares, assoreamento, mudanças no leito, poluição e alterações na qualidade da água, dentre outras (Assad, 2013; Gomes, 2019).

Fortalecendo as considerações acima quanto à proximidade entre construções e rio, tem-se a Figura 7, na qual Oliveira, Graça e Espindula (2019) analisaram sobre o percurso da malha urbana ao longo do corpo hídrico em dois momentos: o primeiro destaque correspondendo a uma área mais antiga da cidade, desde o ano de 1985 e o segundo destaque, por sua vez, a uma área relativamente mais recente, acompanhando o mesmo modelo de ocupação.

Figura 7 – Destaque às edificações próximas à margem do Rio Manhuaçu



Fonte: Oliveira, Graça e Espíndula (2019, p. 85).

Interpretando-se acerca da imagem acima percebe-se a recorrência da ocupação próxima às águas, nos diferentes contextos, demonstrando os desafios e a gravidade da falta de planejamento adequado, principalmente ao considerar-se que, além das áreas historicamente já consolidadas e antigas, existem até mesmo as mais atuais, indo em desencontro até mesmo com o Código Florestal Brasileiro no que toca o estabelecimento das Áreas de Preservação Permanente (APP) de 30 metros medidos a partir da borda regular (como afastamentos mínimos) para esse tipo e dimensão de corpo hídrico (Brasil, 2012; Oliveira; Graça; Espíndula, 2019).

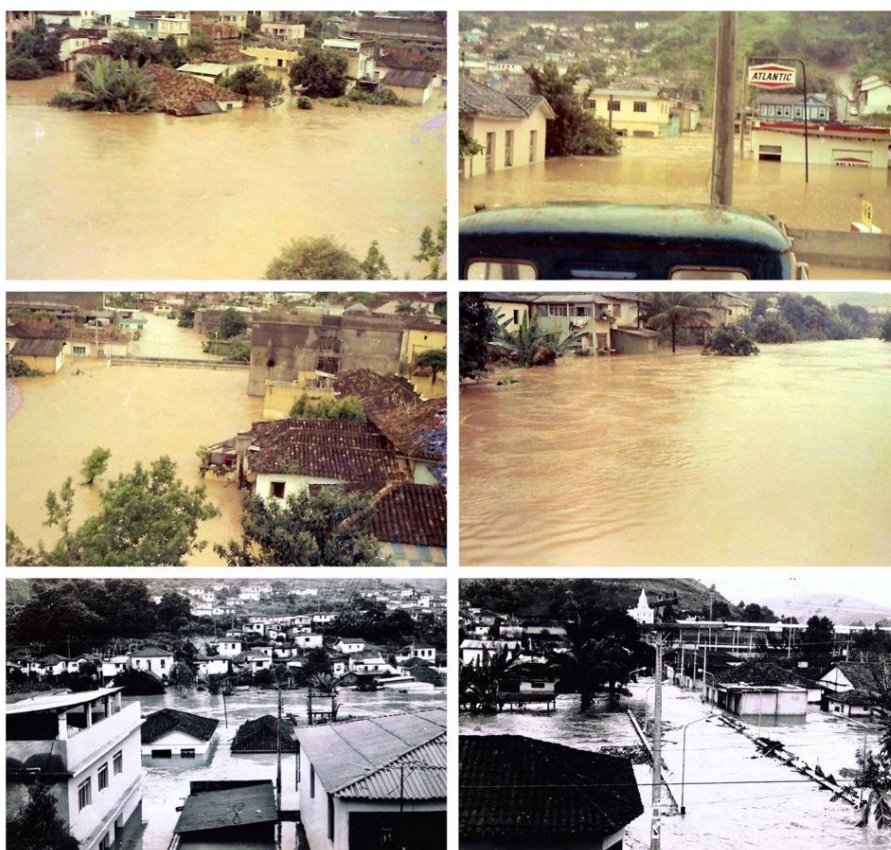
As circunstâncias através das quais as áreas próximas ao rio foram ocupadas constituem fator de risco, especialmente quando ocorrem precipitações de maior força. Isso gera naturalmente maior volume de água escoando no corpo hídrico, que se expande e, em contextos nas quais as várzeas estão ocupadas, intensifica-se, interferindo na vazão e conseqüentemente atingindo a população nos arredores (Carvalho; Espíndula; Moreira, 2021).

Em face do exposto, Carvalho e Espíndula (2020) trouxeram uma abordagem histórica sobre as enchentes ocorridas e no município, considerando-se as documentadas. Aponta-se que os anos das principais incidências desse tipo de desastre foram 1979, 1997, 2003, 2009 e 2020, provocadas em ocasiões de chuvas

intensas que promoveram rápido aumento dos níveis das águas e que muitas dessas inundações atingiram simultaneamente outras cidades e até mesmo estados.

Cruz (2024) ao discorrer acerca da enchente de 1979 supracitada, que completara 45 anos à época de tal documentação, destaca que tal ocorrência foi “[...] considerada uma das mais devastadoras da história da cidade, que ainda estava numa fase de crescimento às margens do rio Manhuaçu” (Cruz, 2024, s/p.). Tal desastre registra-se na Figura 8.

Figura 8 – Compilação de registros históricos da enchente de 1979 em Manhuaçu



Fonte: Ferreira; Mendes; Nogueira; Pinto (1979 *apud* Cruz, 2024, s/p.).

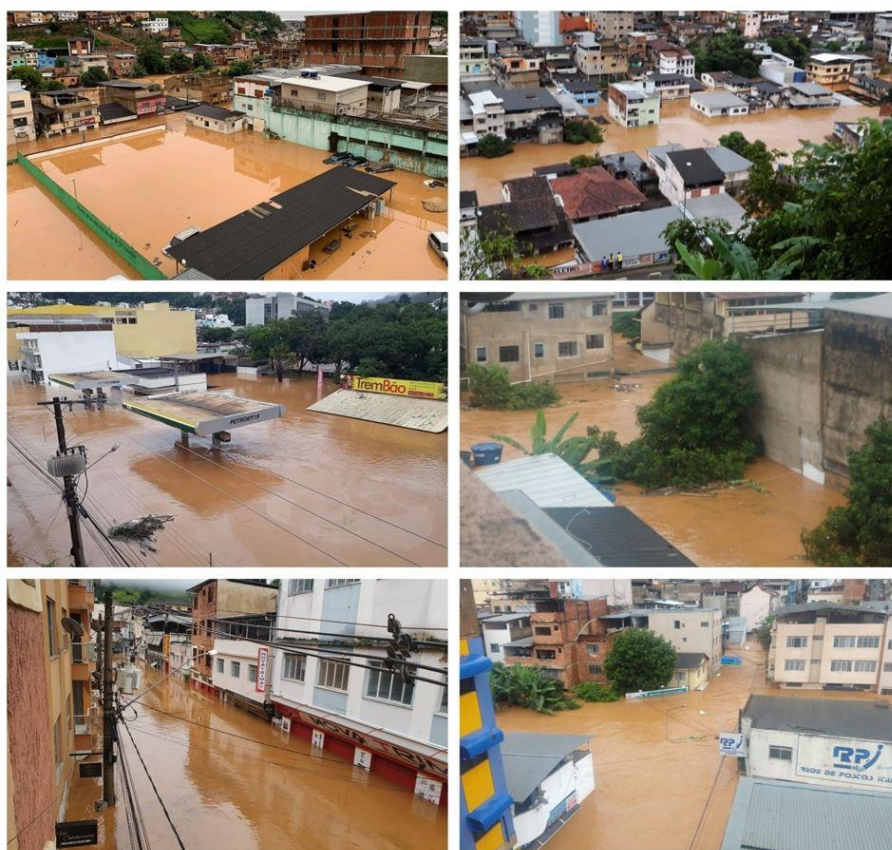
Nota: Ordem da autoria das fotografias não identificada (não respectivamente).

As fotografias da época demonstram a gravidade do incidente que, por ter correspondido ainda à primeira ocorrência de uma enchente nesse porte, trouxe ainda mais problemas para a cidade e a sociedade, que foi surpreendida pela situação sem os devidos preparativos, deixando um rastro de destruição (Ferreira, 2024 *apud* Cruz, 2024).

Em um contexto mais recente (sem abordar especificamente as outras ocorrências no intervalo temporal), no ano de 2020, Manhuaçu foi tomada por mais

uma grande enchente, que causou grandes estragos tanto urbanos quanto rurais, não sendo sequer possível cruzar a cidade, uma vez que o rio inundado impedia a travessia por qualquer uma das pontes, deixando muitas vias intransitáveis, residências e comércios afetados e outros problemas, vide compilação de fotografias na Figura 9 (Cruz, 2020).

Figura 9 – Compilação de registros da enchente de 2020 em Manhuaçu



Fonte: Cruz (2020, s/p.).

Comparando, ambos os contextos (Cruz, 2020; Cruz, 2024), percebe-se que, apesar do anseio do poder público e da população em solucionar tais problemas, considerando-se o modelo ocupacional local, não foi possível no intervalo de décadas entre ambas as tragédias comparadas, mitigar efetivamente as consequências, mesmo que não se pudesse evitar completamente as consequências das fortes e duradouras chuvas ocorridas.

A perpetuação das enchentes em determinados momentos da cidade demonstra a dificuldade em encontrar soluções para os referidos desafios, especialmente ao considerar-se que grande parte da referida malha urbana já está

consolidada e adensada às margens do rio, demandando a constante busca por soluções.

Posteriormente, a fim de informar a população e permitir maior previsibilidade, a Prefeitura de Manhuaçu (2023) instalou um sistema de monitoramento do respectivo rio, em tempo integral, demonstrando a busca pelo caráter preventivo por parte do poder público, que leva em conta os desafios hídricos e topográficos locais. A partir de tal ferramenta “[...] é possível acompanhar o nível dos rios a cada instante, com câmeras que mostram além do curso do rio, o nível do leito nas réguas de medição” (Manhuaçu, 2023b, s/p.).

Esse sistema de monitoramento embasa a ideia da constante busca por melhorias e atualizações, conjuntamente com o envolvimento dos diversos setores sociais, fortalecendo a busca por estratégias inteligentes para otimizar os desafios e estimulando a busca por adotar um desenvolvimento mais sustentável.

2.4 A NATUREZA COMO BASE PARA O URBANISMO RESILIENTE

Os elementos naturais são muito mais do que apenas parte da paisagem urbana, como pode-se perceber ao longo de todas as etapas do trabalho, são princípios que norteiam o desenvolvimento urbano e que podem facilitar ou dificultar a ocupação e a subsequente vivência neste. Portanto, é indispensável que ocorram estudos detalhados acerca desses ambientes.

Repetidas vezes a expansão das cidades visou “lutar” contra os elementos naturais e se sobrepôr a estes de forma invasiva, o que gera muitos dos problemas vistos. Porém, conforme indica a literatura científica referente ao urbanismo sustentável, o respeito e até mesmo a inclusão da natureza no crescimento urbano correspondem a estratégias muito mais benéficas e sustentavelmente adequadas, tanto de forma preventiva quanto de forma corretiva, especialmente considerando as mudanças climáticas e a forte demanda por mitigar os desafios ambientais presentes globalmente (Cousins, 2024).

A capacidade de enfrentar e de resistir de forma mais adequada aos referidos problemas consiste no cerne da ideia da resiliência urbana, que promove melhoria direta na qualidade de vida no meio urbano. Nessa temática, a resiliência pode ser conceituada a partir de múltiplos direcionamentos, seja como processo, no qual “resiliência urbana refere-se ao processo de resistência, recuperação e adaptação

dos sistemas urbanos” (Zhao *et al.*, 2022, p. 2, tradução nossa) ou como um “estado” da configuração, na qual se relaciona à capacidade inerente de determinado local diante dos processos (Zhao *et al.* 2022).

Ao interpretar diferentes tipos e escalas de cidades e de estratégias de resiliência urbana na China, Zhao *et al.* (2022) ainda perceberam que, naquele contexto, as cidades maiores tenderam a ser mais resilientes do que as pequenas, levando ao fortalecimento da ideia acerca das demandas de cidades menores.

Ultrapassando as fronteiras presentes no estudo acima, é enriquecedor compreender como o panorama global desponta quanto à resiliência, o que pode ser visto a partir do revisto por Cao *et al.* (2021), em análise realizada pelo *United Nations Development Programme* (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), versando sobre a evolução das teorias e práticas ao longo de uma década de destaque do tema.

Tal análise apresentada pelas Nações Unidas reforça a questão da resiliência nas cidades como um paradigma global, consistindo em uma prioridade diante dos vastos desastres enfrentados. Esse documento exemplifica a expansão do tema, mas aponta para a recorrente questão da desigualdade, demonstrando a concentração das iniciativas de resiliência urbana como mais presentes nas maiores cidades, enquanto muitas cidades de menor porte e menos populosas acabam ficando desamparadas, apesar de também enfrentarem desafios significativos, sendo identificada a demanda por estratégias capazes de atingir também esse tipo de localidade. Pode-se ilustrar a questão da falta de igualdade a partir da Figura 10, que ilustra a distribuição da aplicação no mundo, com destaque às cidades com população superior a um milhão de pessoas e às diferentes densidades na aplicação, onde presentes tais iniciativas (Cao *et al.*, 2021).

Figura 10 – Mapeamento de iniciativas de resiliência urbana em escala global



Fonte: Cao *et al.* (2021, p. 33, tradução nossa).

O presente mapa, para além do explanado, mostra que:

Geograficamente, a maioria das iniciativas tem como alvo cidades no Norte Global, especialmente nos Estados Unidos e na Europa. As iniciativas de resiliência também têm se concentrado no Leste Asiático e no Sudeste Asiático, bem como em alguns países do Leste da África (por exemplo, Quênia), do Sul da África (por exemplo, África do Sul) e do Oeste da África (por exemplo, Gana). Conforme destacado [...], a América Latina, o Oriente Médio e o Norte da África, a Ásia Central, o Leste Europeu e a maioria dos países da África Subsaariana não receberam apoio suficiente das principais iniciativas globais e regionais existentes para promover a resiliência urbana. (Cao *et al.*, 2021, p. 33, tradução nossa).

Ou seja, ainda existem etapas a serem percorridas para possibilitar maior abrangência dessas medidas, inclusive no Brasil, devendo-se buscar estratégias sustentáveis e eficazes capazes de otimizar o alcance dessa demanda.

Diante da identificação dessa problemática, retoma-se a questão da natureza e do ambiente construído, com as Soluções baseadas na Natureza (SbN) destacando-se diante do cenário nos quais o enfrentamento às adversidades é paradigma global, devido às possibilidades de promoção do desenvolvimento sustentável e resiliente, em todas as dimensões, contribuindo significativamente diante dos desafios climáticos, hídricos, e trazendo benefícios em não somente nas

esferas socioambientais, como também nos quesitos socioeconômicos (Adams; Frantzeskaki; Moglia, 2023; Cousins, 2024).

Dunlop *et al.* (2024) corroboram as análises supracitadas, verificando o estágio atual das SbN e traçando perspectivas futuras e propondo etapas, ressaltando os aspectos multidimensionais diante do enfrentamento das vulnerabilidades e do objetivo de melhorias na qualidade de vida, inclusive somando o aspecto de buscas pela preservação da biodiversidade. Destaca-se as indicações para continuidade e expansão de pesquisas científicas, bem como a importância do surgimento de projetos inovadores atrelados ao potencial da interdisciplinaridade, inerente ao assunto.

Exemplificando-se brevemente acerca das SbN, que se inspiram, se adequam e integram elementos e princípios naturais ao ambiente construído, trazendo os benefícios conhecidos, podem-se citar a bio-utilização, a biofilia, a biomimética, o biomorfismo, dentre outros, correlacionando a “vida” com a atuação (Butt; Dimitrijević, 2022; Assis *et al.*, 2024).

Considerando-se a interdisciplinaridade como ponto presente nas SbN, a Figura 11 apresenta algumas terminologias inter-relacionadas com esse tipo de ação, permitindo apreender sobre as dinâmicas que as permeiam.

Figura 11 – Temáticas e dinâmicas chave às SbN



Adaptado de: Sowińska-Świerkosz e García (apud Assis *et al.*, 2024, p. 11591).

Assis *et al.* (2024) concluíram, portanto, sobre o potencial de determinados tipos de SbN para otimizar a qualidade de vida, abordando a necessidade de que o tema seja difundido cientificamente e nas escalas da sociedade, como a partir de

políticas públicas, percebendo-se os cobenefícios presentes no contato entre elementos naturais e infraestruturais.

Herzog, Freitas e Wiedman (2022) descrevem o potencial dessas soluções ao lidar com a complexa questão hídrica, na qual a poluição e as mudanças climáticas ocasionam vários problemas de saneamento básico, ou seja, de saúde pública. Diante disso, expõe-se que, para além do caráter técnico positivo, o contato e permanência na natureza traz séries de benefícios para a saúde mental, conjuntamente. Nessa perspectiva, resume-se que:

SbN são inovações desenvolvidas para incluir a natureza nos mecanismos de resolução dos desafios contemporâneos inserindo componentes e sistemas que restabeleçam, conectem e mantenham processos naturais nas cidades e em outras paisagens. São inspiradas e mantidas pela própria natureza, apresentando custo-efetividade por serem multifuncionais, oferecendo inúmeros serviços ecossistêmicos ao recuperarem ecossistemas degradados e regenerarem funções essenciais para a manutenção e resiliência do sistema urbano. [...] SbN devem ser sempre promotoras da biodiversidade e centradas na proteção, restauração e manejo sustentável dos ecossistemas (Herzog; Freitas; Wiedman, 2022, p. 7).

O caráter que possibilita concomitantemente planejar quando remediar consiste em uma das características que embasa a proposição das SbN para contextos diversos, justificando o prosseguimento das pesquisas. A relação entre tal tipo de estratégia e a questão hídrica e do desenvolvimento sustentável também é reforçada pela perspectiva de Gomes Neto *et al.* (2020), que estabelecem considerações quanto às possibilidades para o Brasil, contribuindo para a gestão integrada e para os ecossistemas a partir de múltiplas alternativas.

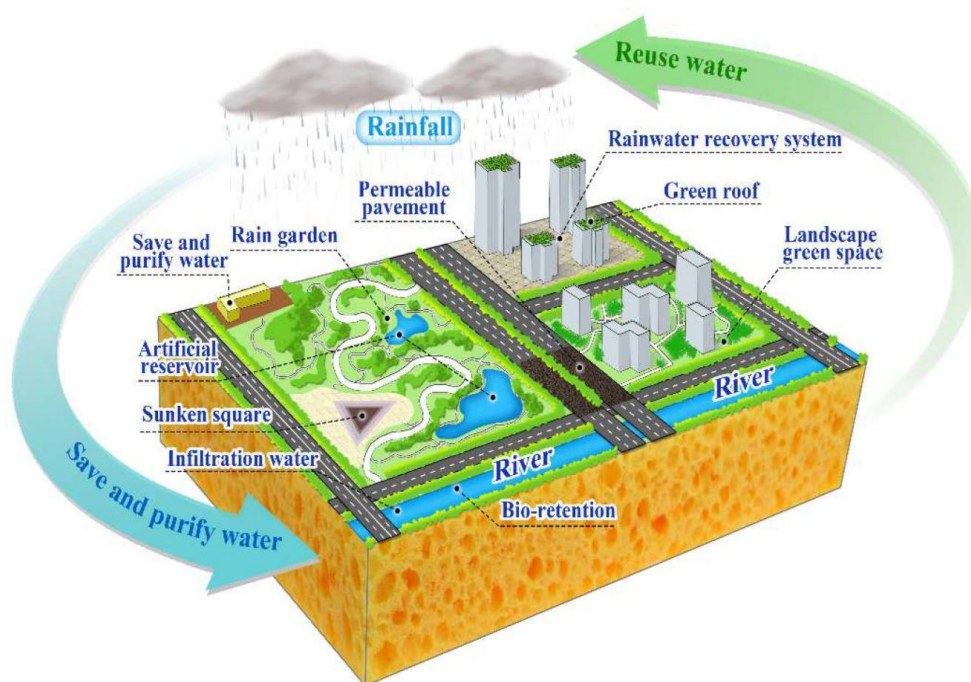
2.5 O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL A PARTIR DE CIDADES-ESPONJAS

Compreende-se que o papel da natureza nos espaços urbanos ultrapassa qualquer barreira e que é fundamental em todos os sentidos, seja como elemento visual e de pertencimento, como elemento estruturador da organização urbana ou qualquer outra função. Mesmo quando não privilegiada na conformação das infraestruturas, demonstra-se como extremamente relevante, porém, conforme constatado no subcapítulo anterior, é desejável, sustentável e inteligente que o meio

ambiente seja sempre tratado conjuntamente ao ambiente construído, como elemento e como princípio, garantindo a integração.

Como estratégia essencialmente sustentável e correspondente a um dos tipos de SbN, surge a ideia de Cidade-Esponja, diretamente inspirada na natureza, mais especificamente nas esponjas, conforme é ilustrado esquematicamente na Figura 12. Tal solução destaca-se nos contextos da China, onde é amplamente divulgada e objeto de consecutivas pesquisas científicas, podendo ser considerada um objetivo de destaque naquela nação, amplamente afetada com a expansão urbana extremamente acelerada, impermeabilizações de espaços e aumento expressivo nas áreas edificadas, gerando muitos dos desafios presentes em áreas urbanas com tais características, como inundações repentinas e poluição (Shi *et al.*, 2023).

Figura 12 – Representação esquemática de uma Cidade-Esponja



Fonte: Shi *et al.* (2023, p. 2).

Nessa imagem podem ser percebidos elementos aplicáveis que se destacam nesse tipo de urbanismo, que serão abordados mais detalhadamente no decorrer do presente trabalho, como também as características que conferem à cidade os efeitos de “esponja”, correlatas à maior possibilidade de infiltração e escoamento das águas em decorrência do aumento da permeabilidade, além da consideração de espaços capazes de reter as precipitações acumuladas, bem como o aumento de áreas

verdes. Tais fatores possibilitam, dentre as principais consequências, mitigação dos desafios urbanos, redução dos riscos de graves enchentes, melhoria na qualidade ambiental e da água e, em resumo, melhor qualidade de vida (Shi *et al.*, 2023).

Conceituando-se a ideia de “Cidade-Esponja”, pode-se considerar que corresponde a:

[...] uma estratégia para a gestão integrada da água urbana. Ela tem fundamentos científicos nas leis dos ciclos naturais e sociais da água e em seus processos associados. Seu objetivo é mitigar o alagamento urbano, controlar a poluição das águas urbanas, utilizar os recursos da água da chuva e restaurar a degradação ecológica das águas urbanas. Suas possíveis medidas, que incluem ações de engenharia (verde e cinza) e não-engenharia, respeitam os princípios de regulação ecológica natural do ciclo da água urbana, visando construir interações benéficas entre o sistema socioeconômico e o ciclo da água urbana, o que aumenta a resiliência das cidades diante de ambientes em mudança e desastres naturais (Wang *et al.*, 2018, p. 320, tradução nossa).

Destarte, destaca-se a interdisciplinaridade presente no tema, que deve envolver profissionais de várias áreas de formação, conforme analisado no conceito, em consonância com as demais partes interessadas, ou seja, envolvendo a participação popular, institucional, do poder público, do setor privado e demais atores, considerando-se a possibilidade de parcerias que visem o benefício social, econômico e ambiental comum (Wang *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2023).

Explicando-se pontualmente acerca das engenharias “verde” e “cinza” a qual Wang *et al.* (2018) se referem, correspondem respectivamente às ações vinculadas ao meio ambiente e às técnicas construtivas convencionais, que incluem os materiais acinzentados comuns no crescimento de malhas urbanas, a exemplo a cor dos concretos.

Tratando-se de uma temática relativamente recente e em evolução, em especial por buscar responder a necessidade global de sustentabilidade urbana, no auge das discussões nas décadas recentes, especialmente nos últimos doze anos, o histórico do assunto pode ser tratado de forma conjunta à evolução até a atualidade, ou seja, discorrendo sobre teoria e prática de forma simultânea, inclusive didaticamente, com base no revisito por Miranda *et al.* (2024) e nos percursos científicos no tema.

Na construção efetiva do conceito ao longo do tempo, destaca-se a atuação do arquiteto, urbanista e paisagista chinês Kongjian Yu, reconhecido e premiado em decorrência das cidades-esponja, com meta de promover sustentabilidade e melhorar os espaços e a vida da população, com vasta atuação nessas temáticas, diante das questões hídricas e climáticas intensificadas, aspirando promover resiliência urbana e adaptação (Yu, 2021; Florian, 2023).

A mérito de aplicações práticas e voltadas para a escala da cidade, Li *et al.* (2020) listam algumas das principais estratégias que, almejando tornar a visualização mais direta, apresentam-se no Quadro 2, retomando algumas das estratégias presentes anteriormente na Figura 12.

Quadro 2 – Resumo de principais elementos de Cidades-Esponja

Estratégia “Esponja”	Caracterização
Coberturas/telhados verdes	Uso, nas coberturas de edifícios, de elementos naturais como grama, plantas e vegetações (a escolha deve ser cuidadosa considerando características construtivas, das espécies escolhidas e questões técnicas), além disso aumentando a natureza na cidade e trazendo efeitos psicológicos positivos.
Pisos, pavimentos e calçamentos permeáveis	Diminuem a impermeabilidade urbana, possibilitando a infiltração da água no solo e, adiante nesse processo, recarregando as águas subterrâneas ou direcionando-se pelos sistemas de drenagem. Pode-se utilizar como alternativa à tipos de pisos convencionais nos mais diversos contextos.
Jardins de chuva	Recebem as águas provenientes das precipitações acumuladas nos arredores, atuando diretamente na filtração, uma vez que possuem camadas de areia e elementos técnicos que, ademais, não exigem muitas manutenções.
Wetlands (áreas alagáveis e/ou úmidas)	Espaços relacionados à otimização da qualidade hídrica, podendo ter características semelhantes a “piscinas” com elementos naturais, não somente diminuindo riscos de inundações nas demais áreas da cidade, como podendo proporcionar espaços de permanência, de lazer e de contemplação, a partir dos benefícios das relações entre ser humano e natureza.

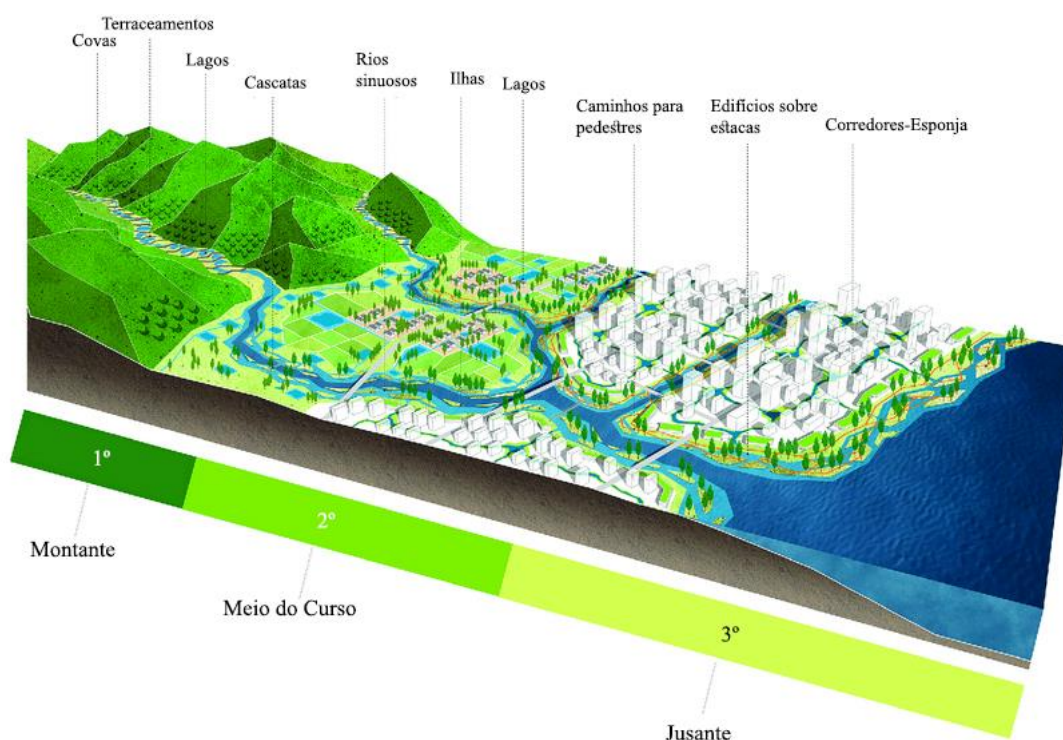
Fonte: Elaborado com base em Li *et al.* (2020, p. 2-3).

Acerca das estratégias supra, Stefano *et al.* (2024) resumem que, nos locais onde a aplicação já é consolidada, foram obtidos resultados animadores e positivos, comprovando os múltiplos benefícios ao ambiente, ressaltando a relevância das Cidades-Esponja no tocante à gestão urbana sustentável.

É válido ressaltar que a atuação nesse tipo de SbN não se limita somente a essas técnicas descritas, nem tão somente ao espaço urbano.

Superando os limites físicos dos espaços da cidade e considerando a natureza como chave para a aplicação, é desejável que a utilização dos elementos “esponja” leve em consideração as especificidades e incorpore a bacia hidrográfica de forma completa, conforme Figura 13. Isso promove o respeito às conformações dos corpos hídricos, promovendo maior retenção da água nas nascentes e fontes (vide montante), a redução do ritmo do escoamento e consequente redução dos impactos advindos das correntezas intensas (vide meio de curso), somando-se à parte da cidade e dos pontos onde o rio desagua, afetados positivamente (vide jusante), comprovando que todo o percurso da água é fundamental para o sucesso da aplicação (Peng *et al.*, 2022; Stefano *et al.*, 2024).

Figura 13 – Estratégias “Esponja” ao longo de toda a bacia hidrográfica



Adaptado de: Peng *et al.* (2022 p. 4, apud Stefano *et al.*, 2024, p. 4).

Ao apresentar a proposta de englobar toda a bacia hidrográfica desde a montante até a jusante, incluindo as demais etapas presentes entre ambas, Peng *et al.* (2022) apresentam uma abordagem disruptiva e que promove a integração

completa e multidimensional, levando em consideração que todos os fatores são inter-relacionados, sendo mais viável tratá-los assim, em detrimento de promover a continuidade de aplicações de estratégias convencionais com enfoque apenas no ambiente urbano e respectivas infraestruturas construídas.

Ressalta-se ainda a aplicabilidade no contexto estudado pelos referidos pesquisadores, que inclusive atuaram conjuntamente em artigos presentes na literatura científica, ao considerar os benefícios climáticos e ambientais quanto à resiliência urbana e na bacia como um todo, sugerem avanços em pesquisas e aplicações em outros contextos, podendo extrapolar fronteiras (Yu *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2022).

Ao explorar qualitativamente uma série de referências bibliográficas no que concerne à evolução da pesquisa em Cidades-Esponja e suas interseções com o ambiente construído, além de corroborar quanto ao potencial de resiliência urbana e da atualidade e construção do assunto, Miranda *et al.* (2024) verificaram uma série de evidências científicas a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que possibilitaram compreender tendências e a interdisciplinaridade do assunto, além de verificar que a literatura se perpetua teoricamente e praticamente, sendo tema ontologicamente em constante construção e evolução, objeto de inovadoras abordagens gerais e específicas.

Na Figura 14, pode-se perceber ilustrativamente a ampla gama de terminologias que se difundem no que tange Cidades-Esponja, a partir de agrupamentos conformados por cores (ou halos) obtidos a partir do software *Iramuteq* utilizado em análises textuais que, dentre os resultados, obteve-se a Análise de Similitude (AS). A partir disso, destacam-se os termos chave em cada halo também na hierarquia tipográfica, podendo-se discorrer quanto às conexões entre cada tema e maneiras através das quais ocorrem concomitantemente (Miranda *et al.*, 2024).

À vista disso, evidencia-se o potencial em proposições de trazer estratégias presentes no conceito de Cidade-Esponja para Manhuaçu, sendo indispensável que sincronamente analise-se as limitações. Deve-se, para tanto analisar as experiências globais e correlacionar quanto à especificidade local que, como percebeu-se, correspondem a aspectos desafiadores.

A efetiva aplicação das estratégias “esponja” pode ser percebida em várias localidades globais, com destaque à China, que possui o conceito como norteador, mas não se limitando. Incluem-se aí cidades como Nova York, Berlim, Roterdã (Holanda), Copenhague e outras (Médici e Macedo, 2020 *apud* Stefano *et al.*, 2024), como cidades nas quais técnicas do tipo estão presentes.

Os casos de aplicação demonstram as perspectivas e permitem compreender desafios e como foram (ou não) superados. Para tanto, a análise crítica e revisão de casos práticos se aprofundará na etapa de Discussões e Resultados, direcionando caminhos para atingir os objetivos (específicos e em sequência o geral) da presente Dissertação.

3 METODOLOGIA

A presente Dissertação possui caráter exploratório e abordagem qualitativa, bem como natureza básica, buscando expandir conhecimentos no tema e recortes, de forma atrelada ao preenchimento das lacunas (Gil, 2022).

Com a finalidade de alcançar o objetivo geral, possui delineamento com base no também proposto por Gil (2022), enquadrando-se como pesquisa bibliográfica/documental, à qual soma-se um caráter propositivo, tendo em vista que espera-se que as referências trazidas possam corroborar a ideia de promoção do desenvolvimento urbano sustentável em Manhuaçu a partir de integração interdisciplinar de estratégias consideradas “esponja”.

A pesquisa bibliográfica corresponde àquela realizada a partir de materiais elaborados e previamente publicados, considerando, por exemplo, artigos científicos e diversos outros materiais “[...] como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos” (Gil, 2022, p. 44), podendo englobar tanto impressos como disponíveis virtualmente. Esse tipo de pesquisa, em síntese, permite compreender as pesquisas desenvolvidas até então na literatura científica, embasando a atuação.

Já a pesquisa documental engloba uma gama de documentos ainda mais abrangente, considerando inclusive informações que não foram analisadas por avaliadores. Fontes de consultas utilizadas na etapa documental da pesquisa incluem “[...] documentos oficiais, arquivos públicos, imprensa e arquivos [...]” (Gil, 2022, p. 75), ou seja, abarcam reportagens de portais regionais, informações obtidas através da Prefeitura, registros fotográficos, históricos e institucionais, publicações oficiais, dentre outros, que permitem expandir os horizontes quanto aos assuntos abordados, evocando debates acerca de atualidade, existência ou ausência de políticas públicas, acompanhando as análises críticas.

Em síntese, as pesquisas bibliográfica e documental possuem determinadas semelhanças e diferenças, como pode ser percebido anteriormente. Porém, visando otimizar a compreensão, é enriquecedor salientar que:

[...] nas duas modalidades se utilizam dados já existentes. A principal diferença está na natureza das fontes. A pesquisa bibliográfica fundamenta-se em material elaborado por autores com o propósito específico de ser lido por públicos específicos. Já a pesquisa

documental vale-se de toda sorte de documentos, elaborados com finalidades diversas, tais como assentamento, autorização, comunicação etc. Mas há fontes que ora são consideradas bibliográficas, ora documentais. Por exemplo, relatos de pesquisas, relatórios e boletins e jornais de empresas, atos jurídicos, compilações estatísticas etc. Assim, recomenda-se que seja considerada fonte documental quando o material consultado é interno à organização, e fonte bibliográfica quando for obtido em bibliotecas ou bases de dados (Gil, 2022, p. 44).

Diante disso, a junção de ambas as etapas fortalece a pesquisa, somando às análises da evolução da literatura científica as informações e tendências trazidas a partir de fontes de ampla divulgação, conjuntamente com informações como as divulgadas por organizações. Esse tipo de trabalho justifica-se que, além de trazer uma fundamentação teórica e revisões de literatura, pode-se direcionar experiências para o local de estudo, auxiliando na identificação de potencialidades, limitações e na proposta de soluções.

Após a conceituação e explicação dos elementos integrantes do delineamento de pesquisa bibliográfica/documental considerado, é válido trazer considerações acerca da aplicação da Metodologia ao longo do trabalho, de forma gradual e mais direcionada a cada um dos processos integrantes.

No capítulo referente à Fundamentação Teórica, realizando-se revisões narrativas e ainda seguindo os preceitos de Gil (2022), foram realizadas pesquisas a partir das bases de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do *Google Scholar*, considerando a variedade de materiais nacionais e internacionais presentes em ambas, guiando-se pela necessidade de que essa busca inicial seja mais abrangente, separadamente ou conjuntamente, encontrando materiais englobem os principais “eixos temáticos” de tal etapa (em resumo nos tópicos abaixo), a partir da pesquisa de termos correlatos a:

- Relações entre cidades e rios ao longo do histórico da urbanização;
- Desafios hídricos e desastres ambientais;
- Cidade de Manhuaçu e o rio Manhuaçu, historicamente e na configuração urbana;
- Soluções baseadas na Natureza;
- O conceito de Cidade-Esponja.

Ressalta-se que os tópicos acima foram retomados aqui de forma didática para possibilitar visualizar e compreender a forma como as buscas foram conduzidas, mas ao longo do trabalho são tratados de formas mais detalhadas, considerando especificidades e correlações.

Ademais sobre a Fundamentação Teórica, foram realizadas também consultas a notícias e documentos históricos de Manhuaçu, tendo em vista a importância de análises específicas para cada contexto, não bastando somente as bibliografias anteriores.

Considerando-se que essa etapa teve, indispensavelmente, que abordar elementos históricos tanto para o panorama global quanto para a cidade de enfoque, e que as SbN e o conceito de Cidade-Esponja são temas relativamente recentes, não foi adotado um recorte temporal específico nas pesquisas supracitadas. A parte histórica já consolidada e não mutável, muitas vezes encontra-se em referências mais antigas, enquanto na parte das soluções e conceito, inevitavelmente obtiveram-se materiais recentes, retomando a ideia da construção do conhecimento.

Porém, para as etapas em sequência, as pesquisas passam a trazer características mais específicas e direcionadas, com enfoque para a aplicabilidade e experiências.

Quanto ao capítulo que englobará os Resultados e Discussões e respectivas análises, a proposta é que este seja dividido em diferentes “momentos”, incluindo primeiramente uma revisão da literatura sobre casos práticos de utilização de ideias “esponja” nas cidades, utilizando-se isso para os passos seguintes, para o caso do município de enfoque.

O início ao referido capítulo a partir da discussão de resultados em casos tende a atender diretamente ao primeiro objetivo específico (e encaminhar o alcance aos demais) do presente trabalho e, conforme descrito no final da Fundamentação sobre o conceito de Cidade-Esponja, complementam de forma robusta os desafios e benefícios. Essa análise crítica dos estudos de casos se justifica pelos apontamentos de Yin (2015), que descreve as características metodológicas desse tipo de trabalho, conjuntamente com pontos centrais e desafiadores.

A importância dos estudos de casos corresponde a objeto multidisciplinar, (presente em múltiplas situações e temas, inclusive nas engenharias, arquitetura e urbanismo, dentre outros), e se dá a partir “[...] do desejo de entender fenômenos sociais complexos. Em resumo, um estudo de caso permite que os investigadores

foquem em um “caso” e retenham uma perspectiva holística e do mundo real [...]” (Yin, 2015, p. 4). Portanto, para analisar criticamente uma série de trabalhos desse tipo pode nortear qualquer tipo de proposição, de forma embasada, uma vez que expande o arcabouço teórico e prático.

A fim de realizar a revisão da literatura científica sobre estudos de casos de Cidades-Esponja por todo o mundo, busca-se utilizar de forma adaptada o protocolo descrito por Page *et al.* (2021), denominado em inglês “*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*” (PRISMA 2020), que corresponde à versão atualizada do protocolo homônimo e auxiliando na seleção de materiais, na identificação de elementos integrantes da revisão e consequentemente permitindo embasar a seleção e a exclusão de artigos encontrados, considerando o escopo.

Para tanto, foi selecionada para essa parte de análise críticas de revisões a partir de pesquisa bibliográfica, a base de dados do Portal de Periódicos da CAPES, considerando-se as características como a reunião de materiais e bases nacionais e estrangeiras, e possibilitando adotar os critérios de seleção diversos. Outrossim, esse portal possibilita o acesso gratuito a conteúdos de diversas editoras científicas para acadêmicos e pesquisadores de instituições vinculadas, sendo que a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) é uma dessas, otimizando a busca, conduzida em agosto de 2025.

Nesse Portal de Periódicos, realizou-se a pesquisa através dos descritores “*Sponge City*” e “*Case Study*”, que correspondem aos termos “Cidade-Esponja” e “Estudo de Caso” em inglês, respectivamente, considerando que grande parte da literatura científica ocorre nesse idioma. Os descritores foram combinados através do termo booleano “*and*”, procurando dessa forma produções nas quais ambos são trabalhados conjuntamente, encontrando-se, preliminarmente, o total de 174 resultados (sendo 173 internacionais e 1 nacional). Para obter referências mais recentes e atualizadas, apesar de o tema ser intrinsecamente inovador, foi aplicado o recorte temporal dos últimos cinco anos, ou seja, entre os anos de 2020 e 2025, considerando o rápido desenvolvimento conceitual e a demanda por encontrar pesquisas e tendências vigentes, para além do que já foi validado repetidamente. Isso resultou em 110 materiais e demonstrando a predominância dos materiais produzidos nesta década. Aspirando avaliar artigos com dados mais robustos e ratificados por avaliadores, aplicou-se em sequência o filtro de materiais revisados por pares, trazendo 96 materiais, todos internacionais, sobre os quais utilizou-se

ainda o filtro de acesso aberto, para facilitar o acesso às referências, apontando para 69 resultados, todos em inglês, que são constituídos por sua vez de 67 artigos, 1 capítulo de livro e 1 revisão.

Tendo em vista o objetivo de avaliar casos práticos e técnicos, opta-se inicialmente por considerar os 67 artigos, os quais tem inicialmente os títulos e resumos lidos, ocorrendo a seleção com base no protocolo adaptado (Page *et al.*, 2021). Sendo inicialmente fichadas bibliografias sobre a aplicação do conceito em cidades reais, para situação espacial, e subseqüentemente realizados os fichamentos para as demais referências.

A partir disso, foram identificados três principais “eixos temáticos” dentre os artigos de estudo de caso encontrados:

- Pesquisas com foco específico em cidades na China (o que posteriormente constituiu um desafio metodológico, por grande parte dos procedimentos serem voltados para tal país);
- Pesquisas com foco específico em cidades ou regiões em outros países (encontrando adiante outra limitação, correspondente à ausência de estudos de casos brasileiros dentre os encontrados pelos critérios de busca);
- Pesquisas que não direcionam o estudo de forma específica para um local, focando em aspectos numéricos, estatísticos, simulações e em áreas como engenharia dos materiais, por exemplo.

Considerando tais grupos, enumeraram-se as publicações dentro do respectivo escopo para perceber numérica e proporcionalmente as características, permitindo a elaboração de gráfico. Todos os grupos foram validados pois, mesmo os casos que não citam espaços específicos podem trazer resultados gerais que servem como princípios norteadores gerais.

As análises e discussões iniciaram-se de forma geral, englobando todos os casos em conjunto para identificar palavras-chave, para posteriormente realizar as análises sobre cada grupo de artigo. Nessa etapa, foi utilizada a ferramenta digital *Voyant Tools* (2025) para identificar abordagens, para tanto, utilizando das seguintes funções, para as referidas situações:

- Termos: utilizado para analisar a totalidade dos *corpus* dos *abstracts* dos artigos (incluindo os de todos os eixos temáticos encontrados no procedimento adotado), percebendo-se numericamente a frequência (f) com as quais cada palavra aparece. Dentre tais palavras, selecionaram-se as vinte

mais frequentes para a elaboração posterior de um quadro descritivo capaz de auxiliar na identificação de aproximações e distanciamentos temáticos;

- Cirrus: correspondente a uma ferramenta de nuvem de palavras, destaca hierarquicamente cada termo de acordo com a frequência, ou seja, dando maior destaque em dimensão e posição para os mais frequentes, apresentando de forma visual as “chaves” do conteúdo. Tal ferramenta foi utilizada para analisar o *corpus* referentes a cada eixo temático separadamente;
- Links: ferramenta que também ilustra palavras principais, porém com abordagem mais integrada, construindo grafos e linhas que interligam e termos, que auxiliam na identificação de relações, auxiliando o estabelecimento de conexões conceituais e integrações, fortalecendo as questões qualitativas. Tal ferramenta, assim como o Cirrus, foi utilizada para analisar os *corpus* textuais de cada eixo de forma “isolada”.

Para realizar as análises textuais citadas acima, foram aglutinados em quatro documentos a parte os *corpus* citados, sendo um o que incluía concomitantemente os de todos os grupos e os demais contendo as informações exclusivas de cada eixo, sendo feito o *upload* de cada um deles em momentos distintos no *Voyant Tools* (2025) permitindo alcançar a meta.

Assim, pode-se trazer de forma textual e visual a presença de convergências e divergências não somente entre conteúdos de grupos distintos, como também em pesquisas dentro de um mesmo agrupamento, mas com diferenças metodológicas, locais, objetivas, dentre outras. Em síntese, sendo possível mapear de forma multifocal e interdisciplinar as ideias e articulações a partir do *Voyant Tools* (2025), contribuindo diretamente para a identificação de tendências quali-quantitativas e hierárquicas sobre terminologias integrantes da literatura científica.

Após a realização e adaptação da RSL, surge o foco documental, acompanhando a demanda de análises do cenário brasileiro. Nesse anseio e etapa, buscou-se identificar a perpetuação do conceito de “Cidade-Esponja” nas legislações, utilizando-se como auxílio para busca a ferramenta de inteligência artificial (IA) *ChatGPT*, cujo uso ocorreu de forma acompanhada e revisada.

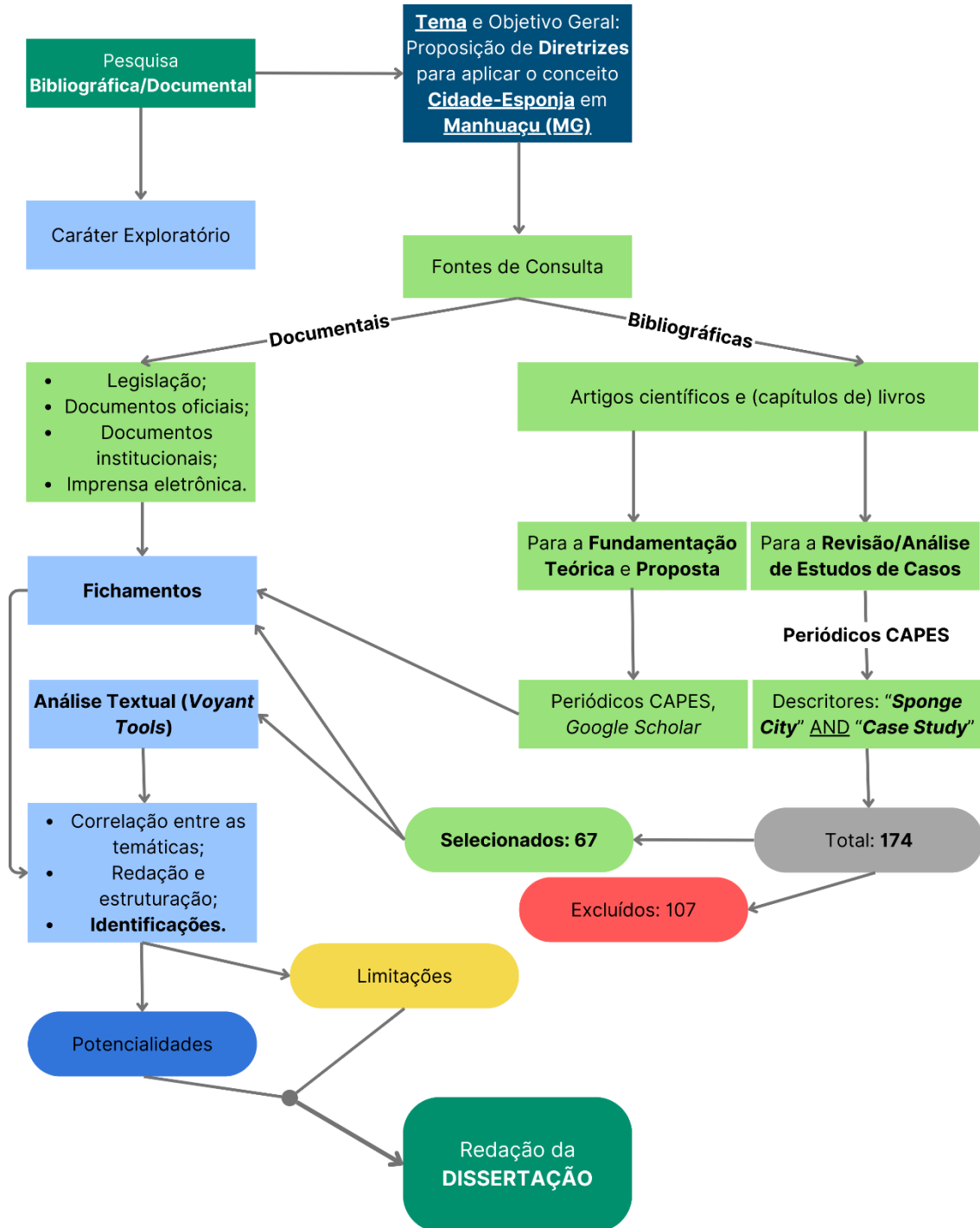
À referida IA foi dada a instrução para buscar na *web* Leis e Projetos de Leis no Brasil que incluem o conceito, indicando local, número e data. O resultado foi direto enumerando as legislações em vigor e em tramitação. Em seguida, houve o

acesso a cada uma das referências na sua fonte documental, ou seja, a partir da listagem de cidades e numerações, foram consultados diretamente os respectivos sites das Câmaras e Assembleias para confirmar/revisar a qualidade e eficiência dos resultados da busca e ler a íntegra dos materiais.

Posteriormente a todas as etapas supracitadas, a partir das experiências internacionais, técnicas e nacionais somadas, o foco retorna ao município de Manhuaçu, considerando as peculiaridades do conceito “esponja” em vários cenários, direcionando a proposição das Diretrizes teóricas voltadas ao lugar, atentando ao que é viável ou não e as diferentes escalas.

O procedimento metodológico trazido aqui, incluindo todas as etapas desde o início, pode ser representado graficamente a partir do Esquema 1.

Esquema 1 – Esquema de Metodologia e Delineamento adotados



Fonte: Autor (2025).

Sobre o Esquema acima cabe explicar acerca das cores e simbologias utilizadas. Os tons de verde referem-se a materiais bibliográficos e documentais, incluindo os pesquisados e os produzidos pelo presente trabalho, incluindo a Dissertação. Os tons de azul referem-se a definições e ações presentes ao longo do processo, bem como a identificação do potencial (enquanto o amarelo fica somente

para as limitações da pesquisa). O cinza refere-se somente ao total de artigos, que é dividido entre os selecionados (fazendo parte dos materiais utilizados) e excluídos (vermelho). Ademais, as informações presentes dentro de formas retangulares correspondem a etapas do processo, e as presentes dentro de formas arredondadas indicam caráter de “produtos”, ou seja, resultantes da pesquisa na base de dados e resultantes das análises críticas e propositivas, levando ao produto final objetivado.

Outrossim, ainda integrarão a etapa de resultados e discussões, documentos de fontes provenientes de organizações e de poder público, enriquecendo as análises e permitindo compreender os desdobramentos da difusão da ideia de Cidade-Esponja, inclusive em projetos de Lei e participação popular.

Em síntese, o delineamento a partir da pesquisa bibliográfica/documental permite compreender os estágios científicos e os processos correlatos ao conceito, no caráter teórico e prático, visando corroborar a proposta. A partir da convergência entre os eixos temáticos e da identificação das possibilidades e desafios para o contexto escolhido, pode-se perceber os “pontos centrais” desse tipo de estratégia diante do desenvolvimento urbano sustentável, possibilitando a proposta de Diretrizes para a Manhauçu, de forma direcionada, considerando as limitações da pesquisa e propondo adaptações necessárias para atender os demais objetivos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A mérito de Resultados e Discussões, apresenta-se uma revisão de casos globais de elementos “esponja”, com base nas adaptações do protocolo PRISMA 2020, bem como análises sobre Legislações e envolvimento dos diferentes atores e expansão da temática inclusive no contexto nacional, detalhamentos sobre Manhauçu e inter-relações entre os assuntos, convergindo e direcionando para a proposta das Diretrizes de mitigação dos desafios e implantações de estratégias de Cidades-Esponja.

4.1 REVISÃO DE CASOS CIENTÍFICOS SOBRE CIDADES-ESPONJA

As etapas do protocolo adotado para a revisão dos estudos de casos acerca das Cidades-Esponja permitem compreender o respectivo caráter multifuncional, demonstrando a relevância de formas de gestão integrada e cuidadosa no tocante ao espaço urbano e à questão hídrica.

Em um primeiro momento, visando expandir os horizontes e trazer uma compreensão de forma mais geral e ampla, foram tratados conjuntamente todos os artigos selecionados a partir do procedimento metodológico adotado (Page *et al.*, 2021). Mesmo considerando-se as variedades de escopo presentes nas pesquisas científicas trazidas, o entendimento inicial da escala “macro” possibilita a identificação de tendências, palavras-chave e relações que auxiliam a situar as ideias, bem como embasar e fortalecer as discussões subsequentes dos artigos com base nas áreas e/ou locais trabalhados.

Para tanto, após as leituras e interpretações críticas, direcionou-se para a identificação de terminologias e temáticas presentes, utilizando-se o *Voyant Tools* (2025) para analisar textualmente o documento no qual foram aglutinados os *abstracts* dos artigos selecionados, obtendo-se a listagem dos vinte termos que aparecem com mais frequência (f), conforme apresentado no Quadro 3, conjuntamente com análises sobre cada um de forma sucinta.

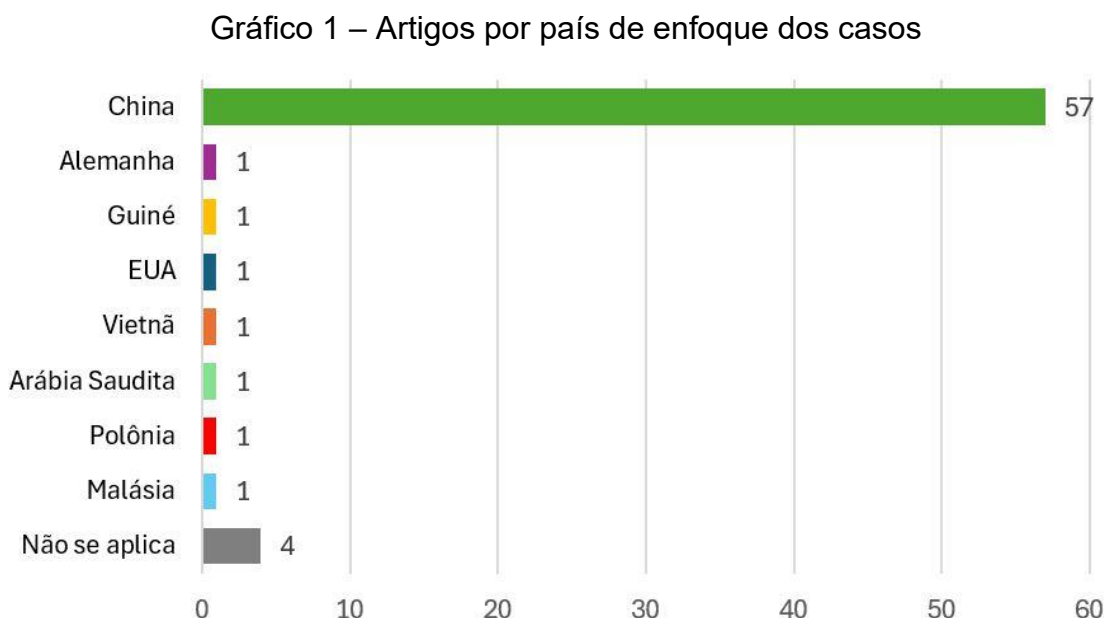
Quadro 3 – Termos mais frequentes nos *abstracts* de todos os artigos analisados

Nº - Termo/Tradução (f=frequência)	Análises e/ou descrições
1 – Sponge /Esponja (f=235)	Caracterização das cidades no conceito, corroborando as características da fundamentação.
2 – City /Cidade (f=230)	Espaços complexos, com desafios que tendem a ser mitigados a partir das estratégias “esponja”.
3 – Urban /Urbano (f=169)	Correlato às cidades. Porém, o conceito não se limita ao urbano, uma vez que pode ser aplicado em demais áreas, como toda a bacia hidrográfica.
4 – Study /Estudo (f=143)	Juntamente com <i>case</i> /caso, tipo de metodologia presente nos artigos científicos analisados.
5 – Water /Água (f=111)	Recurso indispensável para a vida e cidades, ponto central da atuação “esponja”. Muitos aspectos positivos, mas com desafios em certos contextos.
6 – Construction /Construção (f=85)	Relaciona-se às infraestruturas “cinzas” e “verdes”, integrantes do conceito e cuja construção deve buscar otimizar a gestão urbana e hídrica.
7 – Flood /Inundação (f=83)	Desafio presente em muitas regiões, especialmente em contextos de mudanças climáticas e falta de planejamento urbano adequado.
8 – Runoff /Escoamento superficial (f=82)	Fator que o conceito busca controlar, considera o volume de água da chuva (ainda) não infiltrada e relaciona-se diretamente com os riscos e vazões.
9 – Case /Caso (f=79)	Juntamente com <i>study</i> /estudo, tipo de metodologia presente nos artigos científicos analisados.
10 – Cities /Cidades (f=76)	Conforme descrição em <i>city</i> /cidade. Alguns estudos abordam mais de uma cidade comparativamente.
11 – Management /Gestão (f=75)	Relaciona-se à gestão integrada das áreas urbanas, os diferentes atores e a questão hídrica.
12 – Development /Desenvolvimento (f=72)	Referente aos processos, sejam os de expansão urbana ou os de busca de soluções.
13 – Design /Projeto (f=72)	Etapa do planejamento, buscando alcançar os objetivos de melhoria hídrica, ambiental e técnica.
14 – China /China (f=72)	País no qual as Cidades-Esponja se destacam, conforme evidenciado cientificamente.
15 – Rainfall /Precipitação (f=67)	Elemento natural, que pode trazer desafios se intensificadas e em ocupações desordenadas.
16 – Planning /Planejamento (f=66)	Busca por soluções a partir de etapas e processos estratégicos preventivos e corretivos, incluindo etapas conceituais, projetuais e práticas.
17 – Based /Baseado (f=65)	Correlato às decisões e atuações guiadas por técnicas e evidências. Ademais, o termo aparece por integrar as “ <i>Nature based Solutions</i> ”/Soluções baseadas na Natureza(SbN).
18 – Area /Área (f=65)	Local de intervenção, que pode extrapolar a fronteira das cidades e incluir a bacia, dentre outros.
19 – Model /Modelo (f=61)	Ferramentas computacionais, numéricas ou conceituais, permitindo simulações e adequações.
20 – Stormwater /Águas Pluviais (f=57)	Águas trazidas pela chuva, mas que podem causar desafios como descrito em <i>rainfall</i> /precipitação.

Fonte: Elaborado a partir de *Voyant Tools* (2025).

Complementando o Quadro supracitado, no qual reforça-se a interdisciplinaridade e a presença de descritores recorrentes, como os que integram o conceito e a atuação, é válido pontuar outros termos indispensáveis que, apesar de não estarem entre os vinte principais resultados da análise textual, demonstram-se como “chaves” para o conceito (*Voyant Tools*, 2025). Por exemplo, os termos *control/control* e *results/resultados* (f=55 e f=54, respectivamente), permitem discorrer sobre a efetividade das pesquisas e conclusões, assim como o termo *sustainable/sustentabilidade* (f=37) converge para o paradigma global do desenvolvimento, considerando-se os objetivos de prevenir e mitigar os desafios, correspondendo ao termo *resilience/resiliência* (f=36).

Ainda em análises “macro” e gerais, a partir da leitura das bibliografias, pode-se perceber os locais tratados nos estudos de casos selecionados, o que é ilustrado a partir do Gráfico 1. De antemão, percebe-se a predominância de referências que abarcam o contexto chinês, sabendo tratar-se do local de origem e de maior enfoque do tema. Percebe-se ademais a perpetuação gradual por diferentes países e continentes, mesmo que de forma menos intensa em comparação à China, o que demonstra o crescente interesse pelo tema e possíveis replicabilidades.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Periódicos CAPES (2025).

Cita-se a existência de estudos que abordam mais de um local, de forma comparativa e permitindo inferir sobre a importância desse tipo de análise, como

ocorre na pesquisa conceitual de Smith (2024), que relaciona os cenários da China e dos Estados Unidos da América, tratando sobre as possibilidades de colaboração e cooperação entre países e envolvendo os diferentes setores da sociedade. Acerca disso, é resumido pelo referido autor que:

Com base em um intercâmbio China-Estados Unidos sobre cidades-esponja como estudo de caso, o artigo explora como linguagem e comunicação, relações e cultura, desempenho das equipes e políticas, bem como tecnologia e extensão, se interseccionam na busca pelo desenvolvimento urbano sustentável. Por meio de uma análise autoetnográfica fundamentada em teorias pedagógicas e em experiências do mundo real, o estudo elucida temas centrais e estratégias para o sucesso da colaboração internacional [...] (Smith, 2024, p. 1, tradução nossa).

Nesse panorama, considerando que muitos artigos chineses servem como base para pesquisas e são adequados para outros panoramas, a presente RSL adaptada, visando otimizar a compreensão e ver as modificações e cenários, organiza as análises subsequentes de acordo com o país foco de cada estudo de caso. É vital destacar que, tanto no Gráfico 1 quanto a seguir, a organização por país se dá de acordo com o local descrito em cada pesquisa, e não obrigatoriamente de acordo com Universidades e vínculos acadêmicos dos autores que elaboraram os artigos ou dos periódicos nos quais foram publicados, considerando a existência das colaborações, intercâmbios e autores que pesquisam sobre contextos diversos à origem.

Outrossim, existem artigos que foram identificados graficamente como “não se aplica”, por serem estudos de casos que, no *corpus* textual não se direcionam a um país específico, possuindo por exemplo enfoques técnicos, numéricos e/ou estatísticos, em áreas como a eficiência dos materiais. Ou seja, no caso de tais artigos, o foco é nos métodos e tecnologias, e não em regiões específicas, portanto não destacando-se o local de publicação.

Em face do exposto, busca-se revisar primeiramente os artigos que trabalham sobre o território da China, maior número de pesquisas, para em seguida abarcar mais detalhadamente os trabalhos direcionados aos demais países e, por fim, os trabalhos com foco técnico, que também podem enriquecer as discussões e guiar possíveis aplicações futuras a partir dos resultados. A proposta justifica-se para auxiliar na identificação de tendências e características, bem como convergências e

divergências, o que tende a otimizar as ideias, sendo válido ressaltar que a organização utilizada ocorre apenas para atender a tal meta, mas existem bibliografias que tratam simultaneamente de mais de um assunto, por exemplo, artigos que pesquisam materiais em um local específico, ou seja, mesmo com os agrupamentos, muitas temáticas encontram-se correlacionadas.

4.1.1 Pesquisas com foco em contextos da China

Recorrentemente, pode-se perceber a China como o país mais citado no tocante às Cidades-Esponja, com a revisão corroborando a afirmação a partir das evidências científicas dentro do método adotado. O caso da China envolve a questão do rápido crescimento urbano, somando a enorme população do país e respectivas demandas com os avanços tecnológicos, ocasionando muitas cidades superpopulosas e povoadas, com grandes infraestruturas e altos impactos. Esses fatores, em conjunto com as intempéries e mudanças climáticas intensificaram os problemas hídricos nos locais, com muitas áreas construídas e impermeabilizadas, aumentando as enchentes tanto no número de ocorrências quanto em volume de águas, demandando mudanças na atuação (Qi *et al.*, 2021).

Diante dessa problemática e envolvendo gestores, arquitetos, engenheiros, poder público, dentre outros, foi proposto em 2013 pelo governo chinês o “*Sponge City Program*” (SCP), cujo nome em português pode ser traduzido para “Programa Cidade-Esponja”, o que demonstrou a urgência em lidar com o assunto naquele contexto, buscando lidar com a gestão das águas urbanas de forma mais equilibrada, sustentável e adequada e conseqüentemente reduzindo os riscos e aumentando a qualidade, tendo como base trinta “cidades piloto” escolhidas até 2016, considerando as inovações tecnológicas e objetivos (Yang *et al.*, 2020; Qi *et al.*, 2021).

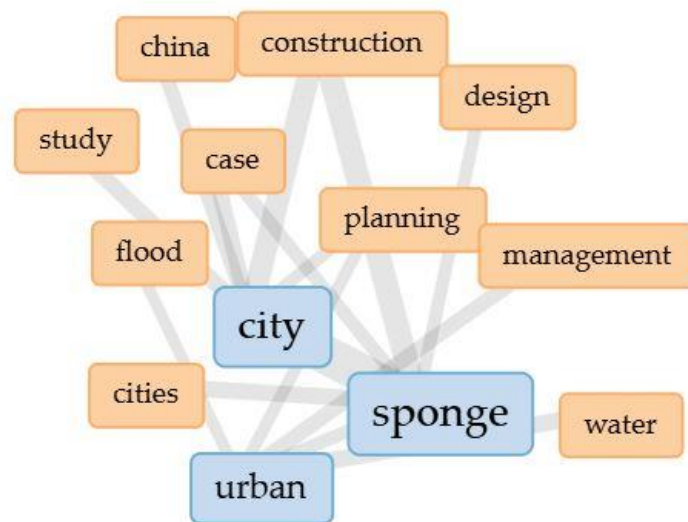
Procede-se, a partir disso, para a análise textual dos *corpus* dos *abstracts* com o auxílio do *Voyant Tools* (2025), considerando-se agora somente os referentes aos artigos que se direcionam especificamente ao referido país, auxiliando na interpretação dos cenários regionais e, simultaneamente, a direcionar os olhares para os produtos obtidos a partir da efetiva aplicação do SCP, que é temática recorrente. Os resultados em forma de “nuvem de palavras” ou Cirrus, apresentam graficamente (Figura 15) as palavras mais frequentes no documento analisado, com

desenvolvimento de baixo impacto, ou seja, que respeita o meio ambiente buscando evitar mudanças drásticas e intensas (Li *et al.*, 2024; Lin *et al.*, 2024).

Nesse contexto, os autores supracitados apontaram melhorias efetivas, com Li *et al.* (2024) destacando otimização no escoamento e armazenamento hídrico e sugerindo aprofundamentos na temática, enquanto Lin *et al.* (2024), apesar de também demonstrarem melhorias no escoamento em situações convencionais, apontaram que casos de intempéries de maior magnitude correspondem a um complicador para a atuação, especialmente no caso de precipitações intensas em curtos períodos.

Enriquecendo a discussão, é apresentado a seguir, na Figura 16, a imagem correspondente aos Links gerado a partir da análise textual dos mesmos textos no *Voyant Tools* (2025). Tal recurso se relaciona à coocorrência entre termos presentes, ou seja, mostrando as relações ocorridas entre as palavras, auxiliando na identificação de associações, caracterizações, agrupamentos e possíveis conexões conceituais ou práticas.

Figura 16 – Link: Artigos com foco na China



Fonte: *Voyant Tools* (2025).

Conforme esperado, percebe-se para além da centralidade do conceito de *Sponge City*, o destaque gráfico ao “urbano”, que se inter-relaciona com termos-chave em diversos artigos, mesmo considerando as possibilidades de abordar outros contextos para além deste.

Percebe-se a conexão direta entre os termos “*sponge*” (esponja) e “*water*” (água), que se dá em decorrência do papel deste primeiro enquanto elemento da natureza e parte integrante das SbN. Yao e Bell (2022) abordam essa relação presente de forma multidisciplinar e multisetorial, investigando acerca dos conhecimentos tácitos que integram a gestão hídrica, listando como limitações algumas dificuldades de colaborações e faltas de formas adequadas de comunicação eficiente e, buscando solucionar tais questões, recorrem a metodologias que buscam difundir as trocas entre os envolvidos, considerando os saberes mútuos e direcionando horizontes para pesquisas futuras e, sobretudo, sustentando a indispensabilidade da integração entre planejamento urbano, engenharias, políticas públicas e população.

As palavras “*planning*” (planejamento) e “*construction*” (construção) se interligam dentro da área do urbanismo, integrando etapas de um mesmo processo que, dentro das SbN, é desejável para a promoção de cidades resilientes no tocante à relação com os respectivos corpos hídricos e águas pluviais. Nesse contexto, Chen *et al.* (2021) revisitam as abordagens chinesas para o planejamento, trazendo análises críticas sobre os novos paradigmas, apontando para além dos elementos integrantes, os elementos a serem mais explorados, considerando que:

Os elementos ausentes incluem a avaliação da capacidade necessária de armazenamento de água tanto para a proteção contra inundações pluviais quanto para a mitigação de secas, a gestão das águas subterrâneas, a busca por valores agregados decorrentes de soluções baseadas na natureza azul-verdes e o envolvimento de atores locais e de especialistas de disciplinas correlatas no processo de planejamento (Chen *et al.*, 2021, p. 15, tradução nossa).

Tais considerações de Chen *et al.* (2021) agregam às análises conceituais e práticas trazidas até aqui, incluindo a cor “azul” que se remete à água nas conceituações de infraestruturas “verdes”. Para além dessa observação, percebe-se ainda que as características das esponjas na absorção e armazenamento de água possui potencial multifocal: além de reduzir riscos de inundações, pode favorecer no cenário oposto, utilizando os recursos hídricos armazenados para otimizar a qualidade de vida em contextos no qual a disponibilidade de água é um limitador, que deve idealmente ser mais explorado, podendo assim beneficiar também locais e momentos com falta de águas/chuvas.

Enquanto soluções de baixo impacto para o desenvolvimento, Huang *et al.* (2020) tratam sobre as mudanças progressivas e graduais de modelos de drenagem urbana, descrevendo que, por sua vez, esse conceito de “desenvolvimento de baixo impacto” começou em países europeus e norte-americanos antes de ser paradigma específico na China. Adiante, tecnologias do tipo foram adaptadas para compor os elementos presentes na construção de Cidades-Esponja, citando como exemplos as formas de drenagem natural e muitos dos elementos descritos anteriormente (a partir de outras bibliografias) no Quadro 2 da presente Dissertação.

A vastidão de possibilidades e cenários para aplicação das estratégias trazidas para planejamento, construção e gestão sustentáveis incentiva à meta de superação dos desafios e perpetuação de pesquisas, conectando os atores relacionados, o que é sugerido em muitos artigos, tanto para a China quanto para outros países (Huang *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2021).

4.1.2 Pesquisas com foco em outros países

O menor número de artigos proporcionalmente produzidos em outros países (além da China) permite obter constatações múltiplas. Enquanto percebe-se o referido país em destaque no que se concerne às Cidades-Esponja e até mesmo em outras temáticas, levando em consideração o fato de que a China é um país com metas e investimentos no desenvolvimento de tecnologias inovadoras e pesquisa científicas, com isso apresentando-se com alta quantidade de publicações, aponta-se também as indicações de pesquisas em outras regiões.

Com isso, mesmo que com menor intensidade, a presença de artigos com enfoque em demais países, em variados continentes, auxilia a compreender a importância da difusão do assunto, que vai de encontro com as necessidades e objetivos de maior sustentabilidade em todo o planeta. Os casos presentes nessas localizações diversas direcionam horizontes para questões como adaptabilidade do conceito, replicabilidade ou não de elementos, trocas científicas concomitantemente às potencialidades e limitações para cada local, considerando a necessidade de atentar-se para as especificidades de cada cenário e os fatores e configurações sociais, econômicos, ambientais e institucionais. Visando compreender as questões correlatas às estratégias “esponja” em tais cenários, a Figura 17 apresenta o Cirrus obtido a partir da análise dos *corpus* textuais dos artigos dos outros países no

Voyant Tools (2025), apontando para convergências, divergências e comparações práticas, teóricas e metodológicas com o que já foi estudado até então.

Figura 17 – Cirrus: Artigos com foco em outros países



Fonte: Voyant Tools (2025).

Hierarquicamente, percebe-se o destaque do termo “urban” (urbano) no escopo desses artigos internacionais, inclusive em comparação com as palavras que nomeiam o conceito. Essa centralidade se dá juntamente ao planejamento e a questão da gestão hídrica.

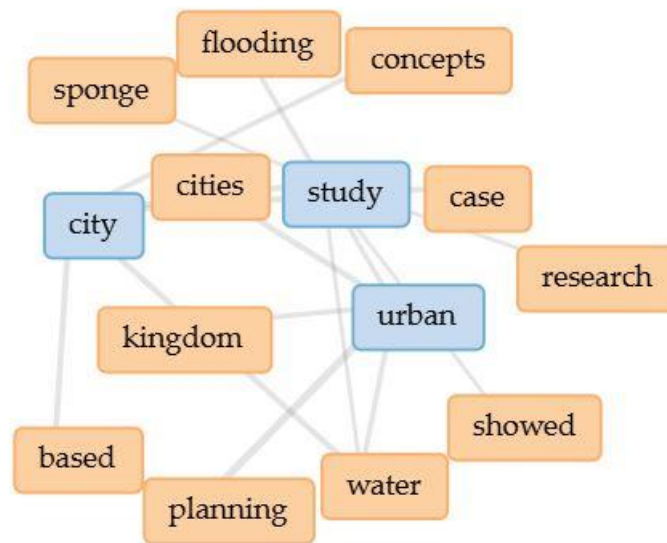
O escoamento superficial (*runoff*) também se destaca como tema-chave, tendo em vista a ampla relação com a adaptação (*adaptation*) diante das mudanças climáticas (*climate*) e da questão das águas da chuva (*rainwater*), tratando-se de um fator correlato às impermeabilizações e aumento das áreas edificadas que traz fortes impactos em momentos de intempéries extremas, sendo objeto de pesquisas em muitos âmbitos (Bah *et al.*, 2023; Warzecha; Dudek-Klimiuk, 2023).

Acerca da questão climática (*climate*), é válido dar destaque específico tendo em vista, não só o paradigma global, como a retomada das múltiplas possibilidades a partir das SbN como as Cidades-Esponja, com a utilização em cenários extremos de ambos os tipos, desde a momentos de intensificação de ondas de calor, chuvas intensas com inundações e questões de secas, em síntese, não se limitando a um

único tipo de meteorologia ou posição geográfica (Koster *et al.*, 2021; Aldlbahi, 2024).

Marcando-se as possibilidades múltiplas, a Figura 18 apresenta os Links referente ao conjunto de pesquisas da etapa, relacionando as palavras em destaque e permitindo discorrer sobre as ocorrências simultâneas em pesquisas (Voyant Tools, 2025).

Figura 18 – Link: Artigos com foco em outros países



Fonte: Voyant Tools (2025).

Ultrapassando as semelhanças perceptíveis entre os termos centrais entre as Figuras 17 e 18, nota-se a presença de termos conceituais (*concepts*) e organizacionais diretamente ao planejamento urbano e à questão hídrica. A partir da leitura dos artigos, foi percebido também a um termo que é considerado um *outlier*, ou seja, semelhante a um “ponto fora da curva”, que no caso corresponde ao termo “*kingdom*” (reino) que, ligado à questão urbana, aparece no artigo referente ao caso da Arábia Saudita (*Kingdom of Saudi Arabia*) se referindo ao local do estudo que aparece repetidas vezes no manuscrito de Aldlbahi (2024), participando da nomeação do local, e não diretamente sendo usado para descrever ações “esponja”.

No que se concerne a pontos em comum, a revisão dos artigos permitiu identificar também temáticas potenciais como a questão do armazenamento descentralizado da água, que pode promover melhorias na qualidade hídrica e de vida para a população e para atividades necessárias como por exemplo irrigação,

considerando as possibilidades de infiltração, armazenamento e purificação da água com as tecnologias inspiradas nas esponjas (Koster *et al.*, 2021; Scheiber *et al.*, 2023).

Corresponde a outra característica e potencial no assunto as possibilidades de aplicação graduais em regiões de variados portes e históricos, inclusive áreas já consolidadas e existentes (Koster *et al.*, 2021; Scheiber *et al.*, 2023; Warzecha; Dudek-Klimiuk, 2023).

Considerando-se o número de artigos e a demanda de apresentar perspectivas diversas a fim de fundamentar propostas e, ademais, conhecer o que foi ou não adaptado para realidades distintas, busca-se adiante analisar características referentes a cada estudo de caso, sucintamente.

No caso da Alemanha, extrapolando as características analisadas anteriormente, Koster *et al.* (2021) apontam para a importância de abordagens disruptivas no que se refere à inovação tecnológica, adotando um procedimento metodológico que envolve estudo de viabilidade, realizado em edificação acadêmica da Universidade Leibniz de Hannover, e em seguida a etapa de coleta de águas pluviais e investigações técnicas correlatas que possibilitaram a redação de considerações embasadas para descrever a implantação, destacando a relevância das técnicas de SbN esponjas e oportunidades de instalação e aplicação para tratar e armazenar água, com objetivos reais de irrigação no campus.

No caso da pesquisa desenvolvida sobre a Guiné, também se percebem atuações direcionadas para a identificação de viabilidades, por sua vez tendo como temática chave a questão recorrente das inundações, que assolam o país, assim como outros do mundo, considerando as técnicas do conceito de Cidade-Esponja na área de alternativas de baixo impacto ambiental e espacial. Para tal intuito, Bah *et al.* (2023) utilizaram metodologia de coleta de dados que guiaram para a modelagem computacional a partir do modelo “*Storm Water Management Model*” (SWMM/SMMM5 no caso desta pesquisa), que possibilitou a simulação dos resultados das medidas e impactos no tocante ao escoamento, considerando as características presentes na drenagem do local e aspectos infraestruturais. Outro aspecto significativo foi o fato de trabalharem com as técnicas de baixo impacto (*Low Impact Development* - LID) tanto de forma isolada quanto de forma combinada, o que permite obter uma visão ampla e direta, sobre a qual concluiu-se que:

O estudo evidenciou que todas as técnicas de LID, quando utilizadas isoladamente ou em combinação, são capazes de reduzir o escoamento e os alagamentos. Contudo, no que diz respeito à redução do escoamento e das inundações, as combinações de LID apresentam desempenho superior às implementações individuais (Bah *et al.*, 2023, p. 901, tradução nossa).

Isso comprova as possibilidades de aplicação gradual pois, mesmo que idealmente obtenham-se resultados melhores de forma completa e combinada, a aplicação adaptada ou parcial de alguns elementos já traz contribuições. Esse tipo de potencial, além de percebido nesse estudo de caso na Guiné, também é ressaltado no caso do Vietnã (Bah *et al.*, 2023; Scheiber *et al.*, 2023).

No estudo de caso vietnamita de Scheiber *et al.* (2023), o enfoque se dá à grande metrópole local de Ho Chi Minh City, onde os desafios presentes no rápido crescimento urbano e na questão das mudanças climáticas demandam medidas mitigadoras. Tais autores ainda destacam a importância da participação cuidadosa dos atores nas tomadas de decisão, que devem considerar a localidade, indicando a aplicação de medidas nas escalas “micro” e pequenas, mesmo que em áreas menores de residenciais ou bairros pode otimizar a atuação, até o caso em maiores escalas, permitindo inferir novamente sobre a multifuncionalidade das Cidades-Esponja.

Scheiber *et al.* (2023), com atuação metodológica que envolveu modelagem hidro numérica complexa e comparações entre cenários (desde casos sem técnicas contra inundações, casos com medidas de pequeno porte, casos com medidas de grande porte a combinações entre estratégias dos diferentes portes), obtiveram resultados que corroboram a importância das infraestruturas “esponja”, destacando que as infraestruturas “verdes” e “azuis” (de menores impactos) e as grandes obras (de maior impacto) são complementares.

A partir do caso da Arábia Saudita, pode-se retomar enfaticamente a importância do planejamento urbano no alcance da sustentabilidade. Para obter ideias e soluções para o contexto assolado por temperaturas de calor extremo e ainda inundações inesperadas geradas por precipitações exageradas e atípicas, Aldlbahi (2024), estudou e analisou criticamente cinco casos globais, trazendo comparações entre ferramentas, técnicas e formas de planejamento, avaliando e apontando séries de estratégias e as respectivas limitações, potencialidades, dentre as quais figuram as Cidades-Esponja.

O continente europeu também tem enfrentado extremos climáticos, demandando estratégias capazes de atuar nas conformações históricas já existentes, correlacionando as características infraestruturais, como é o caso da cidade média de Sandomierz, na Polônia, estudada por Warzecha e Dudek-Klimiuk (2023).

Para tanto, modelaram-se indicadores hídricos e espaciais com o auxílio do *software* “SCALGO Live Poland”, em cinco áreas da cidade, incluindo respectivamente um parque, residencial multifamiliar, quarteirão e ruas e dois pontos de serviços (a prefeitura e um hospital), permitindo compreender de forma quali-quantitativa os efeitos em diferentes áreas da soma das infraestruturas “verdes” e “azuis” (Warzecha; Dudek-Klimiuk, 2023).

Afora, resumem-se os seguintes resultados:

Nos casos analisados, foi obtida uma melhoria (redução) no volume de escoamento superficial de até 8,69%. Simultaneamente, a infiltração aumentou em 19,61%, calculada sobre toda a área de escoamento. A implementação de soluções baseadas nesses resultados, na forma de disposições adequadas de planejamento, pode elevar a qualidade do meio ambiente (por exemplo, melhoria da infiltração da água) e da vida urbana (por exemplo, resfriamento do ar mais eficaz durante noites quentes) (Warzecha; Dudek-Klimiuk, 2023 p. 267, tradução nossa).

Assim, destaca-se o potencial do conceito no controle dos impactos hídricos no ambiente urbano. A questão da permeabilidade é ponto central no estudo de Rostam *et al.* (2024), direcionado à Malásia, no qual percebe-se um diferente escopo, com um pequeno “afastamento” da área do planejamento urbano, sendo um artigo mais voltado à engenharia dos materiais, porém de forma aplicada a um cenário especificado, onde são identificadas vulnerabilidades em decorrência das intempéries associadas a desafios nos sistemas urbanos de drenagem, com riscos de enchentes repentinas.

Visando solucionar ou mitigar tais questões na Malásia, a partir de uma metodologia técnica e experimental acerca do concreto permeável como material para pavimentações, destacam-se as características construtivas e vantagens no aumento da permeabilidade, conforme sugerido. Porém, apresenta-se também o desafio da resistência do material, que dificulta o uso em áreas de alto fluxo como rodovias e estradas com movimento intenso de carros e veículos pesados. Porém,

considerando-se os benefícios da aplicação para a diminuição dos impactos do escoamento superficial em casos de chuvas intensas e as possibilidades de aplicação parcial, ressalta-se o potencial do tipo de pavimento instalado com avaliações técnicas e nos locais indicados, mesmo que não substituam totalmente as áreas asfaltadas impermeáveis, sendo sugerida a utilização em calçadas, áreas de estacionamento e determinadas ruas (Rostam *et al.*, 2024).

A análise crítica das publicações bibliográficas distintas da China, até aqui, permitiu compreender e corroborar a ideia da diversidade de aplicações, dos usos parciais e graduais e da importância do envolvimento dos setores dos poderes e sociais. As revisões de países e autorias distintas otimiza o debate e a identificação dessas características centrais, realizando aproximações e distanciamentos que auxiliam no traçado de propostas de ação.

Para exemplificar acerca da importância dos assuntos descritos no parágrafo anterior, pode-se retomar a pesquisa de Smith (2024), que fortalece essa questão das trocas internacionais a fim da colaboração na construção do conceito e enriquecimento presente nas junções entre teorias e práticas interdisciplinares.

Smith (2024) conclui acerca da conexão direta e indispensável entre as Cidades-Esponja e o desenvolvimento sustentável, com visão ampla e global, tensionando temáticas epistemológicas e socioculturais, sendo uma obra com aspectos mais teóricos e pedagógicos, o que auxilia nas argumentações e justifica esse tipo de análise multifocal.

Considerando os heterogêneos escopos identificados nos artigos desses países, visando trazer uma abordagem mais direcionada e resumida sobre o conteúdo presente em cada um, o Quadro 4 lista algumas das principais considerações, incluindo os países de referência dos casos estudados, sínteses e/ou pontos principais presentes no procedimento metodológico e as principais contribuições analisadas, contribuindo para o embasamento e direcionamento de ideias da presente Dissertação e como “guia” para a realização de ajustes estratégicos graduais.

Quadro 4 – Resumo das abordagens, metodologias e descrições dos artigos sobre demais países

País Estudo de Caso	Abordagem Metodológica	Descrição
Alemanha (Koster <i>et al.</i> , 2021)	Estudo de viabilidade, investigações e análises técnicas, considerações concretas para implantação.	Objeto do estudo: tratamento descentralizado, captação e aproveitamento de águas pluviais, área do campus universitário. Contribuições gerais: aborda as Cidades-Esponja para balancear extremos de inundação e seca, amplia o conceito ao incluir a questão de segurança hídrica.
Guiné (Bah <i>et al.</i> , 2023)	Coleta de dados e simulações/parametrizações, modelagem hidrológica SWMM, uso das estratégias de baixo impacto tanto isoladas como combinadas.	Objeto de estudo: mitigação de enchentes com estratégias LID, redução do escoamento. Contribuições gerais: LID funcionam melhor combinadas, demonstra a eficácia do conceito de Cidade-Esponja como alternativa sustentável.
EUA - China (Smith, 2024)	Análise autoetnográfica e intercâmbios acadêmicos.	Objeto de estudo: cooperações e trocas de experiências internacionais. Contribuições gerais: papel do envolvimento dos diferentes atores e fatores (comunicação, cultura, governança, etc.).
Vietnã (Scheiber <i>et al.</i> , 2023)	Modelagem hidro numérica, simulações e comparações entre cenários.	Objeto de estudo: adaptação em grande cidade. Contribuições gerais: identifica baixo arrependimento nas estratégias “esponja”, que devem ser complementares às grandes obras.
Arábia Saudita (Aldbahi, 2024)	5 estudos de casos globais, análises comparativas acerca do planejamento urbano e ferramentas.	Objeto de estudo: adaptação diante de eventos extremos em local árido. Contribuições gerais: aponta várias SbN adequadas, incluindo as Cidades-Esponja.
Polônia (Warzecha; Dudek-Klimiuk, 2023)	Modelagem com indicadores hídricos e espaciais, com auxílio do <i>software SCALGO Live Poland</i> .	Objeto de estudo: eventos climáticos em cidade existente e com configurações consolidadas historicamente. Contribuições gerais: infraestruturas “verdes” e “azuis” contribuindo para maior permeabilidade e redução do escoamento.
Malásia (Rostam <i>et al.</i> , 2024)	Estudo técnico e experimental na área da engenharia dos materiais.	Objeto de estudo: pavimentos de concreto permeável para redução de alagamentos. Contribuições gerais: sistema reduz impactos, mas devido à resistência, a aplicação deve ser cuidadosa (desafios em vias de fluxo intenso/pesado).

Fonte: Elaborado com base nas referências indicadas (Koster *et al.*, 2021; Bah *et al.*, 2023; Scheiber *et al.*, 2023; Warzecha; Dudek-Klimiuk, 2023; Aldbahi, 2024; Rostam *et al.*, 2024; Smith, 2024).

Em síntese, percebe-se o caráter interdisciplinar que permeia o tema Cidade-Esponja, sendo indispensável, no intuito de complementar a análise do Quadro, indicar a presença de pesquisas com múltiplas variáveis, tornando possível que mesmas temáticas sejam tratadas de forma conjunta ou separada em diferentes artigos.

4.1.3 Pesquisas com foco específico em materiais, técnicas ou estatísticas

O último grupo de artigos discutido na etapa adaptada de RSL corresponde aos quais o caso estudado não possui o enfoque específico em determinada malha urbana ou país, sendo bibliografias com abordagens mais direta e linguagem técnica e direcionada ao problema ao qual se busca solucionar e as características dos elementos, como resistência e permeabilidade, trazendo em linhas gerais elementos mais quantitativos.

Apesar das diferenças de escopo inerentes, notam-se séries de convergências com as temáticas fundamentadas anteriormente, uma vez que a questão dos materiais e estatísticas busca otimizar sistemas como o de drenagem urbana (Li, X. *et al.*, 2020) e questões correlatas às inundações repentinas em decorrência das mudanças climáticas (Zhang *et al.*, 2023) e dos desafios ocasionados pelo desenvolvimento intensificado em muitos contextos (Fei *et al.*, 2024).

Como percebe-se a partir das afirmações e fichamentos, a questão da permeabilidade é temática-chave nos artigos técnicos, indo de encontro com muitas das abordagens das pesquisas focadas na China e nos outros países, demonstrando o interesse na expansão do uso de métodos denominados “esponja” (Li X. *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023; Fei *et al.*, 2024).

Pretendendo ilustrar os assuntos proeminentes nesse grupo de publicações, de maneira semelhante às vistas supra, a Figura 19 apresenta o Cirrus obtido a partir da análise textual no *Voyant Tools* (2025), que permite em sequência trazer análises sobre suas partes integrantes de forma mais detalhada, que relaciona-se diretamente com as abordagens metodológicas adotadas por cada autor, sendo evidente a constante presença das inovações tecnológicas no desenvolvimento das pesquisas e nas aplicações.

(ou seja, a repetição das palavras-chave) nessa obra faz com que estes se destaquem na Figura do *Voyant Tools* (2025), que considera a frequência de aparições.

Para tanto, os referidos autores utilizaram como auxílio e ferramenta para as simulações (do tipo bidimensional) um software denominado “*FullSWOF-ZG*” para trabalhar no estudo sobre as superfícies das vias, objetivando tratar sobre a biorretenção em tais locais, obtendo como alguns dos resultados a percepção da melhoria na drenagem a partir das aberturas integradas trabalhadas, recomendando a presença de mais estudos na área dos dimensionamentos. Ademais, a revisão identifica como outro ponto central de tal estudo a questão do *retrofit* citada no parágrafo anterior, corroborando ideias acerca das possibilidades em aplicar estratégias “esponja” em estruturas existentes, demonstrando a versatilidade presentes nos projetos (Li X. *et al.*, 2020).

A questão de dimensionamentos também é objeto dos resultados de Zhang *et al.* (2023), na qual destaca-se novamente a escala das ruas e vias (*road*) e respectivas pavimentações (*pavement*) diretamente presentes no conceito de Cidade-Esponja. Em contextos como os de intempéries aumentadas, a questão acerca da permeabilidade e do armazenamento de água é chave na busca pela sustentabilidade, que deve incondicionalmente incluir os materiais trabalhados.

Utilizando-se de “[...] reservatórios de armazenamento de águas pluviais em Plástico Reforçado com Fibras (PRF) sob pavimentos viários [...]” (Zhang *et al.*, 2023, p.1, tradução nossa) como objeto de estudo e material, houve o foco para a metodologia que incluiu ensaios realizados em campo, fazendo-se análises comparativas, avaliações e caracterizações, bem como o a utilização das simulações e modelagem a partir de *softwares* de elementos finitos, encontrando resultados que foram de encontro com o almejado pelos autores, destacando um panorama promissor para a expansão do conceito de Cidade-Esponja, buscando guiar questões correlatas a dimensionamentos e aspectos práticos nesse contexto (Zhang *et al.*, 2023).

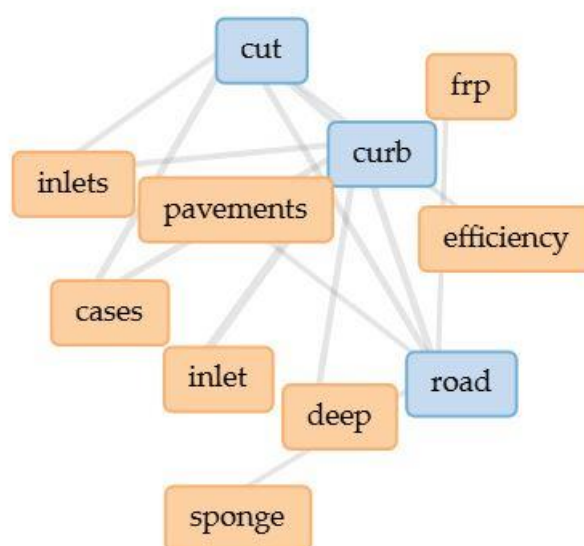
No que se concerne ao enfoque discutido aqui, outro trabalho que objetiva nortear atuações técnicas corresponde ao estudo de Fei *et al.* (2024) que, considerando as questões e desafios globais para o desenvolvimento, introduzem o tema com outra perspectiva disruptiva e direcionada a aspectos materiais e estruturais relacionados à questão esportiva que, incluindo áreas gramadas, pode

atuar de maneira combinada em Cidades-Esponja, concomitantemente trazendo melhorias ambientais e aumento da permeabilidade e opções de lazer e cultura para a população.

Fei *et al.* (2024) voltam o olhar às áreas esportivas e suas áreas de grama, usando metodologia experimental e numérica, com utilização de simulações a partir de modelos digitais e incluindo características na área da engenharia de materiais e componentes, investigando características correlatas ao preenchimento, como por exemplo tipos de areia e porosidade, que trazem efeitos correlatos à redução de erosão, outro aspecto almejado a partir das SbN.

Após a análise das temáticas apresentadas, tem-se a Figura 20 para identificar como os termos frequentes se interconectam a partir dos Links ilustrados a partir da análise textual no *Voyant Tools* (2025).

Figura 20 – Link: Artigos com foco em materiais, técnicas ou estatísticas



Fonte: *Voyant Tools* (2025).

Comparando-se criticamente, percebe-se de antemão a presença dos termos “*cut*”, “*curb*” e “*road*”, indo de encontro com o especificado e descrito a partir da Figura 18, sendo um forte ponto de similaridade entre os dois tipos de análise textual, retomando os pontos chaves de Li X. *et al.* (2020), considerando também a presença de “*inlet*” e “*inlets*” (tanto no singular quanto no plural), que se relacionam com dispositivos como bueiros ou bocas de lobo, correlatos à captação hídrica após as chuvas.

Nos estudos de casos (*cases*) em questão, percebe-se devido às características quantitativas presentes repetidas vezes, destaque à avaliação de eficiência (*efficiency*), repetidas vezes de forma atrelada aos tipos de pavimentação (*pavements*), tanto nas infraestruturas “verdes” quanto “cinzas” e a interseção com a água “azul” (Zhang *et al.*, 2023; Fei *et al.*, 2024).

Por fim, é oportuno, a partir da soma de tais tipos de pesquisa, grifar novamente quanto à multidisciplinaridade em Cidades-Esponja, com os múltiplos tipos de pesquisa enriquecendo o debate, de forma indispensável no anseio de promover práticas e ideias sobre o conceito, que, conforme percebido, vem sendo difundido, especialmente nos últimos anos, de forma global.

4.2 LEGISLAÇÕES SOBRE CIDADES-ESPONJA NO BRASIL: A BUSCA PELO CONCEITO EM TERRITÓRIO NACIONAL

Após o registro da difusão teórica e prática do conceito de Cidade-Esponja de forma global, percebe-se o crescente interesse no tema, apesar de ser perceptível a demanda de pesquisas e publicações científicas para o sul global, como o Brasil, confirmando a afirmação de Cao *et al.* (2021), correlacionada à imagem localizada na Figura 9 da presente Dissertação.

Apesar de a Revisão Sistemática da Literatura realizada supra não encontrar nenhum artigo sobre casos brasileiros dentro dos critérios de seleção adotados no protocolo, cabe pontuar que, conforme discorrido sobre durante a etapa da Fundamentação Teórica, existe o interesse na aplicação dessas práticas “esponja” em território nacional. Para além das pesquisas bibliográficas e considerando os desafios vivenciados, a pesquisa documental atua de forma a complementar tal constatação.

No tocante ao envolvimento do poder público, percebem-se legislações (incluindo aqui Leis e Projetos de Leis) em muitas escalas, desde a “macro” à “micro”.

Começando a análise nesse âmbito pela escala “macro”, de forma mais ampla, pode-se citar na escala nacional o Projeto de Lei nº 2000/2024 em tramitação (Brasil, 2024), que busca incluir elementos “esponja” integrantes do conceito a fim de melhorar a resiliência hídrica. Em tal Projeto que abarca genericamente o território brasileiro, no Artigo 2º, listam-se como metas e ideais:

- a) o uso da paisagem urbana natural para a contenção, drenagem, captação e reaproveitamento das águas pluviais e das resultantes de inundações, alagamentos e transbordamentos;
- b) a criação e manutenção de espaços destinados a conter o excesso das águas para sua paulatina absorção pelo solo, como áreas de inundação, lagos, parques, florestas, jardins de chuva e biovalas, entre outros;
- c) a permeabilidade e a capacidade de absorção e captação de estruturas artificiais, como coberturas asfálticas, calçamentos, telhados e coberturas (Brasil, 2024, p. 2).

Para tais metas nacionais, cita-se o interesse em propiciar economicamente a partir dos atores do poder público as condições necessárias para utilização de tais elementos, tendo em vista a relevância (Brasil, 2024).

Na escala estadual e a mérito de tentar otimizar a gestão ambiental e hídrica, pode-se citar o Projeto de Lei nº 3350/2024 da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (2024) que, para tanto, prioriza sugerir medidas como as sugeridas por Li *et al.* (2020) utilizadas na elaboração do Quadro 2 do trabalho e, ademais, bueiros que evitam o acúmulo de lixo de forma mais ecológica e preventiva.

As propostas como as do âmbito federal e estadual, apesar de comprovarem a importância das SbN e a urgência em resolver questões recorrentes em múltiplos contextos, demonstrando um avanço e atuação do setor público, possuem limitações ocasionadas pela escala de atuação, tendo em vista o desafio em versar sobre características muito específicas em determinadas regiões ou cidades.

Trazendo as análises para uma escala mais próxima do enfoque do trabalho, busca-se compreender adiante o cenário legislativo no assunto agora na escala das cidades. Antes de apresentar a listagem, é vital pontuar que, considerando que a atual Dissertação foca na cidade média mineira de Manhuaçu, esse tipo de documentação pode ajudar a traçar as diretrizes teóricas de forma mais eficiente, podendo perceber as tendências e aprender com as experiências de outras cidades do país, ao invés de analisar somente as referências replicáveis do exterior.

Previamente às discussões sobre Leis e Projetos de Leis urbanas, a partir do Quadro 5 busca-se trazer a listagem de cidades que, mesmo com as limitações a serem tratadas, despontam por possuírem atualmente esse tipo de parâmetro, evidenciando a existência dos portes e adaptações, que são decisivos assim como o estágio atual de cada local no que se concerne o desenvolvimento urbano resiliente e sustentável.

Quadro 5 – Legislações sobre Cidades-Esponja em cidades brasileiras

Cidade Legislação	Escopo resumido	Resumo de atuações e instrumentos indicados
Juiz de Fora Lei nº 15.175/2025 (Câmara Municipal de Juiz de Fora, 2025)	<ul style="list-style-type: none"> - Cidade-Esponja na política pública; - Questão da resiliência hídrica e sustentabilidade; - Indicação de diretrizes urbanas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Combinação entre infraestruturas (integração “verde”, “azul” e “cinza”) e melhorias; - Redução de impactos de desastres; - Qualidade de vida e participação; - Uso das SbN em geral.
Campo Grande Lei nº 7.511/2025 (Câmara Municipal de Campo Grande, 2025)	<ul style="list-style-type: none"> - Adoção formal do conceito; - Adaptações necessárias para características climáticas e do solo da região. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso das SbN em geral; - Enfrentamento aos extremos climáticos (calor); - Reaproveitamento hídrico das águas advindas das precipitações.
Barueri Lei nº 3.128/2025 (Câmara Municipal de Barueri, 2025)	<ul style="list-style-type: none"> - Diretrizes com enfoque na sustentabilidade hídrica/drenagem urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação das SbN com foco hídrico, também citando benefícios gerais.
Petrópolis Lei nº 8.508/2023 (Câmara Municipal de Petrópolis, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> - Foco preventivo e corretivo na drenagem e sustentabilidade; - Atribui caráter obrigatório aos mecanismos “esponja”. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação das SbN de forma semelhante ao Projeto estadual da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (2024).
Belo Horizonte Projeto de Lei nº 195/2025 (Câmara Municipal de Belo Horizonte, 2025)	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque na gestão hídrica: mitigação dos riscos e melhoria da qualidade; - Planos municipais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação das SbN, inclusive dos bueiros com características ecológicas.
Rio de Janeiro Projeto de Lei nº 1928-A/2023 (Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> - Foco nas complementações à infraestrutura municipal, interesse público na temática. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação das SbN de forma semelhante ao Projeto estadual da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (2024).
Legenda:	Lei Municipal (vigente)	Projeto de Lei (em tramitação)

Fonte: Elaborado com base nas referências indicadas (Câmara Municipal de Petrópolis, 2023; Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 2023; Câmara Municipal de Juiz de Fora, 2025; Câmara Municipal de Campo Grande, 2025; Câmara Municipal de Barueri, 2025; Câmara Municipal de Belo Horizonte, 2025).

Realizando comparações críticas entre as Leis e Projetos de Leis das cidades participantes do Quadro acima, percebe-se uma série de convergências, salientando as estratégias já consolidadas e integrantes do conceito, como a listagem ampla das soluções de Li *et al.* (2020) e a inclusão dos já abordados bueiros, que são somados em certos contextos, tanto no estado do Rio de Janeiro, indo de encontro com a Proposta em tramitação local até mesmo nas Leis já vigentes, quanto em casos

como o de Belo Horizonte (Câmara Municipal de Petrópolis, 2023; Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 2025; Câmara Municipal de Belo Horizonte, 2025).

Essa característica de repetição com descrições muito próximas em alguns contextos pode parecer ambígua: enquanto muitas vezes direciona de forma consolidada, pode, por outro lado, ser interpretada como tentativa de “replicação” de outras legislações sem um direcionamento para a escala “micro” de cada local, devendo sempre haver uma análise crítica dos atores envolvidos para reconhecer o que realmente é aplicável no respectivo contexto.

Outro aspecto de atenção é a questão da efetiva utilização, mesmo que em casos como o descrito pela Câmara Municipal de Petrópolis (2025), na qual a utilização de características “esponja” é documentada como obrigatória, deve-se buscar acompanhar se a implantação tem ocorrido de forma eficiente.

A compreensão dos potenciais e limitadores presentes nas legislações vigentes ou em tramitação permite ter referências documentais e nortear, mesmo que de forma parcial, para o panorama de Manhuaçu. Considerando a localização do município na Zona da Mata de Minas Gerais, é válido expandir também (para além do Quadro 5) as análises sobre o município de Juiz de Fora, que além de se situar na mesma região do estado, corresponde à cidade da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), na qual desenvolve-se a presente pesquisa. Em tal município, enumeram-se no Artigo 3º como principais diretrizes “esponja”:

- I - integração com o planejamento urbano e territorial;
- II - mitigação dos riscos de enchentes e desastres naturais;
- III - promoção da biodiversidade e da vegetação urbana;
- IV - gestão descentralizada da água;
- V - incentivo à educação ambiental e participação cidadã; e
- VI - uso de soluções baseadas na natureza [...] (Câmara Municipal de Juiz de Fora, 2025, n. p.).

Registra-se que, dentre as SbN, a Câmara Municipal de Juiz de Fora (2025) lista as técnicas de SbN integrantes do Quadro 2 (Li *et al.*, 2020), incluindo as demandas pela restauração de áreas verdes e nativas, bem como o incentivo pela presença de espaços para a água na cidade, como lagos.

Com objetivo de fortalecer a aplicação, a Câmara Municipal de Juiz de Fora (2025) remete ademais ao Plano Diretor, indispensável à cidade, bem como outras políticas e metas de sustentabilidade. As trocas interdisciplinares e de pesquisas e

desenvolvimento tecnológico são incentivadas, recomendando-se a participação acadêmica, além da participação das demais esferas, tendo em vista a importância da constante atualização e das inovações tecnológicas. As estratégias nesse contexto, apesar de serem aprovadas como voluntárias, são recomendáveis, vendo-se os auxílios existentes para a qualidade socioambiental.

A soma das experiências bibliográficas/documentais presentes na literatura científica e nas legislações permite, a partir daqui retomar o olhar diretamente e de forma específica ao caso de Manhuaçu, conhecidas as configurações espaciais e questão hídrica local.

4.3 A PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES DE CIDADE-ESPONJA PARA MANHUAÇU

Após compreender amplamente o panorama sobre o incentivo às Cidades-Esponja no mundo e no Brasil, a partir de casos e legislações tanto genéricos como específicos, pode-se ver os pontos chave e os pontos limitantes, buscando a partir disso trazer Diretrizes teóricas capazes de promover o conceito em Manhuaçu, de forma adaptada.

4.3.1 Integração com a bacia e o planejamento urbano

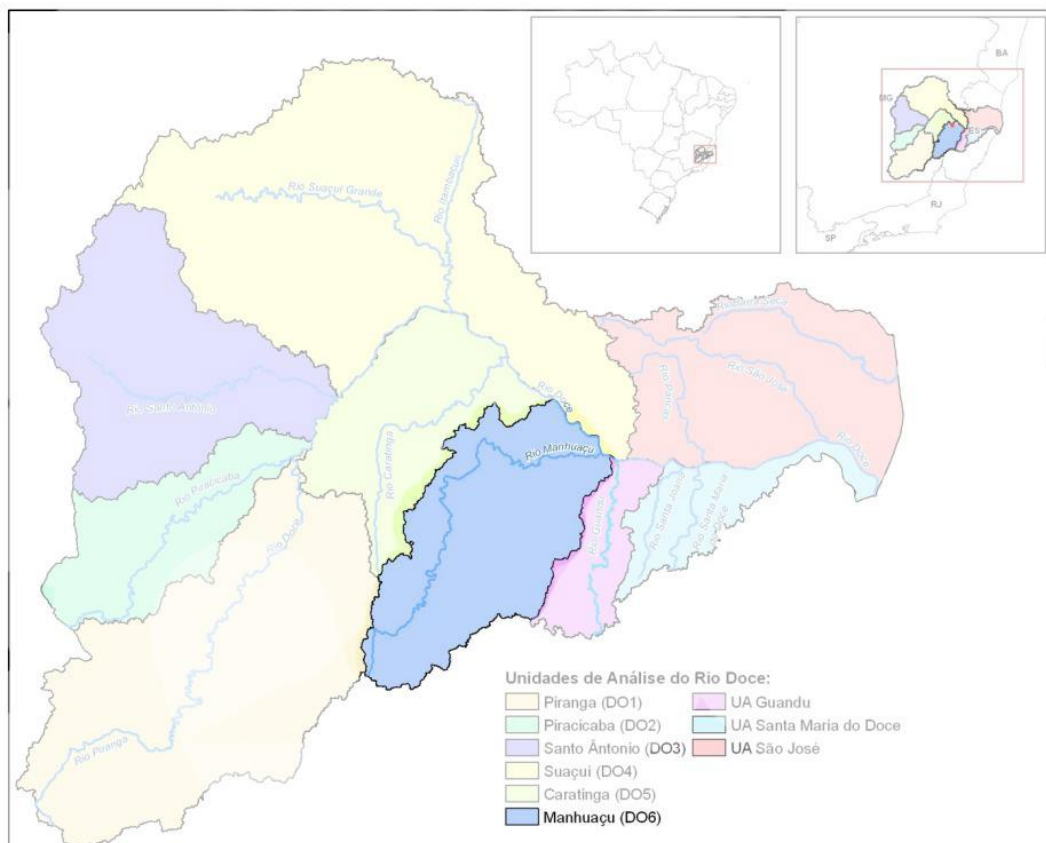
Previamente ao direcionamento de medidas para a escala urbana, foco principal das Diretrizes, é relevante incentivar a promoção do conceito primeiramente na escala da bacia hidrográfica, trazendo de volta as considerações sobre a pesquisa de Peng *et al.* (2022) que destacaram tal possibilidade e potencial no contexto chinês, mas abordando por exemplo a técnica de terraceamentos em áreas rurais existente globalmente, que além de se relacionar com a questão da qualidade hídrica e aumento da permeabilidade, pode otimizar a questão em fazendas, sítios, dentre outras áreas.

Além disso, a integração das áreas rurais e urbanas de forma conjunta se justifica por auxiliar no enfrentamento das erosões, que correspondem a outro desafio intensificado pelas intempéries fortes e identificados tanto em cenários internacionais como em grande parte da região onde se situa a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu (CBH Manhuaçu, 2013; Peng *et al.*, 2022).

Mesmo que as ideias de Peng *et al.* (2022) não sejam transmitidas de forma integral e necessitando ajustes devido às características geográficas e de culturas agrícolas, pode-se traçar um paralelo com o caso de Manhuaçu e arredores, com forte tradição rural. Com o rio Manhuaçu integrando a bacia hidrográfica do rio Doce, pode-se perceber isso a partir do destaque comparativo com outros corpos hídricos da mesma bacia, correspondendo a “[...] uma das quatro bacias do Rio Doce em que a atividade agropecuária é mais expressiva que a industrial” (CBH Manhuaçu, 2013, n. p.).

A mérito de situar a bacia do rio Manhuaçu dentro da “macro-bacia” do rio Doce, traz-se a Figura 21, na qual a primeira é destacada dentro do geral através da diferenciação de opacidade e cores.

Figura 21 – Situação do rio Manhuaçu dentro da bacia do Rio Doce



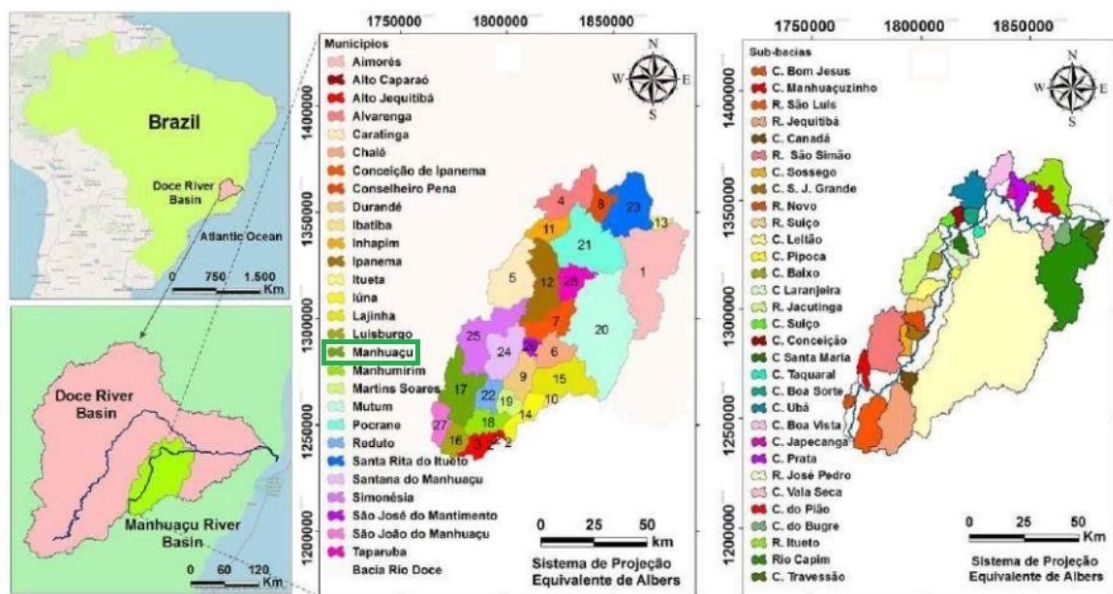
Adaptado de: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2014, p. 6).

Com enfoque na unidade de análise evidenciada, dividida e denominada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2014, p. 5) como “Comitê de Bacia Hidrográfica Águas do rio Manhuaçu”, é válido enumerar que inclui áreas situadas

em 28 municípios, cujos solos são muito utilizados para cafeicultura e pastagens (CBH Manhuaçu, 2013).

Em sequência, é oportuno apresentar propriamente sobre essa questão da bacia do Rio Manhuaçu (que dentro da bacia do Rio Doce, equivale a 10,48% das áreas) nas demais escalas, o que ocorre na Figura 22, na qual são vistos tanto os diversos municípios perpassados, como também as sub-bacias presentes na hidrografia, ilustrativamente e demonstrando a importância (Barbosa *et al.*, 2020).

Figura 22 – Rio Manhuaçu: bacia hidrográfica, municípios e sub-bacias



Adaptado de: Barbosa *et al.* (2020, p. 7).

Trazendo enfoque direto para o município de Manhuaçu (e apontando para a Diretriz que será apresentada em próximas etapas de restauração de elementos naturais e aplicação de SbN), o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2014) documentou estatisticamente no contexto municipal a falta de matas ciliares ou vegetações protegendo riachos e rios na maior parte da extensão, com 60,9% sem as devidas áreas verdes, ou seja, com apenas 39,1% possuindo a proteção e conservação adequada de APP, o que também ocorre, mesmo que em proporções distintas, em outras cidades integrantes da bacia.

Pontua-se teoricamente que, assim como a pesquisa de Smith (2024) incentivou as trocas entre diferentes países, é desejável realizar adaptações na escala de trabalho e incentivar também as trocas intermunicipais, com enfoque no bem comum da preservação e resiliência hídrica.

No tocante às ferramentas de planejamento da cidade, agora na escala das áreas urbanizadas, percebe-se o paradigma global de integração do desenvolvimento sustentável. Enquanto o Plano Diretor Municipal vigente, correspondente à Lei Complementar nº 001/2017 da Prefeitura Municipal de Manhuaçu (2017) mesmo um pouco mais enxuto, lista conceitos como sustentabilidade, mas superficialmente e de forma genérica, o Projeto de Lei Complementar nº 7/2025, da Câmara Municipal de Manhuaçu (2025), o Plano Diretor participativo que se encontra em pauta, corresponde a um documento ainda mais alinhado com os objetivos e agendas globais, expandindo as proposições. Ressalta-se que mesmo com enfoque na cidade, o Plano Diretor ultrapassa tais fronteiras e ainda busca guiar a sustentabilidade no âmbito da agricultura, engrandecendo mesmo na escala da cidade, a relevância do tipo de atividade no desenvolvimento econômico.

A questão hídrica é chave tanto na legislação urbana vigente quanto na proposição (de forma ainda mais enfática), frisando a necessidade de recuperação e conservação de corpos hídricos e entornos, em congruência com as documentações da bacia (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2014; Prefeitura Municipal de Manhuaçu, 2017; Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025).

No Plano Diretor Participativo da Câmara Municipal de Manhuaçu (2025), que possui 574 páginas totais, comprovando a expansão das análises, há ampla abordagem sobre as questões citadas, como por exemplo a inclusão da natureza nas soluções, porém, o termo “Cidade-Esponja” não está presente, diferentemente do caso de outras cidades (Quadro 5) que tratam o conceito diretamente. Portanto, a inclusão dos termos do conceito poderia trazer complementação à proposta atual, caracterizando práticas sustentáveis, muitas delas já reconhecidas.

4.3.2 Demarcação de áreas-piloto para intervenções

Diferentemente do contexto chinês, no qual o Programa de Cidades-Esponja se iniciou com dezenas de cidades-piloto para intervenções (Yang *et al.*, 2020; Qi *et al.*, 2021), a proposição para o município de Manhuaçu na presente Dissertação se dá de forma parcial, inicialmente em regiões da cidade, tendo em vista os distintos cenários comparativos entre Brasil e China, dentre eles a questão da viabilidade e

disponibilidade de recursos, para além do incentivo às inovações tecnológicas que, apesar de existente nacionalmente, é muito mais presente no último país citado.

Para auxiliar na identificação de áreas mais suscetíveis aos problemas, é válido rever as características da conformação da cidade tratadas anteriormente (Oliveira; Graça; Espindula, 2019), conhecendo as áreas mais antigas e consolidadas ao longo do corpo hídrico e a expansão da cidade nos arredores e em pontos mais altos.

Objetivando a definição desse critério, utilizam-se as perspectivas de Cançado *et al.* (2008) que realizaram um estudo de caso sobre Manhuaçu quanto às enchentes. Tais autores identificaram riscos a partir da enumeração de três principais visões e caracterizações:

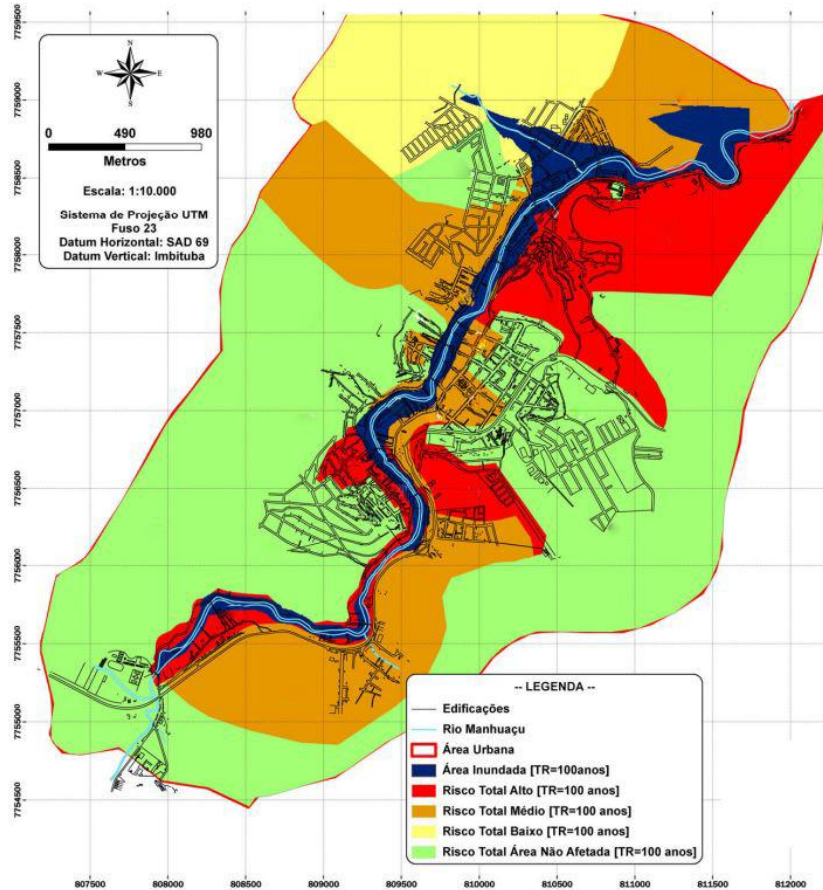
[...] ameaça, vulnerabilidade e risco. A ameaça está relacionada à probabilidade do evento e às suas principais características físicas. A vulnerabilidade refere-se à magnitude dos danos potenciais da área inundável e à sua capacidade local de recuperação. A interação entre estes dois elementos indica o nível de risco da área exposta (Cançado *et al.*, 2008, p. 1).

Considerando-se a heterogeneidade presente nos percursos ao longo das margens urbanas do rio Manhuaçu, que perpassa desde áreas do Centro da cidade (mesmo com maior valorização e pontos comerciais, existem áreas de risco em muitas ruas e avenidas) e áreas mais afastadas e de maior vulnerabilidade socioeconômica, optou-se na atual dissertação em considerar para a definição o critério do risco total, por considerar de forma integrada aspectos estatísticos sobre precipitações com características ocupacionais (Cançado *et al.*, 2008), visando otimizar a qualidade ambiental de vida para múltiplos grupos sociais e pessoas que circulam pelas regiões, tornando as proposições mais abrangentes e envolvendo os diferentes atores sociais no conhecimento do conceito, unindo olhar técnico e populacional.

A Figura 23 que, conforme citado, inclui para além da suscetibilidade a inundações, critérios como características sociais e econômicas dos moradores dos bairros, mostra o resultado do estudo de Cançado *et al.* (2008) no que se concerne o referido risco, considerando como critério temporal um retorno de cem anos. Apesar de tal bibliografia anteceder as duas últimas enchentes (a de 2009 e a de 2020) descritas por Carvalho e Espindula (2020), pode-se usar essa comparação entre

datas de publicação para discutir sobre a demanda recorrente pela resiliência hídrica e desenvolvimento sustentável, que já eram demandas e desafios que perpassam décadas.

Figura 23 – Mapeamento de inundações e riscos recorrentes



Adaptado de: Cançado *et al.* (2008, p. 14).

A comparação visual entre a Figura 23 (imediatamente acima) e a Figura 5 (na Fundamentação Teórica do presente trabalho) permite notar graficamente a presença de riscos intensos próximos ao rio, bem como as características geográficas da cidade, demonstrando os problemas citados em áreas de conformação antiga na cidade e ademais, as construídas sem o planejamento.

Portanto, a Proposição de Diretrizes proposto busca considerar essas áreas, com enfoque às áreas mais centrais e com maior densidade demográfica próximas ao rio, simultaneamente à promoção de medidas graduais em áreas de crescimento espontâneo.

Na introdução da pesquisa, descreveu-se o rápido crescimento da cidade inclusive em contextos recentes. Porém, no caso de regiões de projetos e

construções já na vigência do Plano Diretor mais recente (Prefeitura Municipal de Manhuaçu, 2017), especialmente em áreas com planejamento e foco imobiliário, percebe-se a implantação de partes das estratégias que aumentam a permeabilidade e as infraestruturas “verdes” e “azuis”. As Figuras 22a e 22b ilustram um novo loteamento/bairro da cidade, denominado “Cristal Bandeira”, no qual percebe-se a utilização de pavimentações com blocos que permitem que a água infiltre e reduza os impactos do escoamento, além de ter lagos que, além de reduzir efeitos das intempéries, promovem espaços de contemplação e atrativos, com benefícios além de ambientais, de valorização dos empreendimentos locais.

Figuras 24a e 24b – Soluções adotadas no loteamento Cristal Bandeira



Fonte: Autoria própria (2025).

A apresentação desse caso (percebendo a difusão da sustentabilidade em áreas mais novas) justifica o enfoque preliminar nas áreas já consolidadas da cidade, com edificações e impermeabilizações mais antigas, uma vez que a demanda por soluções sustentáveis e resilientes é maior, além de serem parte das áreas com maior suscetibilidade a desastres (Cançado *et al.*, 2008).

4.3.3 Aplicação gradual e difusão das soluções Esponja

A integração de conceitos e práticas de Cidades-Esponja consiste no cerne da proposta de Diretrizes e as técnicas utilizadas para tanto podem ser consideradas “subdiretrizes” fundamentais para o cumprimento do objetivo geral.

Conforme percebido, apesar de a Câmara Municipal de Manhuaçu (2025) não citar nominalmente a “esponja” dentre as SbN (que são por sua vez citadas), podem ser percebidas muitas das medidas que se enquadram no grupo, a méritos de controlar o escoamento superficial e as erosões, considerando os aclives e declives acentuados por toda a cidade, melhorias hídricas e respeito à configuração dos corpos hídricos, ou seja, recuperação natural e mitigação dos desafios (caráteres preventivos e corretivos), a partir de, no caso da cidade da pesquisa:

- I. instalação de drenagem e contenções adequadas;
- II. construção de bacias de captação e contenção;
- III. construção de parques e praças inundáveis, parques lineares, jardins de chuva;
- IV. recuperação de área vegetada em topos de morros e encostas íngremes;
- V. instalação de pisos e pavimentações permeáveis;
- VI. instalação de jardins verticais;
- VII. instalação de telhados verdes;
- VIII. instalação de reservatórios de água de chuva nos imóveis;
- IX. instalação de bueiros inteligentes (Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025, p. 9-10).

Tendo em vista a demanda de integrar legislação e prática para o efetivo funcionamento das medidas, deverá haver o direcionamento. Ressalta-se que as medidas enumeradas têm o potencial de envolver os diferentes atores urbanos, havendo sugestões que envolvem o ambiente construído desde à escala da bacia e cidade até a escala da edificação.

Para direcionar e viabilizar a aplicação das Diretrizes, pontos interessantes a serem considerados poderiam envolver tanto os investimentos econômicos do poder público, como a realização de parceiras como as público-privadas, além de incentivos para o setor privado e população adotarem paulatinamente as tecnologias, envolvendo as escalas de poder e destacando a importância da tomada de decisão conjunta, como foi concluído relevante por Scheiber *et al.* (2023).

A fim de que as medidas citadas no caso do município ultrapassem uma indicação ampla, é importante trazer à tona novamente as pesquisas que instruem técnica e teoricamente a utilização.

O alcance tende a se dar de forma integrada e correlacionada, como é o caso da questão da drenagem urbana, que pode incluir desde a escala residencial com o reaproveitamento e armazenamento de água das chuvas, a promoção de áreas permeáveis idealmente nos terrenos, como a das cidades, com a instalação dos bueiros capazes de separar o lixo ou impedir entupimentos de forma inteligente. Algumas medidas, como os pavimentos permeáveis, são multifuncionais, e podem se apresentar tanto em áreas públicas como privadas, em diferentes funções (Huang *et al.*, 2020; Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025). Tudo isso contribui para a gestão hídrica descentralizada.

Acerca dos pavimentos permeáveis, é imprescindível considerar os dados técnicos produzidos por Rostam *et al.* (2024) sobre a eficiência dos materiais. A partir dessa pesquisa e considerando as possibilidades pontuais, as pavimentações como as de concreto permeável podem ser sugeridas especialmente para ruas de fluxo menor ou médio e, considerando o caso específico de Manhuaçu, incluindo vias próximas ao rio, bem como ruas em aclives e declives leves ou moderados, controlando o escoamento superficial para os destinos na própria cidade como considerando o bem-estar da própria via, com a redução de enxurradas, por exemplo. Excluem-se, no quesito da aplicação dos pisos de concreto permeável, as estradas e rodovias federais e estaduais que passam pela cidade, nas quais não se adota esse tipo de pavimento em decorrência dos experimentos de resistência também analisados (Rostam *et al.*, 2024).

Para as medidas na escala dos parques, praças e *wetlands*, as simulações de Warzecha e Dudek-Klimiuk (2023) permitem perceber o potencial de impacto e de promoção de biodiversidade e redução do escoamento nos ambientes de diversos usos, tendendo a aumentar o percentual de permeabilidade e a redução quantitativa dos impactos.

A questão de infraestruturas “verdes”, como já visto, pode e deve ser complementar às infraestruturas “cinzas”. Elementos como os jardins verticais e os telhados verdes são considerados amplamente sustentáveis e objeto até mesmo de admiração e interesse, considerando a questão da qualidade ambiental. Realmente, simulações e modelagens como as SWMM analisadas na RSL e também avaliadas

no cenário nacional por Nunes, da Silva e da Fonseca (2017) comprovaram a eficiência desse tipo de cobertura enquanto elemento construtivo de reduzidos impactos ao meio ambiente e contribuição direta para a absorção de água e ademais ao conforto ambiental.

Considerando o crescente interesse nesse tipo de elemento, especialmente em cidades densamente ocupadas, e considerando que muitas vezes a aplicação ocorre em edificações residenciais, é importante que exista o cuidado técnico, bem como a qualificação da mão de obra, que pode consistir em um desafio. Apesar dos benefícios, caso a construção não ocorra de forma adequada, a edificação fica sujeita a riscos como infiltrações ou até mesmo estruturais, em casos mais graves, o que justifica a necessidade por avaliação interdisciplinar, os cuidados com a manutenção. Em síntese, sobre a estrutura da cobertura da edificação, deve ser realizada a impermeabilização e a subsequente sobreposição cuidadosa das diversas camadas necessárias (para proteger, drenar e filtrar e possibilitar o substrato) até por fim as vegetações (Nunes; da Silva; da Fonseca, 2017).

Sintetizando a proposta das SbN a partir de Cidades-Esponja, percebem-se possíveis limitações para a cidade, que incluem as características espaciais e a questão técnica, que tendem a ser superadas e não consistindo em impedimentos para a proposição, considerando que muitas das medidas estão passíveis de aprovação no município, principalmente ao considerar-se os estudos de Bah *et al.* (2023) como comprovação de que, mesmo que não se apliquem todas as soluções, os resultados tendem a ser impactados positivamente. Certamente, o máximo possível de aplicações conjuntas traz melhores resultados, mas no caso de impossibilidade, a separação parcial de estratégias “esponja” já confere potencial mitigador e preventivo na inclusão no planejamento ambiental.

4.3.4 Participação popular e capacitação profissional

A busca pelo envolvimento popular nas questões do planejamento urbano e regional é imprescindível nos diversos contextos, o que, no Brasil, se comprova pela própria caracterização dos Planos Diretores como participativos, como o que está em vista de ser aprovado a partir da Câmara Municipal de Manhauçu (2025).

Correlato às Cidades-Esponja, o panorama é semelhante, sendo fundamental o envolvimento da sociedade durante todas as etapas, com a conscientização

ambiental. A participação popular no contexto “esponja” é objeto de pesquisas, especialmente chineses, como a de Wang, Sun e Song (2017).

Na referida pesquisa (Wang; Sun; Song, 2017), foi constatado o conhecimento dos examinados acerca dos desafios hídricos, o que também ocorre em Manhuaçu, na qual são amplamente conhecidas as consequências das enchentes, que afetam mesmo que indiretamente, grande parte da população e ruas centrais.

No caso do artigo chinês, percebeu-se também o conhecimento da população nas questões “esponja”, demonstrando que a difusão do Programa de Cidade-Esponja se expandiu da sociedade científica e poder público para a sociedade geral, demonstrando os efeitos da conscientização, considerando-se também os apoios para as propostas, ressaltando ademais a importância das parcerias entre privado e público, tratadas anteriormente aqui e fundamentais para os decisores (Wang; Sun; Song, 2017; Scheiber *et al.*, 2023).

Para tanto, no caso de Manhuaçu, possibilidades interessantes para incluir os grupos sociais incluem a elaboração de cartilhas, realização de eventos para diversas faixas etárias (além do discurso, demonstrando praticamente modelos como maquetes físicas ou digitais, que otimizam a compreensão), além de divulgação de materiais digitais.

Quanto aos profissionais e enquanto medidas correlatas à sustentabilidade, é válido abordar a Política Nacional de Inovação instituída pelo Decreto nº 10.534/2020 (Brasil, 2020), que versa sobre a importância da capacitação profissional e do estímulo a tecnologias disruptivas e inteligentes. Para o município, recomenda-se novamente a integração entre público e privado com objetivos de realizações de cursos, *workshops* e trabalhos para garantir a mão de obra adequada. Ressalta-se aqui a importância da multidisciplinaridade.

4.3.5 Monitoramento, sensores, avaliações e indicadores

A Política Nacional de Inovação (Brasil, 2020) pode ser repetida preliminarmente a fim de introduzir a questão, sendo destacado a importância de, tanto no contexto tecnológico com traçando um paralelo para o planejamento urbano, definição de “[...] metodologia de monitoramento e de avaliação de

resultados e de impactos, acompanhada da definição de indicadores quantitativos mensuráveis” (Brasil, 2020, n. p.).

No caso de Manhuaçu, a existência citada quando fundamentada a questão local do sistema de monitoramento do corpo hídrico homônimo (Prefeitura de Manhuaçu, 2023) demonstra que o interesse em integrar as inovações tecnológicas à resiliência urbana é realidade, podendo ser expandida a partir de avanços técnicos e profissionais, tendendo a ser facilitado a partir da efetivação do proposto em 4.3.4.

Para avaliação de resultados interdisciplinares, para além do uso de *softwares* de simulações e modelagens hidrológicas, surge também a possibilidade para as equipes da área integrarem soluções de Inteligência Artificial (IA) disruptivas e que tem auxiliado nos serviços públicos, além dos privados, tanto urbanos quanto rurais. A aplicação da IA nesses contextos otimiza a reunião de dados meteorológicos, geográficos, dentre outros, de forma complexa e detalhada, auxiliando de forma quali-quantitativa na gestão integrada (Chang F.; Chang L.; Chen, 2023).

O uso da IA como ferramenta de suporte às SbN também é objeto de trabalho de Richards *et al.* (2023), devido aos múltiplos potenciais, como o da sintetização de dados supracitado, que pode auxiliar diretamente nas avaliações de impactos e monitoramentos, devendo haver o acompanhamento profissional sempre, conferindo os resultados.

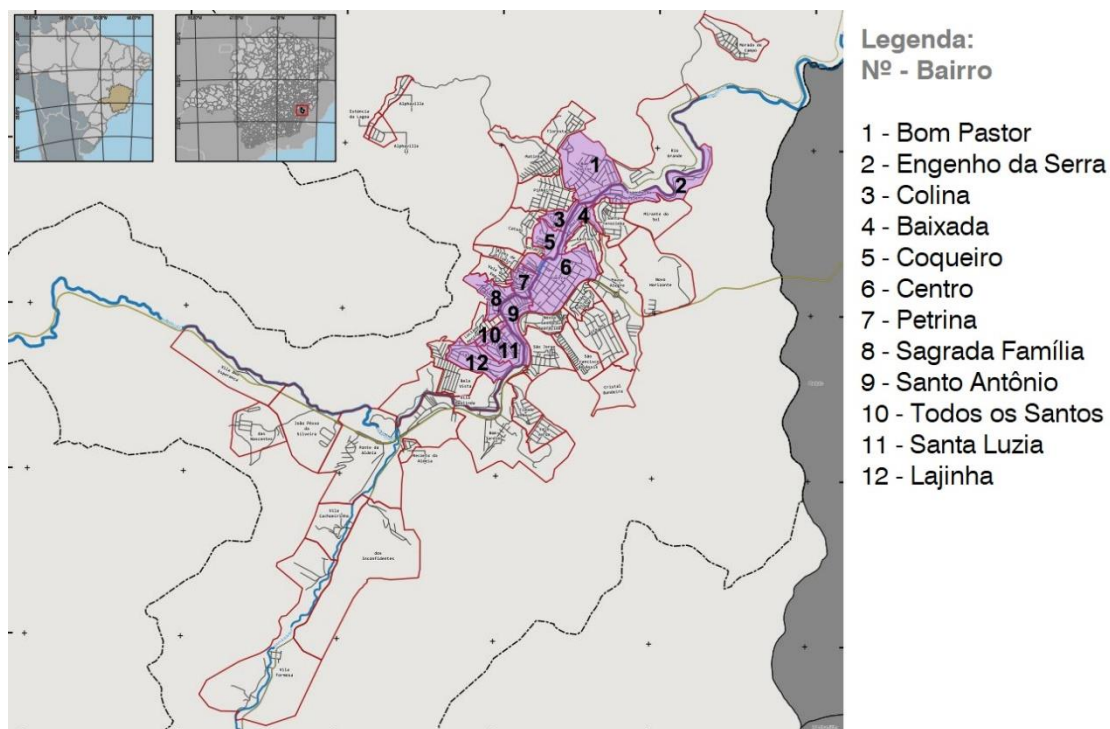
Resumidamente, é perceptível que, dentro das SbN, a pesquisa científica é uma centralidade para o sucesso das Cidades-Esponja (Richards *et al.*, 2023). A elaboração da Proposta de Diretrizes e respectivas “subdiretrizes” se vincula profundamente a isso, buscando envolver conhecimento técnico, conceitual e as respectivas avaliações a fim de trazer melhorias multidimensionais na sustentabilidade e resiliência.

4.3.6 Proposta de Diretrizes para adoção de estratégias de Cidades-Esponja no município de Manhuaçu

Documentando-se as áreas consolidadas do município de Manhuaçu como o enfoque da presente Dissertação e ambicionando conduzir propostas de adaptações para as referidas áreas, é vital abordar diretamente alguns desses espaços. Para tanto, considera-se a Legislação recente da Prefeitura Municipal de Manhuaçu

(2022) para delimitar os bairros existentes e a criação de novos (Lei Municipal nº 4.279/2022). A Figura 25 apresenta graficamente a partir do mapa que integra tal Lei, a demarcação de áreas estratégicas, posicionando o leitor diante da configuração urbana vigente e permitindo melhor interpretação e situação diante das etapas subsequentes.

Figura 25 – Demarcação de bairros estratégicos no mapa do Distrito Sede



Adaptado de: Batista (2022 *apud* Prefeitura Municipal de Manhuaçu, 2022).

Conforme pode ser percebido na Figura acima, os bairros selecionados e listados não somente correspondem a áreas já estabelecidas no histórico da cidade, como também a espaços com maior densidade urbana e populacional (por exemplo, com o maior número de vias e quarteirões mais aglomerados).

Expandindo as análises críticas supra, incluindo comparações com o breve histórico do município (2.3.1) e com as áreas urbanas que, apesar de heterogêneas, possuem suscetibilidade a riscos (4.3.2), justifica-se o critério adotado na demarcação, direcionando o olhar para as possibilidades de adaptação e de superação das limitações espaciais.

Considerando a integração entre as partes interessadas e entre os sistemas e infraestruturas “azuis” e “verdes” com as “cinzas” como chave para estratégias

“esponja” (Chen *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2023), o Quadro 6 indica de forma direta as Diretrizes propositivas para Manhuaçu e possibilidades para a adoção.

Quadro 6 – Síntese das Diretrizes propostas para Manhuaçu

Diretriz Proposta	Estratégias de implantação	Local(is) recomendado(s)
<p>Integração do conceito “Cidade-Esponja” aos instrumentos e documentos de planejamento urbano (Câmara Municipal de Juiz de Fora, 2025; Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025).</p>	<p>- Inclusão direta e nominal do conceito no Plano Diretor Participativo, Código de Obras, Planos de Gestão hídrica e drenagem, dentre outros (Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025).</p>	<p>- Legislações de todo o município.</p>
<p>Integração da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu nas intervenções (Peng <i>et al.</i>, 2022).</p>	<p>- Incorporação adequada das estratégias “esponja” tanto no montante, quanto no meio do curso, quanto na jusante dos corpos hídricos (Peng <i>et al.</i>, 2022); - Respeito aos percursos hídricos de forma multidimensional (Stefano <i>et al.</i>, 2024).</p>	<p>- Áreas urbanas do município; - Áreas rurais do município; - Possibilidade de parcerias e contatos com outros municípios pertinentes.</p>
<p>Requalificação de áreas verdes próximas ao rio e respeito às formas naturais das margens (Silva; Porto, 2020).</p>	<p>- Promoção da recuperação de APP e matas ciliares; - Priorização da drenagem natural; - Cuidados à natureza e águas, buscando a retomada de funções originais (Silva; Porto, 2020).</p>	<p>- Margens do rio, nas áreas onde há possibilidade, haja vista a configuração do município vista em 2.3.2.</p>
<p>Utilização de pavimentos permeáveis em estacionamentos, calçadas e vias locais (Rostam <i>et al.</i>, 2024).</p>	<p>- Substituição de pavimentos asfálticos e/ou impermeáveis em áreas públicas (e incentivo para privadas), especialmente vias de tráfego moderado ou baixo (Rostam <i>et al.</i>, 2024), pavimentações de praças, parques, dentre outros; - Possibilidades para os materiais: blocos intertravados permeáveis ou de concretos permeáveis (Rostam <i>et al.</i>, 2024).</p>	<p>Ruas nos bairros e locais, por exemplo: - Bom Pastor; - Partes do Engenho da Serra; - Ruas pertinentes próximas ao rio na Baixada (ex: Rua Francisco Fialho); - Ruas centrais onde ainda não há aplicação de tais tipos de pavimentação (ex: Rua Desembargador Alonso Starling, de características ilustradas previamente em 2.3.1); - Ruas próximas ao rio com possibilidades práticas no bairro Lajinha; - Vias em demais bairros que se enquadrem nas características.</p>

<p>Construção de biovaletas e bueiros inteligentes na estruturação da drenagem urbana (Li X. <i>et al.</i>, 2020; Câmara Municipal de Belo Horizonte, 2025).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de bueiros capazes de separar lixo e elementos poluidores da água e otimizar a drenagem (Câmara Municipal de Belo Horizonte, 2025); - Controle do escoamento superficial e mitigação dos problemas, especialmente em picos de intempéries, com as técnicas como as de Li X. <i>et al.</i> (2020). 	<ul style="list-style-type: none"> - A longo prazo, áreas urbanas em geral. - Inicialmente, foco em vias no Centro, Baixada e Coqueiro, com elevado movimento de pedestres (ex: Rua Amaral Franco, Avenida Salime Nacif, Avenida Getúlio Vargas) – áreas com forte apelo comercial, estudantil, dentre outros.
<p>Utilização de jardins de chuva (Li <i>et al.</i>, 2020).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização das SbN para aumento dos efeitos “esponja”: retenção, filtração, armazenamento e consequentemente redução do escoamento superficial (Li <i>et al.</i>, 2020). 	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas livres e preferencialmente próximas ao rio (ex: Praça da Rua Júlio Bueno, contígua ao rio) e entornos de outras praças ou áreas municipais.
<p>Construção de áreas alagáveis (Li <i>et al.</i>, 2020).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas de armazenamento, lagos ou reservatórios dentro das SbN, por exemplo, com áreas de retenção, proporcionando espaços sustentáveis e visualmente agradáveis (Li <i>et al.</i>, 2020). 	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas externas aos bairros demarcados na Figura antecedente ao presente Quadro: considerando a disponibilidade para áreas mais extensas.
<p>Incentivos à utilização de coberturas e telhados verdes (Li <i>et al.</i>, 2020).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação em edifícios públicos e institucionais (Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025); - Incentivos para utilização em casas e edifícios privados e apoio técnico aos utilizadores (Nunes; da Silva; da Fonseca, 2017). 	<ul style="list-style-type: none"> - Para os edifícios públicos e institucionais: principalmente no bairro Centro; - Para demais usos (ex: residenciais): incentivos para todos os bairros.
<p>Uso das Soluções baseadas na Natureza, em geral (Herzog; Freitas; Wiedman, 2022; Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aglutinação das possibilidades propostas, em consonância pelo já estabelecido pelo Plano Diretor a ser aprovado (Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025), buscando efetivar a adoção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivos para todo o município em geral.
<p>Parcerias, intercâmbios, participação das partes interessadas e capacitações (Wang; Sun; Song, 2017; Smith, 2024).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Garantia da efetividade da participação popular diante do Plano Diretor (Câmara Municipal de Manhuaçu, 2025); - Aprendizado a partir de experiências nacionais e internacionais (Wang; Sun; Song, 2017; Smith, 2024); - Conscientização popular a partir da apresentação de modelos digitais (como 	<ul style="list-style-type: none"> - Geral (visando alcançar as partes interessadas).

	simulações) ou físicos (como) maquetes, dentre outros - Capacitação profissional e estímulo à pesquisa científica e integração das tecnologias na gestão integrada (Brasil, 2020).	
Monitoramento do desempenho hídrico, ambiental e efetividade das medidas (Brasil, 2020; Richards <i>et al.</i> , 2023).	- Definição de indicadores quanto à permeabilidade, vazão e aspectos qualitativos e quantitativos tensionados pela adoção das Diretrizes propostas; - Avaliação dos impactos para otimizar resultados e novas adaptações graduais a partir da experiência específica (Brasil, 2020); - Utilização da IA como ferramenta de suporte e sistematização de dados, conjuntamente com os profissionais capacitados (Richards <i>et al.</i> , 2023).	- Geral (referente a todas as etapas supracitadas).
Legenda (infraestruturas/soluções):		
Cinzas	Verdes	Azuis

Fonte: Elaborado pelo autor (2026) com base nas referências citadas.

Quanto ao Quadro acima, é vital descrever, quanto ao esquema de cores, que os agrupamentos a partir dos tipos de infraestruturas e soluções se dá a mérito de direcionar a visão acerca dos aspectos gerais. Porém, na prática, conforme já explicitado, as diferentes “colorações” são complementares, devendo ser tratadas conjuntamente e cuidadosa. Ademais, as proposições para as quais não atribuiu-se cor, possuem caráter geral, sendo necessárias para todos os tipos de sugestões para o planejamento urbano sustentável sugeridas.

Ressalta-se ainda que a adoção no cenário municipal, conforme anteriormente esperado, deve ocorrer paulatinamente, considerando as especificidades de cada rua ou bairro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante todas as etapas dessa Dissertação, a partir das pesquisas exploratórias e de interesse propositivo, foi perceptível a emergência do conceito de Cidade-Esponja diante do paradigma global de promoção do desenvolvimento urbano sustentável, que visa reduzir os impactos dos desastres ambientais de forma ampla, que no enfoque do presente trabalho e na maioria dos casos se dá diante da questão hídrica.

É evidente que as estratégias “esponja” se destacaram de forma preliminar e até a atualidade mais intensamente na China, por ser o “berço” do conceito e ademais possuir incentivos de políticas públicas e participação de todas as partes interessadas na aplicabilidade, sendo objeto de múltiplas pesquisas científicas, se destacando além disso no número de publicações sobre o tema disponíveis. Essas atitudes urbanísticas, conforme sempre destacado por Yu (2021), promovem a resiliência diante das intempéries e condições climáticas, e os casos de aplicação, concomitantemente à teoria, corroboram a ideia de replicabilidade, que deve considerar cada local de forma cuidadosa. Há inclusive o incentivo, na própria literatura científica, que se busque adaptar o conceito em mais situações.

Os processos inerentes às pesquisas bibliográficas e documentais e metodologias permitem destacar a atualidade do tema e o crescimento na difusão do tema. Dados globais como os documentados por Cao *et al.* (2021) possibilitam compreender iniciativas acerca da resiliência (nas quais podem ser incluídas as de tipo “esponja”), bem como perceber a concentração destas em lugares específicos.

As maiores limitações da pesquisa, com base nisso, incluíram o menor número de aplicações em locais como o Brasil, trazendo o desafio de sempre tentar realizar a convergência do cenário internacional para o nacional, bem como o predomínio de fontes de um mesmo local, que demandam a realizações de análises críticas, uma vez que as atuações se perpetuam de forma diversa.

Resumidamente, o preenchimento dessas lacunas se relacionou diretamente com a proposta da pesquisa, na qual buscou-se sempre identificar as características necessárias para difusão do conceito em Manhuaçu que, conforme pode ser visto no histórico local, trata-se de uma cidade cuja urbanização muito espontânea limita não somente as maneiras de lidar com o corpo hídrico, com as maneiras de lidar com o próprio equipamento urbano.

A mérito de enfrentamento das lacunas identificadas, após a realização da Revisão Sistemática da Literatura sobre casos de Cidades-Esponja, que comprovou a predominância internacional do assunto, e apesar das diferenças, contribuindo ricamente para a expansão das análises conceituais e práticas, identificando pontos centrais adaptáveis, foi realizada a busca pela “chegada” do conceito às Legislações do Brasil, o que também foi eficiente, corroborando as ideias de trazer o conceito para Manhuaçu, cujas Leis e Projetos de Lei buscam o desenvolvimento sustentável e integração da natureza, mesmo não sendo um dos casos que citou especificamente o termo “esponja”.

Por fim, com o panorama expandido para o cenário manhuaçuense, foram notadas novas lacunas, especialmente no que tange à disponibilidade determinados dados e mapas específicos atualizados, tensionando a percepção da demanda de pesquisas e sistematizações locais.

Para o referido município, foram elaboradas as Propostas de Diretrizes e subdivisões pertinentes, com convergências e divergências entre os casos nacionais e internacionais, possibilitando o atendimento do objetivo geral, propondo estratégias que podem nortear a atuação. Ademais, cabe retomar a questão de pesquisa de “como as estratégias de Cidades-Esponja poderiam ser adaptadas para atender o município de Manhuaçu?”, que foi satisfatoriamente respondida, a partir da vasta gama de possibilidades presentes no conceito.

Em síntese, a presente Dissertação ressalta a importância da integração entre conhecimentos interdisciplinares nas Cidades-Esponja e participação das esferas da população no respectivo sucesso, com fortes potenciais para Manhuaçu. Espera-se a contribuição direta para a sociedade científica, sugerindo-se que sejam realizadas mais pesquisas e propostas do tipo em outras cidades, especialmente no Brasil, para que os benefícios da efetiva junção entre teoria e aplicação possam abranger a sociedade geral, com qualidade de vida e ambiental.

6 RECOMENDAÇÕES

O cumprimento das etapas da presente Dissertação possibilitou corroborar a ideia da relevância urbana e social da possível adoção gradual de estratégias de Cidade-Esponja para Manhuaçu. A partir da fundamentação teórica, revisão do conceito pelo mundo e análises normativas, pode-se trazer proposições para o município, sendo o Quadro que sintetiza as Diretrizes propostas um dos produtos do trabalho, podendo servir como um impulsionador para a incorporação integrada desses instrumentos ao planejamento urbano, respondendo as necessidades de compreensão de “o que fazer?”, “como fazer?” e “onde fazer?”.

Para tanto, recomenda-se que o presente material sirva como guia para gestores públicos manhuaçuenses e para pesquisadores científicos, especialmente na área do Urbanismo. A sugestão de que incorpore-se o conceito de forma integrada a Legislações, de forma direcionada para as especificidades do local (e não de forma genérica), considerando especialmente as áreas consolidadas, é um direcionamento para a ampliação dos horizontes e para a orientação de possíveis medidas para o desenvolvimento urbano sustentável e resiliente.

Recomenda-se a priorização das soluções nas áreas historicamente próximas ao rio e com os desafios abordados, mas não limitando-se. Para os âmbitos públicos, a sustentabilidade entra como paradigma, de encontro com o cenário global. Para o setor privado e residencial, especialmente na escala da edificação, complementando as referidas análises (4.3.6), sugere-se ainda que a Prefeitura ofereça incentivos para a população, almejando expandir a adoção no ambiente construído, como por exemplo incentivos fiscais e descontos, dentro das possibilidades, por exemplo, no Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU), bem como o auxílio para entendimentos no assunto.

Ademais, a tomada de decisão e a gestão integrada é fundamental para garantir o fortalecimento da temática para Manhuaçu, recomendando-se soluções inovadoras e naturais para se lidar com a cidade e entornos.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, Clare; FRANTZESKAKI, Niki; MOGLIA, Magnus. Mainstreaming nature-based solutions in cities: A systematic literature review and a proposal for facilitating urban transitions. **Land Use Policy**, v. 130, p. 106661, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106661>.
- ALDLBAHI, Salman Makhld M. Environmental adaptation tools as an approach to meet challenges in urban planning in the kingdom of Saudi Arabia. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2024. p. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1283/1/012003.
- ANGELAKIS, Andreas N. *et al.* Evolution of floods: from ancient times to the present times (ca 7600 BC to the present) and the future. **Land**, v. 12, n. 6, p. 1211, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12061211>.
- ASSAD, Leonor. Cidades nascem abraçadas a seus rios, mas lhes viram as costas no crescimento. **Ciência e Cultura**, v. 65, n. 2, p. 06-09, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000200003>.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Projeto de Lei nº 3350/2024**. Propõe a adoção de mecanismos sustentáveis de gestão das águas pluviais aplicando o conceito de Cidade-Esponja em municípios do estado do RJ. Rio de Janeiro, RJ: Portal ALERJ, 2024 (tramitando). Disponível em: <https://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro2327.nsf/18c1dd68f96be3e7832566ec0018d833/678074e9731e833f03258aed00646e55?OpenDocument>. Acesso em: 19 dez. 2025.
- ASSIS, Ana Carolina Lacorte de; MIRANDA, Arthur Alves Costa Lignani de; MATTOS, Flávia Bastos de Oliveira; CASAGRANDE, Cristiano Gomes; OLIVI, Leonardo Rocha; LAGARES JUNIOR, Moisés Luiz; CASTRO, Samuel Rodrigues; STEFANO, Ercília de. DESAFIOS DO SANEAMENTO URBANO: A BIOFILIA COMO SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL E ALIADA DO BEM-ESTAR URBANO. **ARACÊ**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 11588–11602, 2024. DOI: 10.56238/arev6n4-040.
- BAH, Alhassane *et al.* Study of the applicability of Sponge City concepts for flood mitigation based on LID (low impact development) measures: A case study in Conakry City, Republic of Guinea. **Water Science & Technology**, v. 88, n. 4, p. 901-921, 2023. DOI: 10.2166/wst.2023.251
- BAPTISTA, Márcio Benedito; CARDOSO, Adriana Sales. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, p. 124-153, 2013.
- BARBOSA, Rodolfo Alves; LORENZON, Alexandre Simões; TONELLO, Kelly Cristina; CORRÊA, João Batista Lúcio; BRAMORSKI, Julieta; DIAS, Herly Carlos Teixeira. Bacia hidrográfica do rio Manhuaçu: caracterização ambiental e proteção de nascentes. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, 2020. DOI: 10.59824/rmrh.v1i2.198.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei nº 2000/2024**. Dispõe sobre a destinação de recursos para ações de enfrentamento a inundações e alagamentos fundadas no conceito de cidades-esponja. Brasília, DF: Diário da Câmara dos Deputados, 2024 (tramitando). Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2435777>. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 10.534, de 28 de outubro de 2020**. Institui a Política Nacional de Inovação e dispõe sobre a sua governança. Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10534.htm. Acesso em: 09 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 01 ago. 2025.

BUTT, Anosh Nadeem; DIMITRIJEVIĆ, Branka. Multidisciplinary and transdisciplinary collaboration in nature-based design of sustainable architecture and urbanism. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 10339, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141610339>.

CÂMARA MUNICIPAL DE BARUERI. **Lei nº 3.128, de 14 de fevereiro de 2025**. Institui o conceito “Cidade-Esponja” no Município de Barueri, estabelecendo objetivos e diretrizes para controle de enchentes. Barueri, SP: Diário Oficial Municipal, 2025. Disponível em: https://sapl.barueri.sp.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2025/4881/pleo0057_2024_leod3128_2024.pdf. Acesso em: 05 jan. 2026.

CÂMARA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Projeto de Lei nº 195/2025**. Propõe o Programa de Implantação da Cidade Esponja em Belo Horizonte. Belo Horizonte, MG: Portal CMBH, 15 jul. 2025 (em tramitação). Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-proposicoes/projeto-de-lei/195/2025>. Acesso em: 06 jan. 2026.

CÂMARA MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE. **Lei nº 7.511, de 30 de outubro de 2025**. Institui o conceito de Cidade-Esponja no Município de Campo Grande para o controle de enchentes e gestão sustentável das águas pluviais. Campo Grande, MS: Diário Oficial Municipal, out. 2025

CÂMARA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. **Lei nº 15.175, de 6 de agosto de 2025**. Dispõe sobre a implantação do conceito de Cidade Esponja e Localidades Esponjas no Município de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG: Diário Oficial do Legislativo/CMJF, 07 ago. 2025. Disponível em: <https://www.camarajf.mg.gov.br/sal/norma.php?njt=LEI&njn=15175&njc=>. Acesso em: 14 set. 2025.

CÂMARA MUNICIPAL DE MANHUAÇU. **Projeto de Lei Complementar nº 7, de 04 de julho de 2025**. Institui o Plano Diretor Participativo do município de Manhuaçu-MG. Manhuaçu: Câmara Municipal, 2025. Disponível em: <https://sapl.manhuacu.mg.leg.br/materia/8524>. Acesso em: 07 jan. 2026.

CÂMARA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. **Lei nº 8.508, de 27 de fevereiro de 2023.** Torna obrigatória a adoção de mecanismos sustentáveis de gestão das águas pluviais aplicando o conceito de “Cidade Esponja” no Município de Petrópolis. Petrópolis, RJ: SAPL – Câmara Municipal. Disponível em: <https://sapl.petropolis.rj.leg.br/ta/3850/text?>. Acesso em: 05 jan. 2026.

CÂMARA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. **Projeto de Lei nº 1928-A/2023.** Dispõe sobre adoção de mecanismos sustentáveis de gestão de águas pluviais com aplicação do conceito de Cidade Esponja. Rio de Janeiro, RJ: ApliCNT/CMRJ – portal legislativo, 2023 (tramitando). Disponível em: <https://aplicnt.camara.rj.gov.br/Apl/Legislativos/scpro2124.nsf/ab87ae0e15e7dddd0325863200569395/040ca1aac171a20d0325898000608d59?OpenDocument>. Acesso em: 06 jan. 2026.

CANÇADO, Vanessa L. *et al.* Análise de vulnerabilidade à inundação: estudo de caso da cidade de Manhuaçu, Minas Gerais. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 3, p. 1-16, 2008.

CAO, Y. *et al.* An Analytical Review: A Decade of Urban Resilience. **United Nations Development Programme**: New York, NY, USA, 2021.

CARVALHO, Iago Nantes da Cruz; ESPÍNDULA, Lidiane. Histórico de enchentes em Manhuaçu (MG) e o novo plano diretor (2017). **Anais do Seminário Científico do UNIFACIG**, n. 6, 2020.

CARVALHO, Iago Nantes da Cruz; ESPÍNDULA, Lidiane; MOREIRA, Luana de Oliveira Gomes. PLANEJAMENTO URBANO E A IMPORTÂNCIA DO PLANO DIRETOR COMO FORMA DE MINIMIZAR OS IMPACTOS DAS INUNDAÇÕES: O CASO DE MANHUAÇU-MG. **Pensar Acadêmico**, v. 19, n. 3, p. 1021-1064, 2021.

CBH Manhuaçu. **A Bacia**. Manhuaçu, MG, 2013. Disponível em: <https://cbhmanhuacu.org.br/a-bacia>. Acesso em: 07 jan. 2026.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos DO6 – Manhuaçu (PARH Manhuaçu)**. Governador Valadares, MG: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, out. 2014. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Manhuacu.pdf. Acesso em: 07 jan. 2026.

CHANG, Fi-John; CHANG, Li-Chiu; CHEN, Jui-Fa. Artificial intelligence techniques in hydrology and water resources management. **Water**, v. 15, n. 10, p. 1846, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15101846>.

CHEN, Shiyang *et al.* Revisiting China’s Sponge City planning approach: Lessons from a case study on Qinhuai District, Nanjing. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 748231, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.748231>.

COUSINS, Joshua J. Just nature-based solutions and the pursuit of climate resilient urban development. **Landscape and Urban Planning**, v. 247, p. 105054, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105054>.

CRUZ, Carlos Henrique. Enchente e barrancos causam prejuízos e mortes na região de Manhuaçu. **Portal Caparaó**, Manhuaçu, MG, e região, 25 jan. 2020. Atualizado em 25 jan. 2020, 12h27. Disponível em: <https://www.portalcaparao.com.br/noticias/visualizar/32322/enchente-e-barrancos-causam-prejuizos-e-mortes-na-regiao-de-manhuacu>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CRUZ, Carlos Henrique. 45 anos: Enchente de 1979 foi um marco na história de Manhuaçu. **Portal Caparaó**, Manhuaçu, MG, 4 fev. 2024. Atualizado em 5 fev. 2024, 17h43. Disponível em: <https://www.portalcaparao.com.br/noticias/visualizar/43134/45-anos-enchente-de-1979-foi-um-marco-na-historia-de-manhuacu>. Acesso em: 01 ago. 2025.

DUNLOP, Thomas *et al.* The evolution and future of research on Nature-based Solutions to address societal challenges. **Communications Earth & Environment**, v. 5, n. 1, p. 132, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01308-8>.

FEI, Yiming *et al.* Structure and material of sports turf based on sponge-city concept: A combined experimental and numerical study. **Case Studies in Construction Materials**, v. 20, p. e03187, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03187>.

FIRMO, Clóvis Peixoto; ROCHA, Érica Tavares da Silva. Desastres ambientais e a percepção de riscos na cidade. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, Rio de Janeiro, n. 22, p. 123–146, 2022. DOI: [10.12957/cdf.2022.64369](https://doi.org/10.12957/cdf.2022.64369).

FLORIAN, Maria-Cristina. "Paisagista Kongjian Yu, pioneiro do conceito de "cidade esponja", recebe o Prêmio Oberlander 2023" [Landscape Architect Kongjian Yu, Pioneer of the "Sponge City" Concept, Wins the 2023 Oberlander Prize] 26 Out 2023. **ArchDaily Brasil**. (Trad. Ghisleni, Camilla) Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1008501/paisagista-kongjian-yu-pioneiro-do-conceito-de-cidade-esponja-recebe-o-premio-oberlander-2023>. Acesso em: 21 mai. 2025.

GHISLENI, Camilla. **Urban landscape as an “art of survival”: an interview with Kongjian Yu, the advocate of the Sponge Cities concept**. **ArchDaily**, 23 jun. 2024. Disponível em: <https://www.archdaily.com/1017697/urban-landscape-as-an-art-of-survival-an-interview-with-kongjian-yu-the-advocate-of-the-sponge-cities-concept>. Acesso em: 18 ago. 2025.

G1. Criador das ‘cidades-esponja’: quem era o arquiteto que morreu em acidente de avião em MS. **G1 MS**, 24 set. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2025/09/24/criador-das-cidades-esponja-quem-e-o-arquiteto-que-morreu-em-acidente-de-aviao-em-ms.ghtml>. Acesso em: 25 set. 2025.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7 ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022. ISBN978-65-597-7164-6.

GOMES, Luana de Oliveira. **A Relação Rio-Cidade**: Reflexões sobre o Rio Manhuaçu. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

GOMES NÉTO, N. C.; SOUZA, L. do N. de; CASTRO, C. A. F.; COSTA, D. de A.; FERREIRA, M. I. P. Soluções Baseadas na Natureza aplicadas à conservação e à gestão integrada das águas – Um estudo prospectivo à luz da Agenda 2030 da ONU. **Revista Principia**, [S. l.], v. 1, n. 51, p. 30–43, 2020. DOI: 10.18265/1517-0306a2020v1n51p30-43.

HERZOG, Cecilia; FREITAS, Tiago; WIEDMAN, Guilherme. **Soluções baseadas na natureza e os desafios da água** – Acelerando a transição para cidades mais sustentáveis. [S. l.]. 2022.

HUANG, Wei *et al.* Discussion of application of low impact development technology in the construction of sponge city in China. **Desalination and Water Treatment**, v. 188, p. 297-302, 2020. DOI: 10.5004/dwt.2020.25283

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Coleção de mapas municipais** 2020: Manhuaçu (MG). [S.l.]: IBGE, 2020. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2020/MG/manhuacu/3139409_MM.pdf. Acesso em: 04 fev. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manhuaçu (MG)**. Cidades e Estados. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/manhuacu.html>. Acesso em: 30 jul. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Minas Gerais. Manhuaçu**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro: IBGE: 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/manhuacu/panorama>. Acesso em: 30 jul. 2025.

IKEMOTO, Fumiko; SAKURA, Kosuke; ASTABURUAGA, Adrián Torres. The influence of historical irrigation canals on urban morphology in Valencia, Spain. **Land**, v. 10, n. 7, p. 738, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10070738>.

KÖSTER, Stephan *et al.* Using stormwater in a sponge city as a new wing of urban water supply—A case study. **Water**, v. 15, n. 10, p. 1893, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15101893>.

LI, Hanze *et al.* Waterlogging Prevention and Control Planning Based on the Concept of Sponge City-A Case Study of Kirin Science and Technology City. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2024. p. 02028. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451202028>.

LI, Xiaoning *et al.* Evaluating efficiency improvement of deep-cut curb inlets for road-bioretenion stripes. **Water**, v. 12, n. 12, p. 3368, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w12123368>.

LI, Yan; LI, Hong Xian; HUANG, Jiaxin; LIU, Chunlu. An approximation method for evaluating flash flooding mitigation of sponge city strategies—a case study of Central Geelong. **Journal of Cleaner Production**, v. 257, p. 120525, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120525>.

LIN, Yuru *et al.* Evaluation of the urban sponge stormwater regulation effectiveness based on SWMM: a case study of Wuhan, China. **Frontiers in Water**, v. 6, p. 1406520, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1406520>.

MANHUAÇU. **História**. 2017. Disponível em: <https://www.manhuacu.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/historia/6498>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MANHUAÇU. **Localização de Manhuaçu**. 2023a. Disponível em: <https://www.manhuacu.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/localizacao-de-manhuacu/6496>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MANHUAÇU. **Prefeitura de Manhuaçu lança sistema de monitoramento do rio**. Prefeitura Municipal de Manhuaçu, 2023b. Disponível em: <https://www.manhuacu.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/prefeitura-de-manhuacu-lanca-sistema-de-monitoramento-do-rio/211589>. Acesso em: 01 ago. 2025.

MARICATO, Ermínia. Cidades no Brasil: neodesenvolvimentismo ou crescimento periférico predatório. **Revista Política Social e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 16-57, 2013.

MAUCH, Christof; ZELLER, Thomas G. (Ed.). **Rivers in history: perspectives on waterways in Europe and North America**. University of Pittsburgh Pre, 2008.

MIRANDA, Arthur Alves Costa Lignani de; REIS, Flávio Francisco dos; MOTTA, Natália Fernandes da; RODRIGUEZ, Tatiana Tavares; BORGES, Marcos Martins; CASTAÑÓN, José Alberto Barroso; STEFANO, Ercília de. Cidades-esponjas: lições da literatura científica para a prática da sustentabilidade nos desafios do ambiente construído. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 13, p. e11447, 2024. DOI: [10.54033/cadpedv21n13-040](https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-040).

NUNES, Dayana Martins; DA SILVA, Luciene Pimentel; DA FONSECA, Paulo Luiz. Avaliação do papel dos telhados verdes no desenho e desenvolvimento urbano de baixo impacto ambiental e no controle de enchentes na Cidade do Rio de Janeiro. **Labor e Engenho**, v. 11, n. 3, p. 374-393, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v11i3.8648820>.

OLIVEIRA, Timóteo Emerick; GRAÇA, Melanie Marian; ESPINDULA, Lidiane. Rio Manhuaçu (MG): o reflexo na cidade. **Pensar Acadêmico**, v. 17, n. 1, p. 75-91, 2019.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, 372, n. 71, p. 1-9, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n71>.

PENG, Xiao; HENG, Xianpei; LI, Qing; LI, Jianxia; YU, Kongjian. From sponge cities to sponge watersheds: Enhancing flood resilience in the Sishui River Basin in Zhengzhou, China. **Water**, v. 14, n. 19, p. 3084, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MANHUAÇU. **Lei Complementar nº 001, de 25 de julho de 2017**. Institui o Plano Diretor Municipal (PDM) de Manhuaçu e dá outras providências. Manhuaçu: Câmara Municipal, 2017. Disponível em: https://sapl.manhuacu.mg.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2017/4034/lei_comp_lamentar_n_001_2017_-_institui_o_plano_diretor_-_compilado.pdf. Acesso em: 07 jan. 2026.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MANHUAÇU. **Lei Municipal nº 4.279, de 24 de outubro de 2022**. Dispõe sobre a criação, delimitação e descrição de bairros na zona urbana do Município de Manhuaçu e dá outras providências. Manhuaçu: Câmara Municipal, 2022. Disponível em: https://sapl.manhuacu.mg.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2022/6252/lei_municipal_4279_2022.pdf. Acesso em: 02 fev. 2026.

QI, Yunfei *et al.* Sponge City Program (SCP) and urban flood management (UFM)—the case of Guiyang, SW China. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2784, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13192784>.

RICHARDS, Daniel *et al.* Harnessing generative artificial intelligence to support nature-based solutions. **People and Nature**, v. 6, n. 2, p. 882-893, 2024. DOI: 10.1002/pan3.10622.

RITCHIE, Hannah; ROSADO, Pablo; ROSER, Max. Natural Disasters [recurso online]. **Our World in Data**, 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/natural-disasters>. Acesso em: 08 jul. 2025.

ROLNIK, Raquel; KLINK, Jeroen. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias?. **Novos estudos CEBRAP**, p. 89-109, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-33002011000100006>.

ROSTAM, N. E. *et al.* Pervious concrete: the art of improving strength properties. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/682/1/012065.

SCHEIBER, Leon *et al.* Low-regret climate change adaptation in coastal megacities—evaluating large-scale flood protection and small-scale rainwater detention measures for Ho Chi Minh City, Vietnam. **Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions**, v. 2022, p. 1-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2333-2023>.

SHI, Chunyan *et al.* Promoting sponge city construction through rainwater trading: An evolutionary game theory-based analysis. **Water**, v. 15, n. 4, p. 771, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15040771>.

SILVA, Juliana Caroline de Alencar da; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. Requalificação de rios urbanos no âmbito da renaturalização, da revitalização e da recuperação. **Labor e Engenho**, Campinas, SP, v. 14, p. e020001, 2020. DOI: 10.20396/labore.v14i0.8659900.

SMITH, Joseph S. International collaboration for sustainable development in the Third Space: A conceptual framework and relevant approaches based on China-US sponge city exchange. **International Journal of Chinese Education**, v. 13, n. 3, p. 2212585X241278376, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/2212585X241278376>.

STEFANO, Ercilia de; MIRANDA, Arthur Alves Costa Lignani de; RODRIGUEZ, Tatiana Tavares; CASTAÑON, José Alberto Barroso; FREITAG, Alberto Eduardo Besser. AS CIDADES-ESPONJA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ANÁLISES PARA APLICAÇÃO DO CONCEITO EM MINAS GERAIS. In: **Anais – SIMPEP 2024**. Bauru (SP) UNESP, 2024. DOI: https://doi.org/10.29327/xxxi_simpep.891210.

TUAN, Yi-Fu. **Topofilia**: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente. São Paulo: Edue, 2012.

UNITED NATIONS HUMAN HABITAT (UN-HABITAT). **World Cities Report 2022**. 2022. Disponível em: <https://unhabitat.org/wcr/2022/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

VOYANT TOOLS. **Voyant Tools**. 2025. Disponível em: <https://voyant-tools.org/>. Acesso em: 01 out. 2025.

WANG, Hao *et al.* A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. **Science China Technological Sciences**, v. 61, p. 317-329, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11431-017-9170-5>.

WANG, Heng; LIU, Zhen; ZHOU, Yang. Assessing urban resilience in China from the perspective of socioeconomic and ecological sustainability. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 102, p. 107163, 2023.

WANG, Yutao; SUN, Mingxing; SONG, Baimin. Public perceptions of and willingness to pay for sponge city initiatives in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 11-20, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.002>.

WARZECHA, Barbara; DUDEK-KLIMIUK, Joanna. Stormwater runoff management in Sandomierz, as an example of medium-sized European city, using SCALGO Live. **Journal of Water and Land Development**, n. 59, p. 267-274, 2023. DOI: 10.24425/jwld.2023.148451.

WINK JUNIOR, Marcos Vinício; DOS SANTOS, Lucas G.; RIBEIRO, Felipe Garcia; DA TRINDADE, Carolina S. Natural disasters and poverty: evidence from a flash flood in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, n. 9, p. 23795-23816, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03623-0>.

YANG, Moyuan *et al.* Challenges in urban stormwater management in Chinese cities: A hydrologic perspective. **Journal of Hydrology**, v. 591, p. 125314, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125314>.

YAO, Zeyu; BELL, Sarah. Tacit knowledge in water management: a case study of Sponge City. **UCL Open Environment**, v. 4, p. e031, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000031>.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Bookman Editora, 2015.

YU, Kongjian. Climate Adaptation and Resilience. **Landscape Architecture Frontiers**, v. 9, n. 6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-LAF-1-010021>.

ZHANG, Jiehui *et al.* Field tests on Fiber-Reinforced Plastic (FRP) stormwater storage tank under road pavements for “Sponge City” development. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e02097, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02097>.

ZHAO, Ruidong *et al.* The evaluation and obstacle analysis of urban resilience from the multidimensional perspective in Chinese cities. **Sustainable Cities and Society**, v. 86, p. 104160, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104160>.