



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DA PARAÍBA
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO
COORDENAÇÃO DO CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ERLON NUNES DE SOUZA FILHO

**ALAGAMENTOS URBANOS EM PEQUENOS MUNICÍPIOS: ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA E DIRETRIZES ESTRATÉGICAS DE GESTÃO APLICADAS A
CATINGUEIRA-PB**

**PATOS – PB
2026**

**ALAGAMENTOS URBANOS EM PEQUENOS MUNICÍPIOS: ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA E DIRETRIZES ESTRATÉGICAS DE GESTÃO APLICADAS A
CATINGUEIRA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso De Bacharelado Em
Engenharia Civil, do Instituto Federal da
Paraíba – Campus Patos, em cumprimento
às exigências parciais para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof Me. Dennis Oliveira
Galdino

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

S729s Souza Filho, Erlon Nunes de.

Alagamentos urbanos em pequenos municípios: análise bibliométrica e diretrizes estratégicas de gestão aplicadas a Catingueira-PB / Erlon Nunes de Souza Filho. - Patos, 2026.
57. f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2026.

Orientador(a): Prof Me. Dennis Oliveira Galdino.

1. Drenagem urbana 2. Planejamento urbano 3.
Alagamentos I.Título II. Galdino, Dennis Oliveira III. Instituto
Federal da Paraíba.

CDU –69.034.96

Ficha catalográfica elaborada por Lucikelly Oliveira CRB 15/574

**ALAGAMENTOS URBANOS EM PEQUENOS MUNICÍPIOS: ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA E DIRETRIZES ESTRATÉGICAS DE GESTÃO APLICADAS A
CATINGUEIRA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso De Bacharelado Em
Engenharia Civil, do Instituto Federal da
Paraíba – Campus Patos, em cumprimento
às exigências parciais para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 11 / 02 / 2026

Banca Examinadora

**Prof. Me. Dennis Oliveira Galdino – IFPB – Campus Patos
Orientador (IFPB)**

**Prof. Me. Valteson da Silva Santos– IFPB – Campus Patos
Examinador**

**Prof. Dr. Jose Herculano Filho– IFPB – Campus Patos
Examinador**

À Deus. Por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo da caminhada. Aos meus pais e familiares, pelo apoio incondicional, incentivo constante e carinho em todos os momentos, que foram fundamentais para realização deste trabalho!

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por conceder saúde, força e sabedoria ao longo de toda a graduação, permitindo superar desafios e alcançar mais esta etapa importante da minha formação acadêmica.

Aos meus pais, Erlon e Joana, por todo o amor, apoio incondicional, incentivo constante e pelos inúmeros sacrifícios realizados para que eu pudesse seguir estudando. Nada disso seria possível sem a base que vocês construíram.

Agradeço também ao meu irmão Jhonatan, pelo apoio e companheirismo ao longo dessa jornada, estando presente nos momentos de dificuldade e celebrando cada conquista alcançada.

Ao meu avô Francisco, pelo exemplo de vida, pelos conselhos e pelo apoio ao longo da minha trajetória pessoal e acadêmica.

À minha tia Cida, por ter aberto as portas de sua casa e me acolhido em um momento importante da graduação, oferecendo não apenas um lugar para ficar, mas também apoio e carinho.

À minha namorada Rita, pela paciência, compreensão, incentivo diário, me mostrando sempre o lado bom para que eu não desistisse, tornando o caminho mais leve e me ajudando em tudo que fosse preciso.

Aos amigos do curso, pelas trocas de conhecimento, pelo companheirismo e pelos momentos compartilhados ao longo da graduação. Agradeço também, de forma especial, às caronas encontradas no meio do caminho, que foram fundamentais para tornar possível a rotina acadêmica e que renderam boas conversas e risadas.

Aos professores do curso, pelos ensinamentos, dedicação e contribuição para minha formação profissional e humana. Em especial, ao professor Dennis, meu orientador, que foi o grande incentivador e pivô deste trabalho, pela orientação, disponibilidade, confiança e pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos estágios realizados, que contribuíram significativamente para a consolidação dos conhecimentos teóricos na prática, ampliando minha visão profissional e reforçando o interesse pela área estudada.

Por fim, deixo meu agradecimento a todos que, de maneiras distintas e em momentos diferentes, fizeram parte dessa trajetória acadêmica.

“Ao desconhecer que era impossível, realizou.”

Autor desconhecido

RESUMO

Os alagamentos urbanos representam um dos principais desafios ambientais e sociais enfrentados por municípios brasileiros, especialmente aqueles de pequeno porte localizados em regiões semiáridas. Este Trabalho apresenta uma análise bibliométrica abrangente sobre os problemas de alagamentos em pequenos municípios no Brasil e no mundo, identificando as principais medidas de contenção e profilaxia adotadas. Utilizando Catingueira-PB como estudo de caso arquetípico, o trabalho contextualiza a problemática em um município de 4.491 habitantes inserido no semiárido paraibano, que enfrenta alagamentos recorrentes na ausência de sistema formal de drenagem. A metodologia compreendeu pesquisa bibliométrica sistemática em bases nacionais e internacionais, análise estatística robusta e proposição de diretrizes estratégicas. Foram analisados 23 artigos científicos (14 internacionais e 9 nacionais), totalizando 755 citações. Os resultados revelam um crescimento de 1200% na produção científica internacional sobre o tema quando comparamos o início da pesquisa aos anos atuais, com ênfase em Soluções Baseadas na Natureza (NbS), Infraestrutura Verde e Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS). A pesquisa nacional demonstra maior foco em governança, financiamento e especificidades do semiárido. Foram identificadas 15 medidas de contenção e profilaxia, classificadas em estruturais, não-estruturais e sustentáveis. As diretrizes estratégicas propostas contemplam ações de curto, médio e longo prazo, adaptadas às restrições financeiras e técnicas de pequenos municípios. O trabalho contribui para o avanço do conhecimento científico sobre drenagem urbana em pequenos municípios e oferece subsídios práticos para gestores públicos.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Alagamentos. Pequenos Municípios. Semiárido. Soluções Baseadas na Natureza. Análise Bibliométrica.

ABSTRACT

Urban flooding represents one of the main environmental and social challenges faced by Brazilian municipalities, especially small-sized towns located in semi-arid regions. This Undergraduate Thesis presents a comprehensive bibliometric analysis of urban flooding issues in small municipalities in Brazil and worldwide, identifying the main containment and preventive measures adopted. Using the municipality of Catingueira, Paraíba State, as an archetypal case study, the research contextualizes the problem in a town with 4,491 inhabitants located in the semi-arid region of northeastern Brazil, which experiences recurrent flooding events in the absence of a formal urban drainage system. The methodology consisted of a systematic bibliometric review of national and international databases, robust statistical analysis, and the proposal of strategic guidelines. A total of 23 scientific articles (14 international and 9 national) were analyzed, comprising 755 citations. The results indicate a 1200% growth in international scientific production on the topic when comparing the initial years of research to recent periods, with emphasis on Nature-Based Solutions (NbS), Green Infrastructure, and Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). National studies show a greater focus on governance, financing, and the specific conditions of semi-arid regions. Fifteen containment and preventive measures were identified and classified as structural, non-structural, and sustainable. The proposed strategic guidelines include short-, medium-, and long-term actions adapted to the financial and technical constraints of small municipalities. This study contributes to the advancement of scientific knowledge on urban drainage in small municipalities and provides practical support for public managers.

Keywords: Urban Drainage. Flooding. Small Municipalities. Semi-arid. Nature-based Solutions. Bibliometric Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização de Catingueira-PB	31
Figura 2- Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos artigos	34
Figura 3- Área urbana suscetível a alagamentos em Catingueira-PB, identificada em imagem de satélite (Google Earth).....	39
Figura 4- Reportagem local sobre alagamentos recorrentes em Catingueira-PB.....	39
Figura 5- Registros fotográficos de alagamento em via urbana de Catingueira-PB:	40
Figura 6- Intervenção corretiva realizada em 2022: elevação do nível das residências em área sujeita a alagamentos no município de Catingueira-PB.....	41
Figura 7- Situação atual da área após a elevação das residências, com registro georreferenciado e datado (2025).	42
Gráfico 1- Comparação de citações (média mediana).....	42
Gráfico 2- Top 5 artigos mais citados (internacionais).....	43
Gráfico 3- Top 5 artigos mais citados (nacionais).....	44
Gráfico 4- Distribuição temporal dos artigos (internacionais)	45
Gráfico 5- Distribuição temporal dos artigos (nacionais)	46
Gráfico 6- Distribuição temática dos artigos (internacionais).....	47
Gráfico 7- Distribuição temática dos artigos (nacionais).....	47

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	-	Associação	Brasileira	de	Normas	Técnicas
ABRHIDRO	-	Associação	Brasileira	de	Recursos	Hídricos
ASLA	-	Sociedade	Americana	de	Arquitetos	Paisagistas
BMJ	-	British		Medical		Journal
CAPES	-	Coordenação	de	Aperfeiçoamento	de	Pessoal de Nível Superior
CEPED	-	Centro	Universitário	de	Estudos e Pesquisas	sobre Desastres
CIRIA	-	Construction	Industry	Research and	Information	Association
CNPq	-	Conselho	Nacional	de	Desenvolvimento Científico e Tecnológico	
CNM	-	Confederação	Nacional	de		Municípios
CONTECC	-	Congresso	Técnico Científico	da	Engenharia e da	Agronomia
COP26	-	26ª Conferência	das Partes	da	Convenção-Quadro	das Nações Unidas
		sobre	Mudança		do	Clima
Fig.	-					Figura
GI	-	Infraestrutura	Verde	(Green		Infrastructure)
IBGE	-	Instituto	Brasileiro	de	Geografia e	Estatística
IDHM	-	Índice	de	Desenvolvimento	Humano	Municipal
IFPB	-	Instituto	Federal	da		Paraíba
INSA	-	Instituto	Nacional	do		Semiárido
IPCC	-	Painel	Intergovernamental	sobre	Mudanças	Climáticas
IPEA	-	Instituto	de	Pesquisa	Econômica	Aplicada
ISO	-	International	Organization	for		Standardization
IUCN	-	União	Internacional	para	a Conservação	da Natureza
LID	-	Desenvolvimento	de Baixo	Impacto	(Low Impact	Development)
NbS	-	Soluções	Baseadas	na	Natureza	(Nature-based Solutions)
NBR	-	Norma		Brasileira		Registrada
ONU	-	Organização		das	Nações	Unidas
p.	-					página
PIB	-	Produto		Interno		Bruto
PNUD	-	Programa	das Nações Unidas	para	o	Desenvolvimento
PRISMA	-	Itens de Relatório	Preferidos	para	Revisões Sistemáticas e	Meta-Análises
QGIS	-	Quantum	Geographic		Information	System
RECIIS	-	Revista Eletrônica	de Comunicação,	Informação e	Inovação	em Saúde
SNIS	-	Sistema	Nacional	de	Informações	sobre Saneamento
SPSS	-	Statistical	Package	for	the	Social Sciences
SUDENE	-	Superintendência	do	Desenvolvimento	do	Nordeste
SUDS	-	Sistemas	de Drenagem	Sustentável	(Sustainable Urban	Drainage Systems)
TCC	-	Trabalho	de	Conclusão	de	Curso
USGS	-	Serviço	Geológico	dos Estados	Unidos	
v.	-					volume
WSUD	-	Projeto Urbano	Sensível à Água	(Water Sensitive	Urban Design)	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização	13
1.2 Justificativa	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Urbanização e Impactos Hidrológicos	17
2.2 Inundações Urbanas: Conceitos e Tipologias	18
2.3 Pequenos Municípios e Vulnerabilidade Hídrica	20
2.4 O Semiárido Brasileiro e Seus Desafios Hídricos	22
2.5 Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS)	23
2.6 Soluções Baseadas na Natureza (NbS)	25
2.7 Infraestrutura Verde	26
2.8 Cidades-Esponja: O Conceito Chinês	27
2.9 Panorama da Drenagem Urbana no Brasil	28
3. METODOLOGIA	31
3.1 Caracterização da Pesquisa	31
3.2 Área de Estudo: Catingueira-PB	31
3.2.1 Coleta de Dados Contextuais	33
3.3 Pesquisa Bibliométrica	34
3.3.1 Definição de Questões de Pesquisa e Critérios	34
3.3.2 Busca e Seleção de Artigos	35
3.3.3 Triagem e Seleção	36
3.3.4 Análise e Classificação dos Dados	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Caracterização de Catingueira-PB	38
4.2 Ocorrência de alagamentos e Evidências Empíricas	39
4.3 Intervenção Corretiva Executada pelo poder público	41
4.4 Análise Bibliométrica Quantitativa	42
4.5 Análise Temporal das Publicações	45
4.6 Análise Temática	46
4.7 Medidas de Contenção e Profilaxia Identificadas	48
4.8 Aplicabilidade para Pequenos Municípios e Catingueira-PB	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1 Recomendações para Trabalhos Futuros	53
6. REFERÊNCIAS	54
7. ANEXOS	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As inundações urbanas constituem um dos problemas ambientais mais graves e recorrentes enfrentados por cidades em todo o mundo, afetando milhões de pessoas anualmente e causando prejuízos econômicos estimados em mais de 100 bilhões de dólares por ano (Dharmarathne et al., 2024). Este fenômeno, intensificado pelas mudanças climáticas e pela urbanização acelerada, tem se tornado cada vez mais frequente e severo, exigindo respostas urgentes e eficazes dos gestores públicos e da sociedade civil (Zhou et al., 2024).

A urbanização, processo que transformou profundamente a organização espacial das sociedades humanas ao longo do século XX e continua em expansão no século XXI, é reconhecida como um dos principais fatores que agravam os problemas de inundação (Zhang et al., 2025). Segundo as Nações Unidas, a população urbana global ultrapassou 55% da população total em 2018 e deve atingir 68% até 2050, com o crescimento mais acelerado ocorrendo em países em desenvolvimento (United Nations, 2019). Este crescimento urbano, frequentemente desordenado e sem planejamento adequado, resulta na impermeabilização extensiva do solo, na ocupação de áreas de risco e na sobrecarga ou inexistência de sistemas de drenagem, criando condições propícias para inundações (Starkey et al., 2025).

O conceito de impermeabilização do solo refere-se à substituição de superfícies naturais permeáveis (solo, vegetação) por superfícies impermeáveis (concreto, asfalto, edificações), o que altera profundamente o ciclo hidrológico urbano (Leopold, 1968). Em condições naturais, uma porção significativa da precipitação infiltra no solo, sendo armazenada ou contribuindo para a recarga de aquíferos, enquanto outra porção é interceptada pela vegetação e retorna à atmosfera por evapotranspiração (Wang et al., 2025). O escoamento superficial, que atinge os cursos d'água, representa apenas uma fração da precipitação total. Com a urbanização e a impermeabilização, a infiltração e a evapotranspiração são drasticamente reduzidas, e o escoamento superficial aumenta significativamente, tanto em volume quanto em velocidade (Cervantes-nájera et al., 2025).

As consequências deste processo são múltiplas e interconectadas. O aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial resulta em picos de vazão mais

elevados e mais rápidos nos cursos d'água urbanos, sobrecarregando os sistemas de drenagem e causando inundações (Gorzka et al., 2025). Além disso, o escoamento superficial urbano transporta poluentes acumulados nas superfícies impermeáveis, incluindo óleos, metais pesados, nutrientes e patógenos, degradando a qualidade dos corpos d'água receptores (Eshleman et al., 2025). A redução da infiltração compromete a recarga de aquíferos, afetando a disponibilidade de água subterrânea, recurso fundamental para o abastecimento de muitas cidades (Nehren et al., 2025).

Embora as inundações urbanas afetem cidades de todos os portes, pequenos municípios enfrentam desafios particulares que os tornam especialmente vulneráveis. Pequenos municípios, definidos neste trabalho como aqueles com população inferior a 20.000 habitantes, representam a maioria das unidades municipais no Brasil, aproximadamente 68% dos 5.570 municípios brasileiros, abrigando cerca de 25% da população nacional (IBGE, 2022). Apesar de sua relevância numérica e demográfica, estes municípios têm sido historicamente negligenciados nas políticas públicas de infraestrutura e nas pesquisas acadêmicas, que tendem a se concentrar em grandes centros urbanos (Santos et al., 2024).

As características específicas de pequenos municípios, incluindo limitada capacidade de arrecadação tributária, ausência de corpo técnico especializado, dependência de transferências governamentais e fragilidade institucional, restringem severamente sua capacidade de investir em infraestrutura de drenagem e de responder adequadamente a eventos de inundação (Kuwahara, 2025). Além disso, muitos pequenos municípios não possuem Planos Diretores de Drenagem Urbana ou mesmo sistemas básicos de microdrenagem, resultando em alagamentos recorrentes que afetam a qualidade de vida da população e comprometem o desenvolvimento local (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025).

No contexto brasileiro, a situação é particularmente crítica no semiárido, região que abriga mais de 27 milhões de habitantes em 1.262 municípios distribuídos por nove estados (INSA, 2025). O semiárido brasileiro é caracterizado por um regime pluviométrico irregular, com precipitação média anual entre 200 e 800 mm, concentrada em poucos meses, e altas taxas de evapotranspiração que podem exceder 2.000 mm/ano (Malveira et al., 2012). Paradoxalmente, quando as chuvas ocorrem, elas tendem a ser intensas e concentradas, gerando grandes volumes de escoamento superficial em curto espaço de tempo e causando alagamentos severos

em áreas urbanas desprovidas de infraestrutura de drenagem adequada (Pereira, 2025).

Catingueira, município localizado no sertão paraibano, exemplifica esta problemática. Com uma população de 4.491 habitantes (IBGE, 2022), área territorial de 527,681 km² e IDHM de 0,574, Catingueira enfrenta desafios típicos de pequenos municípios do semiárido brasileiro: vulnerabilidade socioeconômica, ausência de infraestrutura de drenagem e ocorrência de alagamentos recorrentes, especialmente em conjuntos habitacionais construídos sem consideração adequada da topografia e do escoamento natural.

1.2 Justificativa

A escolha do tema dos alagamentos urbanos em pequenos municípios justifica-se pela relevância científica, social e prática do problema, especialmente no contexto de Catingueira-PB. A literatura científica ainda apresenta lacunas significativas sobre drenagem urbana em pequenas cidades, apesar de estas representarem a maioria dos municípios, com predomínio de estudos voltados a grandes centros urbanos. Do ponto de vista social, os alagamentos afetam de forma mais severa populações vulneráveis, realidade observada em Catingueira, onde parcela significativa da população apresenta baixa renda e limitada capacidade de recuperação frente a eventos extremos. Do ponto de vista técnico e prático, soluções convencionais de drenagem mostram-se pouco viáveis em pequenos municípios devido a restrições financeiras e institucionais, tornando relevantes abordagens alternativas como os Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) e as Soluções Baseadas na Natureza (NbS), especialmente adequadas a contextos de baixo orçamento e implantação gradual. Inserida no semiárido brasileiro, Catingueira apresenta um cenário de duplo desafio hídrico, escassez prolongada e chuvas intensas concentradas em poucos meses, associado à ausência de sistema formal de drenagem e à ocorrência recorrente de alagamentos, o que a torna um estudo de caso representativo para discutir estratégias de drenagem urbana adaptadas à realidade de pequenos municípios do semiárido.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise bibliométrica abrangente sobre os problemas de alagamentos em pequenos municípios no Brasil e no mundo, identificando as principais medidas

de contenção e profilaxia adotadas, e propor diretrizes estratégicas aplicáveis ao contexto de Catingueira-PB e municípios similares.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Quantificar e caracterizar a produção científica nacional e internacional sobre alagamentos urbanos e drenagem sustentável predominantemente no período 2020-2025, identificando tendências temporais, distribuição temática e principais periódicos de publicação.
- Identificar e classificar as principais medidas de contenção e profilaxia de alagamentos urbanos documentadas na literatura científica, organizando-as em categorias (estruturais, não-estruturais, SUDS, NbS) e avaliando sua aplicabilidade para pequenos municípios.
- Propor diretrizes estratégicas adaptadas para a gestão de alagamentos em pequenos municípios do semiárido brasileiro, considerando restrições financeiras e técnicas, e organizadas em horizontes de curto, médio e longo prazo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Urbanização e Impactos Hidrológicos

A urbanização é um dos processos que mais alteram a paisagem e o ciclo hidrológico. Leopold (1968) foi pioneiro ao demonstrar que a conversão de áreas naturais em áreas urbanas aumenta o escoamento superficial e reduz a infiltração e a evapotranspiração. Estudos posteriores confirmam que a urbanização é um dos principais fatores de agravamento das inundações urbanas em escala global (Dharmarathne et al., 2024).

Entre as transformações físicas associadas à urbanização, destaca-se a impermeabilização do solo decorrente da implantação de edificações, vias e estacionamentos com materiais como concreto e asfalto (Cervantes-nájera et al., 2025). Essa impermeabilização reduz significativamente a capacidade de infiltração, aumentando o volume de escoamento superficial. Evidências indicam que a impermeabilização de cerca de 10% de uma bacia pode elevar o escoamento em até 50%, enquanto valores superiores a 30% podem duplicá-lo (Wang et al., 2025).

Outro aspecto relevante é a remoção da cobertura vegetal, que desempenha papel fundamental na interceptação da precipitação, na transpiração e na melhoria da estrutura do solo (Gorzka et al., 2025). A supressão da vegetação elimina esses mecanismos naturais, reduz a infiltração e aumenta a suscetibilidade à erosão durante eventos de chuva intensa (Nehren et al., 2025).

A urbanização também frequentemente implica modificações em cursos d'água naturais, como retificação, aprofundamento ou canalização, visando aumentar a capacidade de escoamento e liberar áreas para ocupação urbana (Tucci, 2008). Embora essas intervenções possam reduzir alagamentos localizados, elas tendem a intensificar problemas a jusante devido ao aumento da velocidade do fluxo, além de comprometer funções ecológicas essenciais dos corpos hídricos (Starkey et al., 2025).

Como consequência, bacias urbanizadas apresentam maior volume e velocidade de escoamento superficial, com picos de vazão mais elevados e antecipados em relação a bacias naturais (Eshleman et al., 2025). Esse comportamento favorece a ocorrência de inundações rápidas ("flash flooding"), caracterizadas pelo curto tempo de resposta e alto potencial de danos (Zhang et al., 2025).

Além dos efeitos hidrológicos quantitativos, a urbanização impacta negativamente a qualidade da água. O escoamento superficial urbano transporta poluentes acumulados nas superfícies impermeáveis, como óleos, metais pesados, nutrientes, patógenos e resíduos sólidos, deteriorando os ecossistemas aquáticos. Esse processo é intensificado pelo fenômeno da “first flush”, no qual as primeiras porções do escoamento apresentam maiores concentrações de contaminantes (Starkey et al., 2025).

A redução da infiltração também compromete a recarga de aquíferos, afetando o abastecimento hídrico e a manutenção das vazões de base dos cursos d’água, especialmente em regiões semiáridas onde a água subterrânea é estratégica (Malveira et al., 2012; Wang et al., 2025).

Esses impactos são agravados pelas mudanças climáticas, que têm aumentado a frequência e a intensidade de eventos extremos de precipitação, ampliando os riscos associados à urbanização (Dharmarathne et al., 2024; Zhou et al., 2024).

Diante desse cenário, a literatura aponta limitações das abordagens tradicionais de drenagem baseadas apenas na rápida condução da água. Consolida-se, assim, a necessidade de estratégias mais integradas, capazes de promover infiltração, retenção e tratamento da água no local de origem, fundamentos que sustentam os conceitos de Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS), Soluções Baseadas na Natureza (NbS) e Infraestrutura Verde, discutidos nas seções seguintes.

2.2 Inundações Urbanas: Conceitos e Tipologias

As inundações urbanas resultam da interação entre fatores meteorológicos, hidrológicos, topográficos e antrópicos, configurando um fenômeno complexo e multifatorial (Dharmarathne et al., 2024). A compreensão adequada desse processo exige a definição clara de conceitos e a distinção entre seus diferentes tipos, o que é fundamental para o planejamento de medidas mitigadoras eficazes (Zhang et al., 2025).

Segundo Tucci (2007), inundação corresponde ao transbordamento de um curso d’água para sua planície de inundação. Quando esse processo ocorre em áreas urbanizadas, afetando população, infraestrutura e atividades econômicas, caracteriza-se a inundação urbana (Tucci, 2008). Deve-se distinguir inundação de alagamento: enquanto a primeira está associada ao transbordamento de rios ou córregos, o

alagamento refere-se ao acúmulo de água decorrente da insuficiência do sistema de drenagem, sem necessariamente envolver extravasamento de cursos d'água (Starkey et al., 2025).

Baptista, Nascimento e Barraud (2005) classificam as inundações urbanas em três categorias principais, amplamente adotadas na literatura (Rodrigues et al., 2025):

Inundações ribeirinhas ou fluviais, que ocorrem quando o nível de rios ou córregos excede a capacidade do leito, atingindo áreas adjacentes. Em ambientes urbanos, são intensificadas pela ocupação de várzeas e pela impermeabilização da bacia, apresentando maior área de abrangência e duração relativamente mais longa (Zhou et al., 2024; Zhang et al., 2025).

Inundações por alagamento (ou pluviais), associadas à incapacidade dos sistemas de micro e macrodrenagem em escoar o volume precipitado. São comuns em áreas baixas ou com drenagem insuficiente ou obstruída, tendendo a ser mais localizadas e de curta duração, porém com elevado potencial de danos em áreas densamente ocupadas (Starkey et al., 2025; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025).

Inundações costeiras, relacionadas a marés elevadas, ressacas e tempestades que provocam a elevação do nível do mar e a inundação de áreas litorâneas baixas. Embora relevantes no contexto das mudanças climáticas, não constituem o foco deste trabalho, que se concentra em um município do interior (Dharmarathne et al., 2024; Zhang et al., 2025).

Em pequenos municípios do interior, como Catingueira-PB, predominam as inundações ribeirinhas e, principalmente, os alagamentos, associados à insuficiência dos sistemas de drenagem e à ocorrência de chuvas intensas, características do semiárido (Malveira et al., 2012; Pereira, 2025).

As causas das inundações urbanas são diversas e inter-relacionadas, destacando-se a impermeabilização do solo, a ocupação de áreas de risco, a obstrução e o assoreamento de cursos d'água, o subdimensionamento ou ausência de sistemas de drenagem e os efeitos das mudanças climáticas, que têm aumentado a frequência e a intensidade de eventos extremos de precipitação (Tucci, 2008; Dharmarathne et al., 2024; Zhou et al., 2024).

Os impactos das inundações urbanas manifestam-se em diferentes dimensões. No aspecto econômico, incluem danos a edificações, infraestrutura pública, interrupção

de atividades produtivas e elevados custos de resposta e recuperação, com prejuízos globais anuais superiores a 100 bilhões de dólares (Zhang et al., 2025). Socialmente, afetam de forma desproporcional populações vulneráveis, resultando em perdas humanas, deslocamentos, interrupção de serviços essenciais e agravamento das desigualdades (Fan et al., 2025; Santos et al., 2024). Ambientalmente, promovem a degradação da qualidade da água, o transporte de poluentes e o aumento da erosão e do assoreamento (Eshleman et al., 2025; Pereira, 2025). Do ponto de vista da saúde pública, estão associadas ao aumento de doenças de veiculação hídrica, doenças transmitidas por vetores e problemas respiratórios decorrentes da umidade em áreas afetadas (Santos et al., 2020).

2.3 Pequenos Municípios e Vulnerabilidade Hídrica

A definição de “pequeno município” varia conforme o contexto adotado. No Brasil, embora o IBGE classifique os municípios por faixas populacionais, não há uma definição oficial única. Neste trabalho, adota-se a classificação de “pequenos municípios” como aqueles com população inferior a 20 000 habitantes, conforme critério frequentemente utilizado em estudos de planejamento urbano e documentado em análises demográficas que utilizam dados do IBGE (IBGE, 2010 apud autor; CNM/IBGE, 2025)

Segundo o IBGE (2022), aproximadamente 68% dos municípios brasileiros enquadram-se nessa categoria, correspondendo a cerca de 3.800 municípios e abrigando aproximadamente 25% da população nacional, o que representa cerca de 53 milhões de pessoas. Apesar de sua expressiva representatividade numérica e demográfica, esses municípios têm sido historicamente negligenciados nas políticas públicas de infraestrutura e nos estudos acadêmicos, que tendem a priorizar grandes centros urbanos (Santos et al., 2024; Kuwahara, 2025).

Pequenos municípios apresentam características específicas que influenciam sua dinâmica urbana e ambiental. Do ponto de vista demográfico, destacam-se a baixa densidade populacional, o envelhecimento da população e a migração de jovens para cidades maiores (IBGE, 2022). Economicamente, possuem base produtiva pouco diversificada, com predominância de atividades primárias e serviços básicos, além de baixa arrecadação própria e elevada dependência de transferências governamentais, o que limita a capacidade de investimento em infraestrutura (Kuwahara, 2025).

No aspecto institucional, esses municípios frequentemente carecem de corpo técnico especializado e de capacidade administrativa para elaboração de projetos e captação de recursos. A reduzida estrutura administrativa e a descontinuidade de políticas públicas, associada à alternância de gestões, dificultam o planejamento e a implementação de ações de médio e longo prazo (Rodrigues et al., 2025).

Essas condições tornam os pequenos municípios particularmente vulneráveis a problemas relacionados à drenagem urbana e às inundações. A vulnerabilidade pode ser compreendida como a suscetibilidade de um sistema aos efeitos adversos de eventos extremos, sendo função da exposição, da sensibilidade e da capacidade adaptativa (IPCC, 2014).

No que se refere à exposição, municípios localizados em regiões com regime pluviométrico irregular, como o semiárido brasileiro, estão sujeitos a eventos de chuvas intensas capazes de sobrecarregar sistemas de drenagem inexistentes ou inadequados, sendo essa exposição frequentemente agravada por condições topográficas desfavoráveis (Pereira, 2025; Tomaz, 2023).

Quanto à sensibilidade, a ausência ou precariedade da infraestrutura de drenagem, a ocupação de áreas de risco e a dependência de atividades econômicas vulneráveis aos alagamentos aumentam significativamente os impactos das precipitações intensas (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025; Fan et al., 2025).

A capacidade adaptativa desses municípios é limitada pela escassez de recursos financeiros, pela falta de equipes técnicas qualificadas e pela reduzida capacidade de resposta emergencial, fatores que ampliam os danos associados às inundações e dificultam a adoção de medidas preventivas (Kuwahara, 2025; Rodrigues et al., 2025).

Estudos realizados em pequenos municípios de outras regiões do mundo, como os de Santos et al. (2024) na África Subsaariana, identificam padrões semelhantes aos observados no contexto brasileiro, indicando que soluções desenvolvidas para grandes cidades não são diretamente transferíveis para municípios de pequeno porte. Dessa forma, torna-se necessária a adoção de abordagens específicas, compatíveis com suas limitações institucionais e financeiras.

Por outro lado, pequenos municípios apresentam oportunidades importantes, como maior coesão social, conhecimento local detalhado e escala urbana reduzida, que favorecem soluções participativas e a implementação de projetos-piloto. Nesse

contexto, abordagens como os Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) e as Soluções Baseadas na Natureza (NbS) mostram-se alternativas viáveis e potencialmente mais adequadas do que grandes obras de infraestrutura convencional (Starkey et al., 2025; Wang et al., 2025).

2.4 O Semiárido Brasileiro e Seus Desafios Hídricos

O semiárido brasileiro é uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo, abrigando cerca de 27 milhões de habitantes distribuídos em 1.262 municípios de nove estados do Nordeste e norte de Minas Gerais (INSA, 2025). A delimitação oficial, estabelecida pela SUDENE, considera três critérios principais: precipitação média anual inferior a 800 mm, índice de aridez igual ou inferior a 0,5 e risco de seca superior a 60% (SUDENE, 2017).

O clima semiárido caracteriza-se por elevada variabilidade temporal e espacial das chuvas, altas taxas de evapotranspiração e balanço hídrico frequentemente negativo (Malveira et al., 2012). A precipitação anual varia, em geral, entre 200 e 800 mm, concentrando-se em poucos meses do ano, com recorrência de períodos de seca prolongada, como o registrado entre 2012 e 2017 (INSA, 2025; Pereira, 2025).

Apesar da escassez hídrica predominante, os eventos de chuva no semiárido tendem a ser intensos e concentrados. Precipitações de 50 a 100 mm em poucas horas são relativamente comuns e podem representar parcela significativa da chuva anual (Malveira et al., 2012; Tomaz, 2023). Em razão dos solos rasos, da baixa infiltração e da cobertura vegetal reduzida, esses eventos geram elevado escoamento superficial em curto intervalo de tempo, favorecendo a ocorrência de alagamentos urbanos.

Nas áreas urbanas do semiárido, a drenagem enfrenta um desafio específico: os sistemas permanecem secos durante longos períodos e são subitamente sobrecarregados durante eventos extremos, resultando em falhas de escoamento e alagamentos recorrentes (Pereira, 2025). Além disso, a percepção social do risco é reduzida, o que contribui para a ocupação de áreas vulneráveis (Tomaz, 2023).

Malveira et al. (2012) destacam que soluções convencionais de drenagem, desenvolvidas para climas úmidos, são inadequadas para o semiárido. Os autores defendem a adoção de sistemas que não apenas conduzam a água, mas também promovam sua retenção, infiltração e aproveitamento, contribuindo para a recarga de aquíferos e para a segurança hídrica.

Essa abordagem está alinhada ao conceito de “convivência com o semiárido”, que substitui o paradigma histórico de combate à seca por estratégias de adaptação às condições climáticas regionais (INSA, 2025). No contexto da drenagem urbana, isso implica integrar a gestão de águas pluviais à gestão de recursos hídricos, priorizar soluções multifuncionais, valorizar o conhecimento local e incentivar a participação comunitária (Malveira et al., 2012; Rodrigues et al., 2025).

O município de Catingueira-PB, foco deste estudo, insere-se plenamente nesse contexto. Apresenta precipitação média anual em torno de 969,8 mm, concentrada entre fevereiro e maio, clima do tipo BSh segundo Köppen e elevada evapotranspiração, resultando em déficit hídrico na maior parte do ano (Pereira, 2025; Malveira et al., 2012). Assim, o município enfrenta simultaneamente desafios relacionados à escassez hídrica nos períodos secos e ao manejo do excesso de água durante eventos chuvosos, exigindo uma abordagem integrada e adaptada à realidade do semiárido.

2.5 Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS)

Os Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) representam um paradigma contemporâneo na gestão de águas pluviais urbanas, sendo conhecidos internacionalmente como Low Impact Development (LID), Water Sensitive Urban Design (WSUD) ou, no Brasil, Técnicas Compensatórias (Starkey et al., 2025). Surgidos no Reino Unido na década de 1990, os SUDS difundiram-se globalmente como alternativa ou complemento aos sistemas convencionais de drenagem (Woods Ballard et al., 2015).

A premissa central dos SUDS é o manejo das águas pluviais próximo à sua fonte, buscando reproduzir os processos hidrológicos naturais pré-urbanização. Diferentemente da drenagem tradicional, que prioriza a rápida condução da água, os SUDS promovem infiltração, armazenamento, evapotranspiração e tratamento, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento superficial (Wang et al., 2025; Starkey et al., 2025).

Segundo Woods Ballard (2015), os SUDS baseiam-se em quatro princípios fundamentais:

1. Controle quantitativo, reduzindo volumes e picos de vazão;

2. Melhoria da qualidade da água, por meio de processos físicos, químicos e biológicos;
3. Amenidade urbana, integrando água e paisagem;
4. Promoção da biodiversidade, por meio da criação de habitats urbanos.

Os SUDS englobam um conjunto diversificado de técnicas que podem ser combinadas em sistemas integrados (treatment trains), aumentando sua eficiência (Starkey et al., 2025). Entre as principais destacam-se: pavimentos permeáveis, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, biovaletas, wetlands construídas e estruturas de retenção ou retenção, como cisternas e reservatórios (Cervantes-nájera et al., 2025; Lu et al., 2024; Eshleman et al., 2025).

Diversos estudos demonstram a eficácia dessas técnicas. Starkey et al. (2025) indicam que os SUDS podem reduzir o volume de escoamento superficial entre 40% e 80% e retardar significativamente os picos de vazão. Biovaletas e jardins de chuva apresentam elevada eficiência na retenção e no tratamento do escoamento, especialmente em eventos de chuva intensa concentrada (Lu et al., 2024; Eshleman et al., 2025).

Além do controle hidrológico, os SUDS oferecem co-benefícios ambientais, sociais e econômicos. Destacam-se a melhoria da qualidade da água, a redução de poluentes, o sequestro de carbono, a mitigação de ilhas de calor, a valorização do espaço urbano e o aumento do bem-estar da população (Gorzka et al., 2025; Cervantes-nájera et al., 2025). Estudos recentes indicam que soluções baseadas na natureza podem apresentar custos de implantação e manutenção inferiores aos da infraestrutura cinza convencional (ASLA, 2025).

Para pequenos municípios, os SUDS apresentam vantagens adicionais, como modularidade, flexibilidade de implantação e menor exigência de recursos financeiros e técnicos (Rodrigues et al., 2025). A possibilidade de uso de materiais locais, manutenção simplificada e integração com processos participativos torna essas soluções particularmente adequadas a contextos de restrição orçamentária e institucional, como os observados em municípios do semiárido brasileiro (Starkey et al., 2025).

2.6 Soluções Baseadas na Natureza (NbS)

As Soluções Baseadas na Natureza (Nature-based Solutions – NbS) constituem um conceito abrangente que engloba os Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) e outras abordagens que utilizam ou mimetizam processos naturais para enfrentar desafios sociais, como a gestão de riscos de inundações, a adaptação às mudanças climáticas e a gestão de recursos hídricos (Zhou et al., 2024).

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) define NbS como ações voltadas à proteção, gestão sustentável e restauração de ecossistemas naturais ou modificados, capazes de enfrentar desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, gerando simultaneamente benefícios ao bem-estar humano e à biodiversidade (IUCN, 2016). Essa definição tem sido amplamente adotada na literatura científica e em políticas públicas globais (Wang et al., 2025).

No contexto da gestão de inundações, as NbS incluem intervenções como a restauração de planícies de inundação, wetlands naturais ou construídas, reflorestamento e conservação de bacias hidrográficas, infraestrutura verde urbana (parques, praças e corredores verdes) e práticas de conservação do solo em áreas rurais (Nehren et al., 2025; Wang et al., 2025). Essas estratégias atuam no armazenamento temporário da água, no aumento da infiltração, na redução do escoamento superficial e na melhoria da qualidade da água.

A crescente adoção das NbS reflete o reconhecimento de que ecossistemas saudáveis desempenham papel fundamental na regulação hidrológica, enquanto sua degradação aumenta a vulnerabilidade a eventos extremos, como inundações (Zhou et al., 2024; Nehren et al., 2025). Estudos recentes indicam que as NbS podem ser tão ou mais eficazes que soluções de engenharia convencional, além de frequentemente apresentarem melhor custo-benefício quando considerados seus múltiplos co-benefícios ambientais e sociais (Zhou et al., 2024).

Wang et al. (2025) destacam que a implementação eficaz das NbS requer uma abordagem sistêmica e integrada ao planejamento urbano, considerando as características locais e a escala de bacia hidrográfica. Para pequenos municípios, as NbS representam uma oportunidade particularmente promissora, devido à maior disponibilidade de áreas naturais ou semi-naturais, menores custos de implantação e potencial para geração de benefícios adicionais, como áreas de lazer, valorização

paisagística e fortalecimento da identidade local (Rodrigues et al., 2025; Santos et al., 2024).

A literatura aponta que a integração de NbS com medidas estruturais tradicionais, em uma abordagem híbrida, tende a produzir os melhores resultados (Nehren et al., 2025). Estruturas como reservatórios de amortecimento de cheias, por exemplo, podem ser concebidas como wetlands construídos, combinando o controle de inundações com tratamento de água, promoção da biodiversidade e uso recreativo (Wang et al., 2025).

2.7 Infraestrutura Verde

O conceito de Infraestrutura Verde (Green Infrastructure – GI) está intimamente relacionado aos Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) e às Soluções Baseadas na Natureza (NbS), com ênfase na criação de redes interconectadas de espaços verdes e elementos naturais no ambiente urbano (Cervantes-nájera et al., 2025). Segundo a Comissão Europeia, a Infraestrutura Verde consiste em uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e semi-naturais, projetada para fornecer múltiplos serviços ecossistêmicos e proteger a biodiversidade em contextos urbanos e rurais (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

Na gestão de águas pluviais, a Infraestrutura Verde atua como um sistema distribuído que intercepta, armazena, infiltra e trata o escoamento superficial, contrastando com a infraestrutura cinza tradicional, voltada principalmente à condução rápida da água (Gorzka et al., 2025). Sua principal característica é a multifuncionalidade, ao combinar controle de inundações com melhoria da qualidade da água, regulação microclimática, sequestro de carbono, provisão de habitats, recreação e benefícios paisagísticos (Cervantes-nájera et al., 2025).

Estudos recentes demonstram que a eficácia da Infraestrutura Verde depende de fatores como a proporção de áreas verdes, a conectividade entre seus elementos, as características do solo e da vegetação e o regime de chuvas (Gorzka et al., 2025). Modelagens indicam que a adoção de Infraestrutura Verde em 10 a 20% da área urbana pode reduzir significativamente o escoamento superficial e retardar os picos de vazão (Cervantes-nájera et al., 2025).

Além dos benefícios hidrológicos, a Infraestrutura Verde apresenta importante potencial social, ao distribuir seus benefícios de forma mais equitativa no território

urbano. Quando planejada sob a ótica da justiça ambiental, pode priorizar áreas mais vulneráveis, que frequentemente apresentam menor oferta de espaços verdes e maior exposição a riscos ambientais (Fan et al., 2025).

Para pequenos municípios, a Infraestrutura Verde representa uma estratégia particularmente viável (Rodrigues et al., 2025). A maior disponibilidade de espaço, o menor custo da terra e a escala urbana reduzida facilitam sua incorporação ao planejamento urbano. Além disso, pode gerar benefícios econômicos indiretos, como valorização urbana, incentivo ao turismo local e criação de empregos relacionados à manutenção das áreas verdes (Santos et al., 2024).

2.8 Cidades-Esponja: O Conceito Chinês

O conceito de Cidades-Esponja (Sponge Cities) é uma iniciativa chinesa de gestão de águas pluviais urbanas lançada oficialmente em 2013, com o objetivo de transformar as cidades em sistemas capazes de absorver, armazenar, infiltrar, tratar e reutilizar a água da chuva (Fu et al., 2023; Chen et al., 2025). A abordagem tem atraído atenção internacional por sua escala de implementação e forte apoio governamental (Lu et al., 2025).

A filosofia das Cidades-Esponja é conceitualmente próxima aos Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) e às Soluções Baseadas na Natureza (NbS), porém aplicada de forma integrada e em larga escala (Lu et al., 2025). O programa estabelece como meta que, até 2030, 80% das áreas urbanas chinesas sejam capazes de absorver e reutilizar ao menos 70% da água da chuva. Até 2023, mais de 30 cidades piloto haviam sido selecionadas, com investimentos superiores a 100 bilhões de yuans (aproximadamente 15 bilhões de dólares) (Chen et al., 2025).

As Cidades-Esponja combinam diversas medidas, incluindo telhados verdes, jardins de chuva, pavimentos permeáveis, wetlands construídas, restauração de cursos d'água e sistemas de captação e reutilização de águas pluviais em escala de edifício e de bairro (Fu et al., 2023; Chen et al., 2025). Estudos empíricos indicam que essa combinação tem sido eficaz na redução do escoamento superficial e na mitigação de inundações urbanas em eventos típicos de precipitação (Chen et al., 2025; Lu et al., 2025).

Apesar dos avanços, a experiência chinesa também evidenciou limitações. O evento extremo de inundação ocorrido em Zhengzhou em 2021, que resultou em mais de 300

mortes, levantou questionamentos sobre a capacidade das Cidades-Esponja de lidar com eventos extremos sem precedentes (Fu et al., 2023). Segundo Fu et al. (2023), essas soluções são eficazes para chuvas moderadas, mas insuficientes quando não integradas a medidas estruturais convencionais, sistemas de monitoramento e alerta, e adequado planejamento do uso do solo.

A experiência das Cidades-Esponja oferece lições relevantes para outros países, incluindo o Brasil (Rodrigues et al., 2025). Embora a escala de investimento chinesa não seja replicável, seus princípios fundamentais — absorção, armazenamento, infiltração e reutilização da água da chuva — podem ser adaptados ao contexto de pequenos municípios brasileiros de forma gradual e financeiramente viável (Santos et al., 2024).

2.9 Panorama da Drenagem Urbana no Brasil

O Brasil enfrenta desafios estruturais significativos na drenagem urbana e no manejo de águas pluviais. Segundo o Instituto Trata Brasil (2025), aproximadamente 32,4% dos municípios brasileiros não possuem qualquer solução de drenagem urbana, e apenas 20,8% contam com Plano Diretor de Drenagem Urbana, evidenciando a fragilidade do setor no país. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), instrumento de planejamento integrado do saneamento no Brasil, a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas integram os componentes essenciais das políticas públicas de saneamento, reforçando a necessidade de ações de gestão que articulem infraestrutura, planejamento territorial e mitigação de riscos urbanos (BRASIL, Ministério das Cidades).

A situação é ainda mais crítica em pequenos municípios. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023) indicam que cerca de 95% dos municípios com população superior a 100.000 habitantes possuem algum tipo de sistema de drenagem, enquanto esse percentual cai para menos de 50% entre municípios com menos de 20.000 habitantes. Essa desigualdade contribui para a elevada recorrência de desastres associados a inundações e alagamentos no país.

Entre 2010 e 2023, mais de 2.000 municípios brasileiros decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública em decorrência de inundações, alagamentos ou enxurradas, afetando milhões de pessoas e gerando prejuízos econômicos estimados em dezenas de bilhões de reais (CEPED, 2023). Esses

eventos expõem a vulnerabilidade da infraestrutura urbana brasileira, especialmente em contextos de menor capacidade técnica e financeira (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025).

Kuwahara (2025), em estudo do IPEA sobre a governança da drenagem urbana no Brasil, destaca dois entraves centrais: a ausência de uma fonte de financiamento dedicada e sustentável e a fragmentação institucional. Diferentemente dos serviços de água e esgoto, financiados por tarifas, a drenagem urbana depende majoritariamente do orçamento municipal geral e de transferências intergovernamentais, frequentemente insuficientes. Além disso, as responsabilidades pela drenagem são distribuídas entre diferentes órgãos, dificultando a coordenação e a implementação de soluções integradas, sobretudo em pequenos municípios com limitada capacidade técnica.

Do ponto de vista legal, o país dispõe de um arcabouço relativamente avançado. A Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, incluindo a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas, e determina a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (BRASIL, 2020). No entanto, a implementação efetiva desses instrumentos tem sido lenta, especialmente nos pequenos municípios (Kuwahara, 2025; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025).

Rodrigues et al. (2025), ao analisarem a legislação das capitais brasileiras, identificam uma tendência crescente de incorporação de conceitos de drenagem sustentável. Embora 67% das capitais mencionem técnicas sustentáveis ou compensatórias em seus planos diretores ou códigos de obras, apenas 26% possuem regulamentação específica e detalhada, indicando que a adoção prática dessas abordagens ainda é limitada.

No semiárido brasileiro, os desafios da drenagem urbana são agravados pela dualidade hídrica da região (Malveira et al., 2012). Durante a maior parte do ano, a prioridade dos investimentos públicos recai sobre o enfrentamento da escassez hídrica, enquanto a drenagem urbana tende a ser negligenciada, apesar da ocorrência de chuvas intensas e concentradas nos períodos chuvosos (Pereira, 2025). Malveira et al. (2012) defendem a necessidade de uma abordagem integrada, na qual os sistemas de drenagem sejam concebidos não apenas para evacuar a água, mas

também para promovê-la retenção e infiltração, contribuindo para a recarga de aquíferos.

Apesar dos desafios, observa-se no Brasil um reconhecimento crescente da necessidade de mudança de paradigma na drenagem urbana, com iniciativas pontuais de implementação de SUDS, infraestrutura verde e capacitação técnica em diferentes municípios (Kuwahara, 2025; Rodrigues et al., 2025). Esse contexto reforça a relevância de estudos voltados a pequenos municípios do semiárido, como o presente trabalho, que buscam soluções adaptadas às limitações técnicas, financeiras e institucionais locais.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

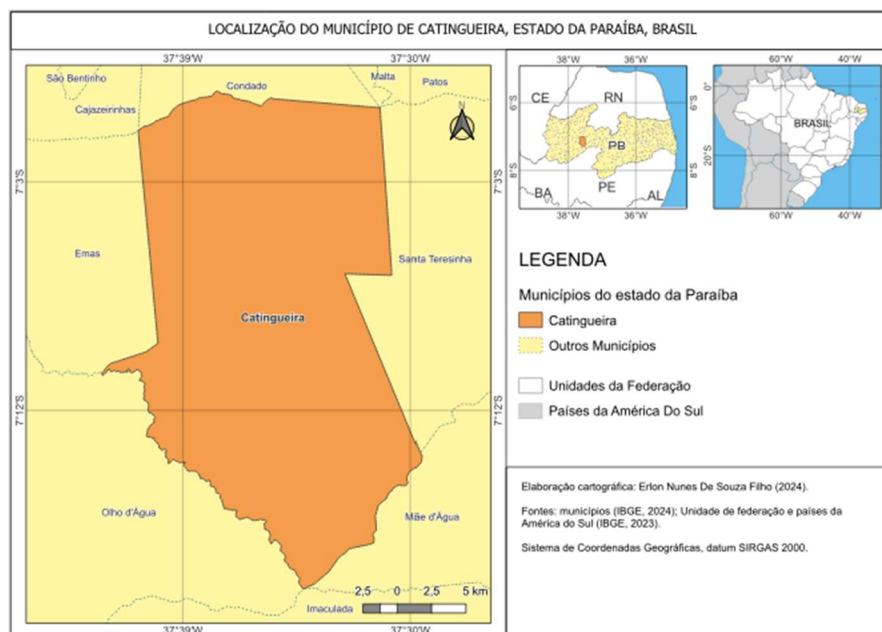
Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem quali-quantitativa e objetivos descritivos e exploratórios (Gil, 2008). Seu caráter aplicado decorre da intenção de gerar conhecimento voltado à solução prática de problemas relacionados aos alagamentos urbanos em pequenos municípios (Prodanov; Freitas, 2013). A abordagem quantitativa manifesta-se na análise bibliométrica, por meio da quantificação de indicadores de produção científica, como número de publicações, citações e distribuição temporal e temática (Araújo, 2006). A abordagem qualitativa, por sua vez, ocorre na análise de conteúdo dos estudos selecionados e na identificação de medidas e diretrizes adaptadas ao contexto analisado (Bardin, 2011).

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa combina pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso (Gil, 2008). A pesquisa bibliográfica constitui o núcleo metodológico do trabalho, sendo desenvolvida por meio de análise bibliométrica sistemática. A pesquisa documental envolve a análise de dados e relatórios oficiais para contextualização da problemática, enquanto o estudo de caso utiliza o município de Catingueira-PB como referência representativa para ilustrar a realidade dos pequenos municípios do semiárido e a aplicabilidade das diretrizes propostas (Yin, 2015).

3.2 Área de Estudo: Catingueira-PB

Catingueira é um município localizado no sertão do estado da Paraíba, na mesorregião do Sertão Paraibano e na microrregião de Patos (IBGE, 2022). Situa-se a aproximadamente 380 km da capital João Pessoa, com coordenadas geográficas centrais de 7°07'15" S e 37°36'00" W.

Figura 1- Mapa de localização de Catingueira-PB



Fonte: QGIS 3.40.8. Elaboração própria.

Segundo dados do Censo Demográfico de 2022, Catingueira possui uma população de 4.491 habitantes, distribuídos em uma área territorial de 527,681 km², resultando em uma densidade demográfica de 8,51 hab/km² (IBGE, 2022). A população é predominantemente urbana, com 59,3% residindo na sede municipal e 40,7% na área rural.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de Catingueira era de 0,574 em 2010, classificado como desenvolvimento médio-baixo (IBGE, 2022). Este valor está abaixo da média nacional (0,727) e da média estadual da Paraíba (0,658). A renda per capita média era de R\$ 348,55 em 2010, e 57,9% da população vivia com renda domiciliar per capita inferior a meio salário mínimo (IBGE, 2022).

O PIB municipal em 2021 foi de R\$ 48,6 milhões, resultando em um PIB per capita de R\$ 10.823,73 (IBGE, 2022). A economia baseia-se principalmente na agropecuária (especialmente caprino-ovinocultura adaptada ao semiárido) e no setor de serviços, com destaque para o comércio local e a administração pública.

Do ponto de vista climático, Catingueira insere-se no clima semiárido quente (BSh segundo Köppen), com precipitação média anual de aproximadamente 969,8 mm, concentrada entre fevereiro e maio (Pereira, 2025). A temperatura média anual é de 26°C, com pequena variação sazonal. A evapotranspiração potencial é elevada, superior a 2.000 mm/ano, resultando em um déficit hídrico durante a maior parte do ano (Malveira et al., 2012).

A vegetação predominante é a Caatinga hiperxerófila, adaptada às condições de aridez, com espécies como jurema-preta, catingueira, xique-xique e mandacaru (IBGE, 2022). O relevo é suave ondulado, com altitudes variando entre 250 e 400 metros. Os solos são predominantemente Luvisolos e Neossolos Litólicos, rasos e com baixa capacidade de retenção de água (Pereira, 2025).

Catingueira não possui sistema formal de drenagem urbana (Pereira, 2025). Durante os eventos de chuva intensa, característicos do período chuvoso, ocorrem alagamentos recorrentes, especialmente em dois conjuntos habitacionais construídos em áreas baixas sem consideração adequada da topografia e do escoamento natural. Estes alagamentos causam transtornos à população, incluindo danos a residências, interrupção de vias de acesso e riscos à saúde pública.

A escolha de Catingueira como área de estudo justifica-se por suas características arquetípicas de pequeno município do semiárido brasileiro: população reduzida, baixa capacidade de arrecadação, vulnerabilidade socioeconômica, ausência de infraestrutura de drenagem e ocorrência de alagamentos recorrentes (Pereira, 2025). As diretrizes estratégicas desenvolvidas para Catingueira podem ser adaptadas e aplicadas a centenas de outros municípios com características similares.

3.2.1 Coleta de Dados Contextuais

A coleta de dados contextuais sobre Catingueira-PB e sobre o panorama da drenagem urbana no Brasil foi realizada através de fontes secundárias oficiais e confiáveis. As principais fontes utilizadas foram:

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Dados demográficos, socioeconômicos, territoriais e ambientais do município de Catingueira-PB foram obtidos através do portal IBGE Cidades (<https://cidades.ibge.gov.br/>) e de publicações oficiais do Censo Demográfico 2022 (IBGE, 2022).

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Dados sobre a situação da drenagem urbana nos municípios brasileiros foram obtidos através do SNIS, especificamente do componente de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (SNIS, 2023).

Instituto Trata Brasil: Relatórios e estudos sobre a situação do saneamento básico e da drenagem urbana no Brasil foram consultados, especialmente o "Estudo sobre o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil" (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025).

Instituto Nacional do Semiárido (INSA): Informações sobre as características climáticas, hidrológicas e socioeconômicas do semiárido brasileiro foram obtidas através de publicações e dados disponibilizados pelo INSA (INSA, 2025).

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA): Estudos sobre governança da drenagem urbana e políticas públicas de saneamento foram consultados, especialmente os trabalhos de Kuwahara (2025).

3.3 Pesquisa Bibliométrica

A pesquisa bibliométrica foi conduzida de forma sistemática, seguindo as diretrizes do protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) adaptadas para estudos bibliométricos (PAGE et al., 2021).

Figura 2– Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos artigos



Fonte: Autoria Própria, 2025.

O processo compreendeu quatro fases principais:

3.3.1 Definição de Questões de Pesquisa e Critérios

As seguintes questões de pesquisa nortearam a busca bibliométrica:

- Qual é o volume e a tendência temporal da produção científica sobre alagamentos urbanos e drenagem sustentável no período 2020-2025?
- Quais são os principais temas e abordagens presentes na literatura internacional e nacional?
- Quais medidas de contenção e profilaxia de alagamentos são documentadas na literatura científica recente?

- Qual é a aplicabilidade dessas medidas para pequenos municípios, especialmente no contexto do semiárido brasileiro?

Os critérios de inclusão estabelecidos foram:

- Artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares;
- Período de publicação: 2020 a 2025, como recorte temporal principal;
- Idiomas: inglês, português e espanhol;
- Temas: drenagem urbana, alagamentos, inundações urbanas, SUDS, NbS, infraestrutura verde, cidades-esponja, pequenos municípios, semiárido

Os critérios de exclusão foram:

- Publicações anteriores a 2020 que não representem relevância conceitual, histórica ou elevado impacto científico para o tema estudado;
- Trabalhos não revisados por pares (teses, dissertações, relatórios técnicos, livros);
- Artigos que tratam exclusivamente de inundações rurais ou costeiras;
- Artigos puramente teóricos sem componente empírico ou aplicado.

3.3.2 Busca e Seleção de Artigos

As buscas foram realizadas em bases de dados científicas reconhecidas:

- **Web of Science:** Base multidisciplinar com cobertura internacional abrangente;
- **Scopus:** Base multidisciplinar com forte cobertura em engenharia e ciências ambientais;
- **Google Scholar:** Complementação para capturar artigos não indexados nas bases anteriores;
- **SciELO (Scientific Electronic Library Online):** Base com foco em publicações latino-americanas, especialmente brasileiras

As estratégias de busca utilizaram combinações de palavras-chave em inglês e português:

- Inglês: "urban flooding", "urban drainage", "SUDS", "sustainable drainage", "nature-based solutions", "green infrastructure", "sponge cities", "small cities", "small municipalities";
- Português: "alagamentos urbanos", "drenagem urbana", "drenagem sustentável", "soluções baseadas na natureza", "infraestrutura verde", "pequenos municípios", "semiárido"

As buscas foram realizadas entre setembro e novembro de 2025, garantindo a captura de publicações recentes. Um total de 487 artigos foi inicialmente identificado através das buscas nas bases de dados.

3.3.3 Triagem e Seleção

A triagem dos artigos foi realizada em duas etapas:

- *Etapa 1 - Triagem por Título e Resumo:* Os 487 artigos identificados foram avaliados quanto à relevância através da leitura de títulos e resumos. Artigos claramente fora do escopo foram excluídos. Ao final desta etapa, 89 artigos foram selecionados para leitura completa.
- *Etapa 2 - Leitura Completa e Seleção Final:* Os 89 artigos pré-selecionados foram lidos integralmente e avaliados quanto à qualidade metodológica, relevância para os objetivos da pesquisa e contribuição para o conhecimento sobre o tema. Ao final desta etapa, 23 artigos foram selecionados para compor o corpus da análise bibliométrica: 14 artigos internacionais e 9 artigos nacionais.

Fase 4: Extração de Dados

Para cada um dos 23 artigos selecionados, foram extraídos os seguintes dados:

- Dados bibliográficos: autores, título, periódico, ano de publicação, volume e número de páginas;
- Dados de impacto: número de citações (obtido através do Google Scholar);
- Dados de conteúdo: tema principal, metodologia, área geográfica de estudo, tipo de medida de contenção/profilaxia abordada, principais resultados e conclusões.

Os dados extraídos foram organizados em uma planilha eletrônica (Microsoft Excel) para facilitar a análise posterior.

3.3.4 Análise e Classificação dos Dados

Os artigos selecionados foram analisados e classificados segundo múltiplos critérios:

Classificação Temporal: Os artigos foram agrupados por ano de publicação (2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025) para identificar tendências temporais na produção científica. Com adição de dois (1997 e 2012) escolhidos por grande relevância no tema.

Classificação Geográfica: Os artigos foram classificados quanto à origem (internacional ou nacional) e quanto à região geográfica de estudo (quando aplicável).

Classificação Temática: Os artigos foram classificados segundo seu tema principal, utilizando as seguintes categorias:

- SUDS e técnicas compensatórias;
- Soluções Baseadas na Natureza (NbS);
- Infraestrutura Verde;
- Cidades-Esponja;
- Governança e políticas públicas;
- Financiamento e aspectos econômicos;
- Pequenos municípios e vulnerabilidade;
- Semiárido e regiões áridas;
- Mudanças climáticas e eventos extremos.

Classificação por Tipo de Medida: As medidas de contenção e profilaxia identificadas nos artigos foram classificadas em três categorias principais (Tucci, 2008; Baptista; Nascimento; Barraud, 2005):

- Medidas estruturais: obras de engenharia para controle de inundações (canais, reservatórios, diques);
- Medidas não-estruturais: ações de planejamento, regulação, educação e alerta;
- Medidas sustentáveis: SUDS, NbS, infraestrutura verde.

Análise Estatística e Visualização

Os dados quantitativos extraídos foram analisados utilizando estatística descritiva, incluindo (Field, 2009). com ênfase em medidas de tendência central (média e mediana) e análises comparativas entre os conjuntos de artigos nacionais e internacionais.

A análise estatística foi realizada com auxílio do software Microsoft Excel.

Foram criadas visualizações gráficas para facilitar a compreensão e a comunicação dos resultados, incluindo:

- Gráficos de barras: distribuição temporal de publicações, comparação de citações (Média e Mediana)
- Gráficos de setores: Distribuição temática dos artigos

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

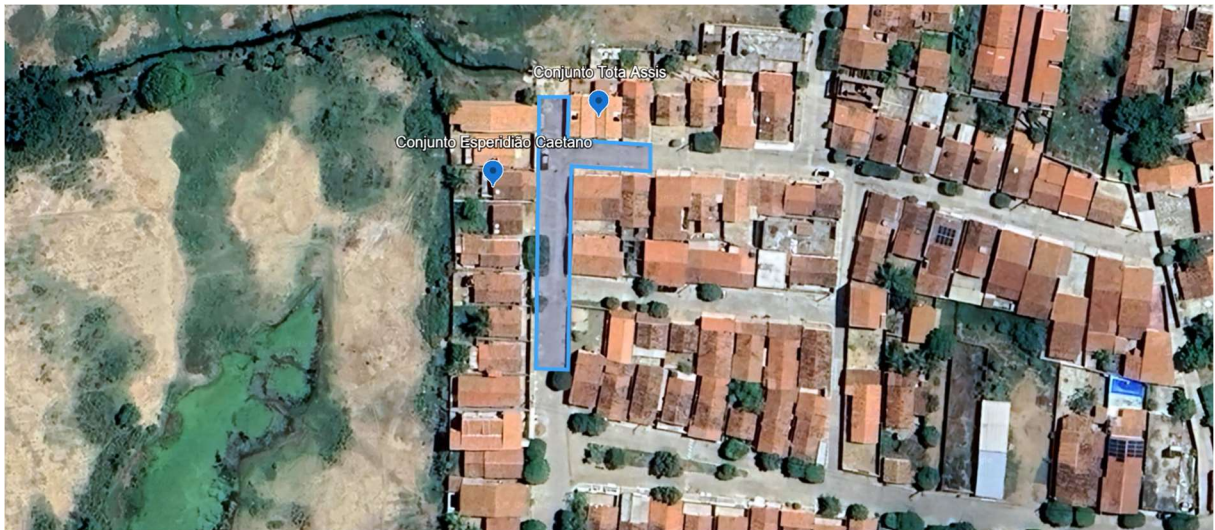
4.1 Caracterização de Catingueira-PB

Conforme descrito na metodologia, Catingueira-PB é um pequeno município do sertão paraibano com 4.491 habitantes, área de 527,681 km² e IDHM de 0,574 (IBGE, 2022). O município exemplifica os desafios enfrentados por pequenos municípios do semiárido brasileiro em relação à gestão de recursos hídricos e à drenagem urbana. A análise da situação de Catingueira revela múltiplas dimensões de vulnerabilidade. Do ponto de vista socioeconômico, a alta taxa de pobreza (57,9% da população com renda inferior a meio salário mínimo) limita a capacidade das famílias de investir em medidas de autoproteção contra alagamentos, como elevação de residências ou impermeabilização (IBGE, 2022). A baixa arrecadação municipal (PIB per capita de R\$ 10.823,73) restringe severamente os investimentos em infraestrutura de drenagem (IBGE, 2022; Kuwahara, 2025).

Do ponto de vista climático, a inserção no semiárido cria um contexto de duplo desafio hídrico (Malveira et al., 2012). Durante a maior parte do ano (aproximadamente 8 meses), o município enfrenta escassez de água, com precipitação insuficiente e altas taxas de evapotranspiração. Durante o período chuvoso (aproximadamente 4 meses, entre fevereiro e maio), ocorrem eventos de chuvas intensas que geram grandes volumes de escoamento superficial em curto espaço de tempo (Pereira, 2025).

A ausência de sistema formal de drenagem urbana torna o município altamente vulnerável a alagamentos durante esses eventos de chuva intensa (Pereira, 2025). Os dois conjuntos habitacionais mencionados, construídos em áreas baixas sem consideração adequada da topografia, funcionam como "bacias de acumulação" naturais, onde a água se concentra e alaga as residências. A falta de planejamento urbano adequado, comum em pequenos municípios devido à ausência de corpo técnico especializado, perpetua este problema (Kuwahara, 2025; Rodrigues et al., 2025).

Figura 3– Área urbana suscetível a alagamentos em Catingueira-PB.



Fonte: Google Earth (2025). Elaboração própria.

A análise da imagem de satélite evidencia que as áreas mais suscetíveis a alagamentos encontram-se em cotas topográficas inferiores às demais áreas urbanizadas, funcionando como zonas naturais de concentração do escoamento superficial. Observa-se ainda a ocupação urbana consolidada nessas áreas, sem a presença de infraestrutura adequada de drenagem, o que potencializa a ocorrência de alagamentos durante eventos de precipitação intensa.

4.2 Ocorrência de alagamentos e Evidências Empíricas

Figura 4– Reportagem local sobre alagamentos recorrentes em Catingueira-PB



FONTE: Radar Sertanejo (2019).

Além dos registros jornalísticos, a ocorrência de alagamentos é confirmada por evidências empíricas obtidas em campo. Os registros fotográficos apresentados a seguir ilustram a condição da via urbana durante eventos de precipitação intensa, evidenciando o acúmulo de água e a ausência de dispositivos adequados de drenagem.

Figura 5– Registros fotográficos de alagamento em via urbana de Catingueira-PB:



Fonte: Radar Sertanejo (2019).

- (a) vista geral dos conjuntos alagados;
- (b) acúmulo de água em frente às residências;
- (c) moradores removendo seus pertences para não serem danificados pelas inundações.

Fonte: Radar Sertanejo (2019).

Os registros fotográficos apresentados na Figura 04 evidenciam a extensão e a intensidade do alagamento, com formação de lâmina d'água ao longo da via e impacto direto sobre as residências e a mobilidade urbana. A ausência de elementos de microdrenagem contribui para a permanência da água, reforçando a vulnerabilidade das áreas identificadas na análise espacial.

4.3 Intervenção Corretiva Executada pelo poder público

Em resposta à recorrência dos alagamentos, o órgão público responsável realizou, em 2022, uma intervenção corretiva consistindo na elevação do nível das residências localizadas nas áreas mais críticas. A obra envolveu a execução de alvenaria de fundação elevada e serviços de terraplenagem no entorno das habitações, com o objetivo de reduzir a entrada de água nas residências durante eventos de chuva intensa. Embora a medida tenha mitigado os danos diretos às edificações, trata-se de uma solução pontual e reativa, que não elimina a causa estrutural do problema, relacionada à ausência de sistema de drenagem urbana adequado.

Figura 6– Intervenção corretiva realizada em 2022: elevação do nível das residências em área sujeita a alagamentos no município de Catingueira-PB.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A intervenção executada concentrou-se na elevação do nível das residências, como resposta direta aos episódios recorrentes de alagamento, sem, contudo, contemplar intervenções estruturais no sistema de drenagem urbana do entorno.

Figura 7– Situação atual da área após a elevação das residências, com registro georreferenciado e datado (2025).



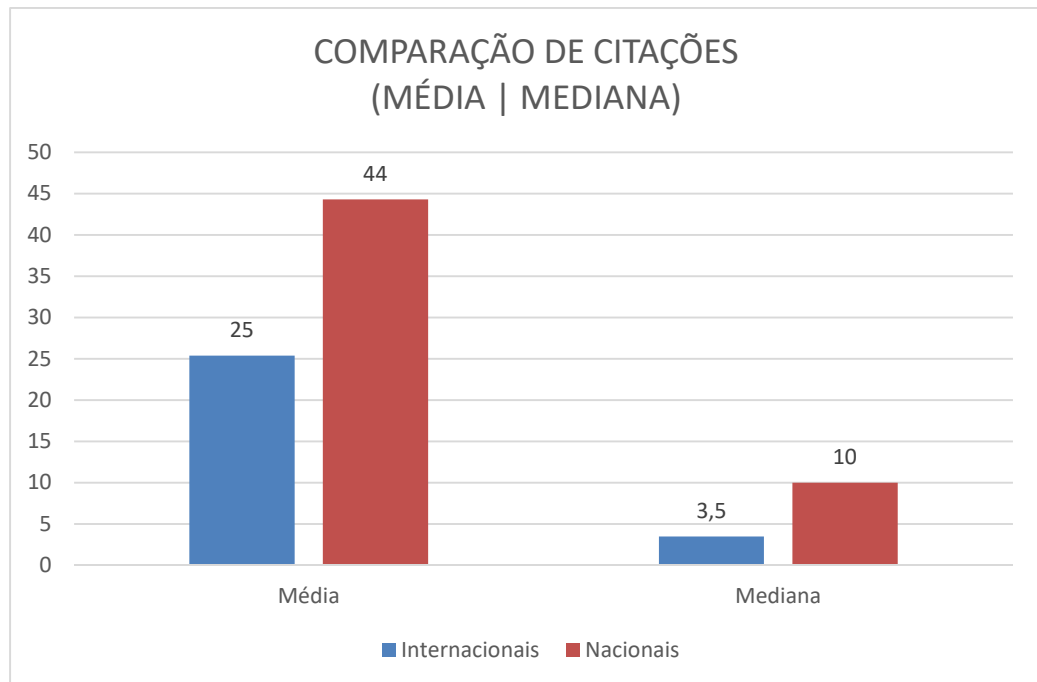
Fonte: Autoria própria, 2025.

Apesar da intervenção realizada, o entorno permanece suscetível ao acúmulo superficial de água, reforçando a necessidade de soluções estruturais e sustentáveis de drenagem urbana.

4.4 Análise Bibliométrica Quantitativa

A análise bibliométrica identificou 23 artigos científicos relevantes, sendo 21 publicados no período de 2020 a 2025 e 2 publicados anteriormente (1997 e 2012) incluídos por sua relevância científica para o tema. Do total, 14 artigos internacionais e 9 artigos nacionais. O número total de citações acumuladas destes artigos é de 755 (356 dos artigos internacionais e 399 dos artigos nacionais), segundo dados do Google Scholar consultados em novembro de 2025.

Gráfico 1– Comparação de citações (média | mediana)

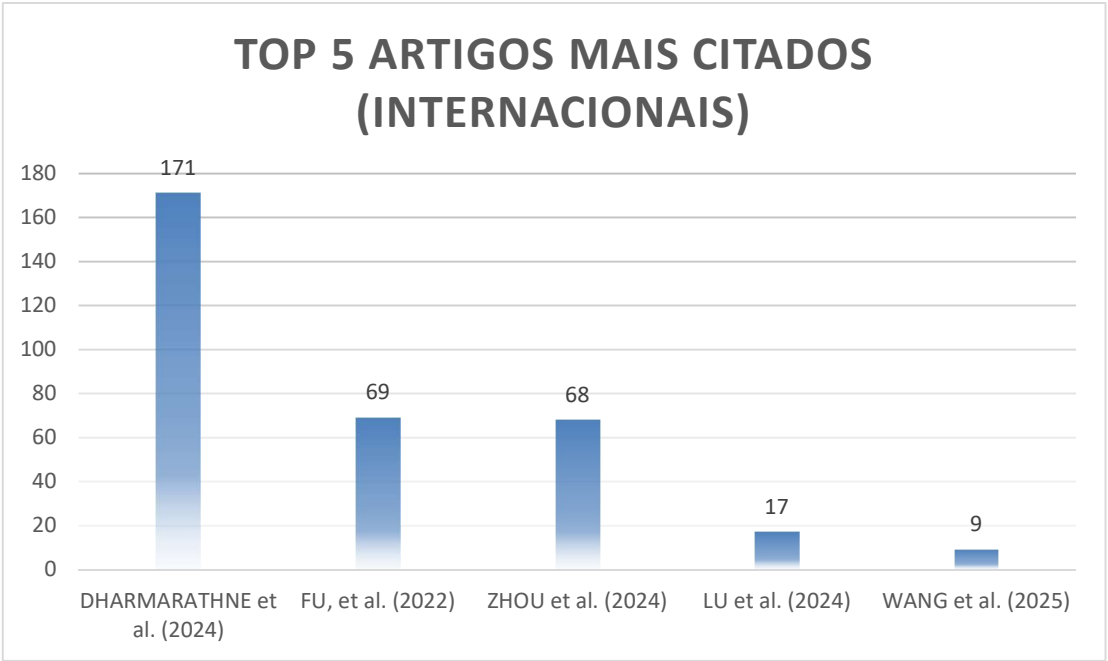


Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

A média de citações por artigo é de aproximadamente 25 citações para os artigos internacionais e 44 citações para os artigos nacionais. Esse resultado, embora contrarie a tendência esperada de maior impacto médio dos periódicos internacionais, pode ser explicado pela concentração de citações em poucos estudos nacionais de referência, bem como pela inclusão de artigos nacionais mais antigos e consolidados (Tucci et al., 1997; Malveira et al., 2012), que tiveram maior tempo de exposição e acumulação de citações. Por outro lado, parte dos artigos internacionais analisados é recente, o que limita o número de citações acumuladas até o momento da coleta dos dados, a maior quantidade de artigos internacionais é outro fator que baixa a média. O artigo internacional mais citado é "A comprehensive review of climate-induced urban flooding" de Dharmarathne et al. (2024), com 171 citações, que explora a conexão entre mudanças climáticas e inundações urbanas, oferecendo perspectivas estatísticas, científicas e avançadas (Dharmarathne et al., 2024).

O segundo artigo internacional mais citado foi "Are sponge cities the solution to China's growing urban flood risk?" de FU et al. (2023), com 69 citações, que faz uma análise crítica sobre se as Cidades-Esponja serem a solução para o crescente risco de inundação urbana na China.

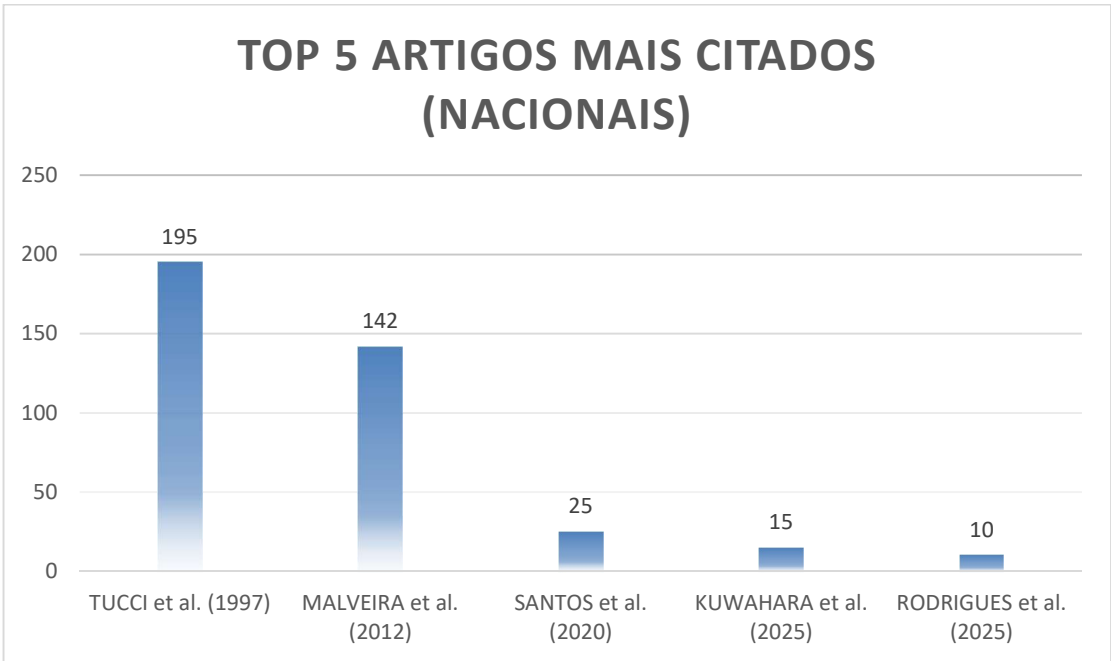
Gráfico 2– Top 5 artigos mais citados (internacionais)



Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

Entre os artigos nacionais, o mais citado é “Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção.” de TUCCI et al. (1997), com 195 citações, um artigo clássico que estabelece os princípios e a concepção de Planos Diretores de Drenagem Urbana no Brasil. Referência fundamental para o planejamento de drenagem urbana no país.

Gráfico 3– Top 5 artigos mais citados (nacionais)



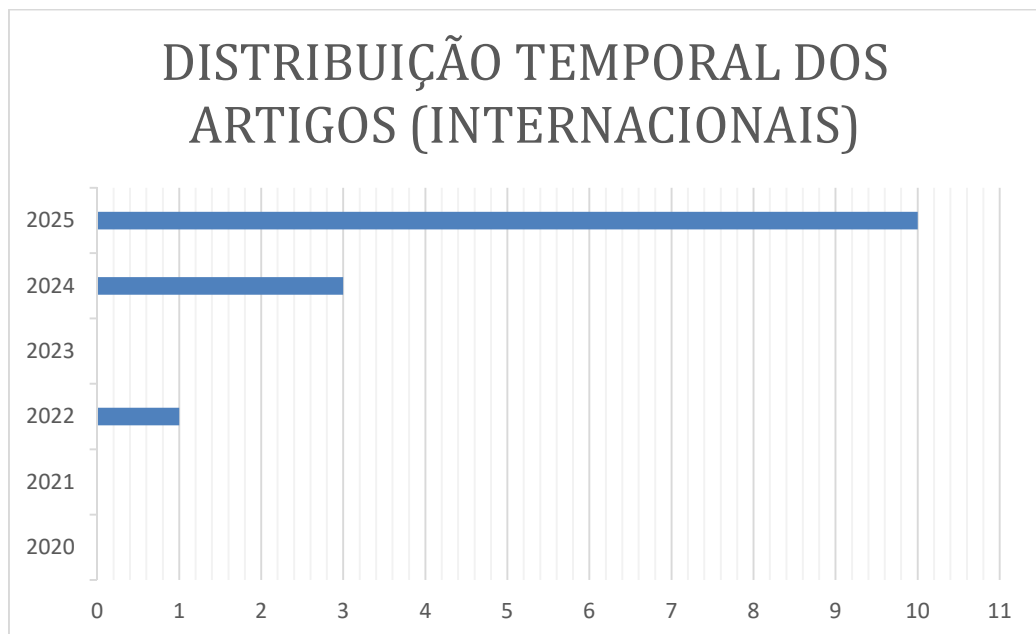
Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

4.5 Análise Temporal das Publicações

Entre os artigos internacionais:

- 2020: 0 artigos (0%)
- 2021: 0 artigos (0%)
- 2022: 1 artigos (7,1%)
- 2023: 0 artigos (0%)
- 2024: 3 artigos (21,4%)
- 2025: 10 artigos (71,4%)

Gráfico 4– Distribuição temporal dos artigos (internacionais)



Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

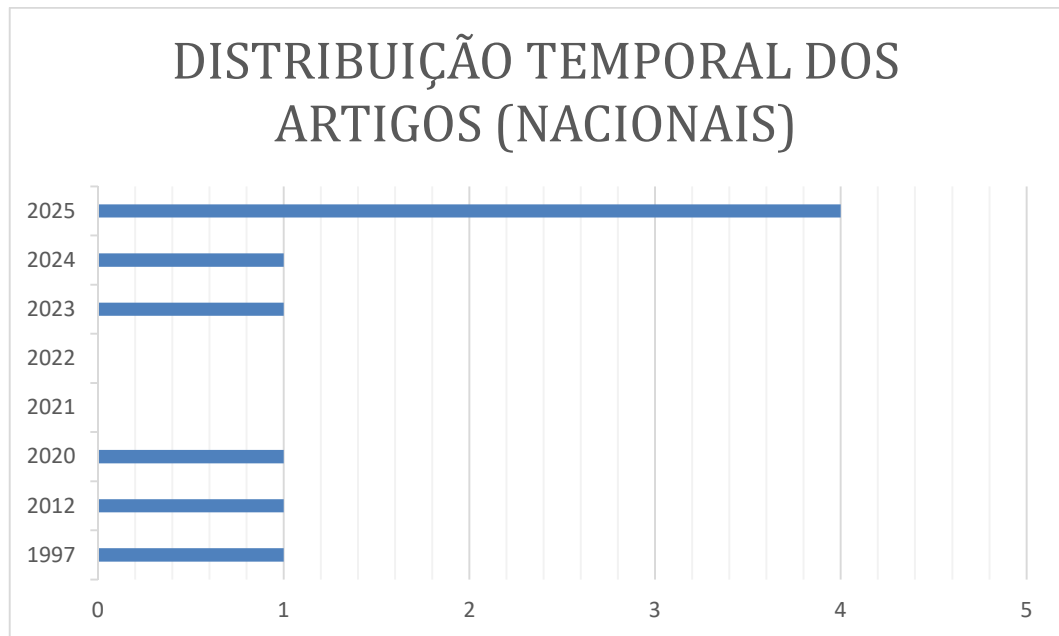
Observa-se um crescimento significativo no número de publicações entre o início (2020-2023) e o final (2024-2025) do período analisado. Este crescimento reflete o aumento da preocupação global com inundações urbanas no contexto das mudanças climáticas e da urbanização acelerada (Dharmarathne et al., 2024; Zhang et al., 2025).

Entre os artigos nacionais, a distribuição é mais uniforme:

- 1997: 1 artigo (11,1%)
- 2012: 1 artigo (11,1%)
- 2020: 1 artigo (11,1%)
- 2021: 0 artigo (%)
- 2022: 0 artigos (0%)

- 2023: 1 artigos (11,1%)
- 2024: 1 artigos (11,1%)
- 2025: 4 artigos (44,4%)

Gráfico 5– Distribuição temporal dos artigos (nacionais)



Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

A produção nacional mantém-se relativamente estável ao longo do período sem o crescimento acentuado observado na produção internacional, exceto no último ano. Isto pode refletir limitações de financiamento para pesquisa no Brasil ou uma menor priorização do tema na agenda de pesquisa nacional nos períodos precedentes (Kuwahara, 2025)

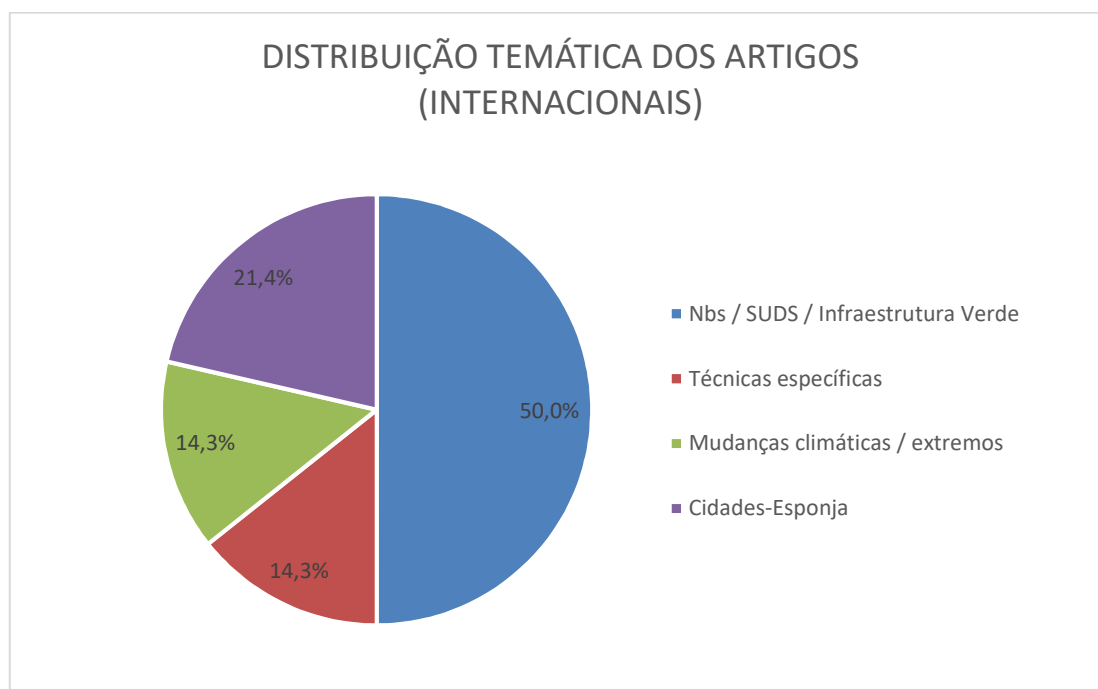
4.6 Análise Temática

A análise temática dos artigos internacionais revela uma forte ênfase em Soluções Baseadas na Natureza (NbS), Infraestrutura Verde e SUDS. Dos 14 artigos internacionais:

- 7 artigos (50%) focam em NbS, Infraestrutura Verde ou SUDS (Zhou et al., 2024; Wang et al., 2025; Starkey et al., 2025; Cervantes-nájera et al., 2025; Gorzka et al., 2025; Nehren et al., 2025; Wan et al., 2025)
- 3 artigos (21,4%) focam em Cidades-Esponja e a experiência chinesa (Chen et al., 2025; Lu et al., 2025; Fu et al., 2023)
- 2 artigos (14,3%) focam em mudanças climáticas e eventos extremos (Dharmarathne et al., 2024; Zhang et al., 2025)

- 2 artigos (14,3%) focam em eficácia de técnicas específicas como biovaletas e jardins de chuva (Eshleman et al., 2025; Lu et al., 2024)

Gráfico 6– Distribuição temática dos artigos (internacionais)



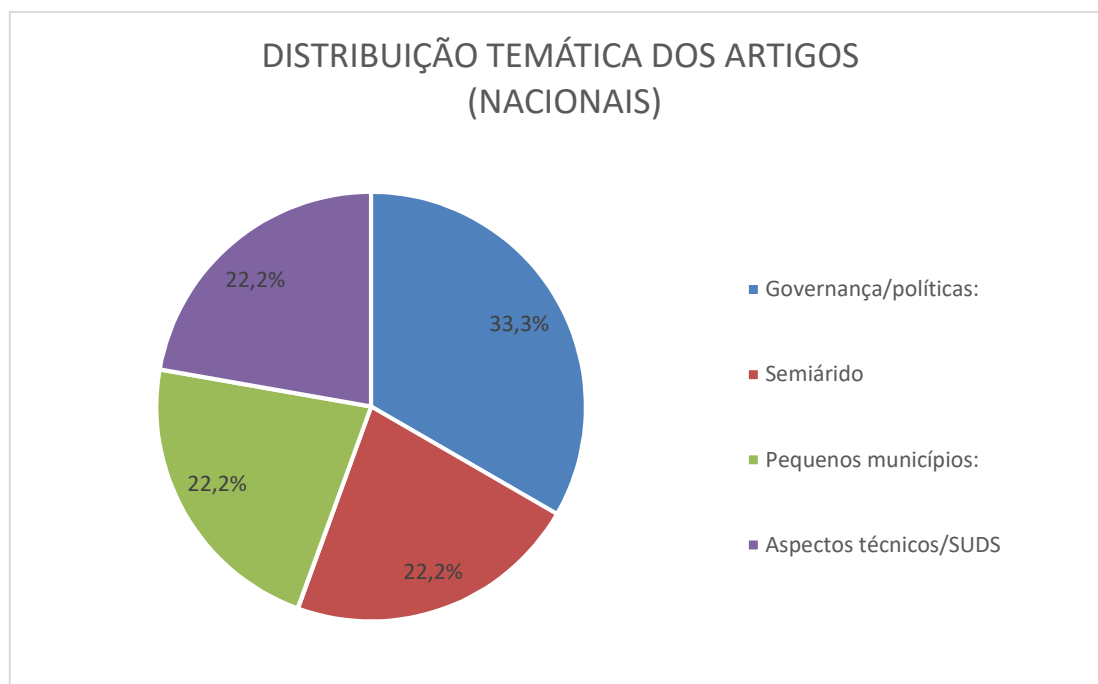
Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

Esta distribuição reflete uma tendência global de pivô para soluções mais sustentáveis e multifuncionais, em contraposição às abordagens convencionais de drenagem baseadas exclusivamente em infraestrutura cinza (Zhou et al., 2024; Starkey et al., 2025).

Entre os artigos nacionais, a distribuição temática é mais diversificada:

- 3 artigos (33,3%) focam em governança, políticas públicas e aspectos institucionais (Kuwahara, 2025; Rodrigues et al., 2025; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025)
- 2 artigos (22,2%) focam no semiárido e seus desafios específicos (Malveira et al., 2012; Pereira, 2025)
- 2 artigos (22,2%) focam em pequenos municípios e vulnerabilidade (Santos et al., 2024; Tomaz, 2023)
- 2 artigos (22,2%) focam em aspectos técnicos de drenagem e SUDS (Rodrigues et al., 2025)

Gráfico 7– Distribuição temática dos artigos (nacionais)



Fonte: Excel (2016), Autoria Própria.

Esta distribuição reflete as preocupações específicas do contexto brasileiro, incluindo os desafios de governança e financiamento, as especificidades do semiárido e a vulnerabilidade de pequenos municípios (Kuwahara, 2025; Malveira et al., 2012).

Uma lacuna identificada é a baixa representação de estudos focados especificamente em pequenos municípios. Apenas 1 artigo internacional (7,1%) e 2 artigos nacionais (22,2%) abordam explicitamente pequenos municípios ou pequenas cidades (Santos et al., 2024; Tomaz, 2023). Esta lacuna justifica a relevância deste trabalho e aponta para uma oportunidade de pesquisa futura.

4.7 Medidas de Contenção e Profilaxia Identificadas

A análise dos 23 artigos selecionados permitiu identificar e catalogar 15 medidas principais de contenção e profilaxia de alagamentos urbanos, que foram organizadas em três categorias conforme a classificação de Tucci (2008) e Baptista, Nascimento e Barraud (2005):

Medidas Estruturais Convencionais:

- Sistemas de macrodrenagem (canais, galerias de grande porte) (Tucci, 2008)
- Sistemas de microdrenagem (sarjetas, bocas de lobo, galerias locais) (Tucci, 2008)
- Reservatórios de detenção e retenção (Starkey et al., 2025)
- Diques e muros de contenção (Nehren et al., 2025)

- Retificação e aprofundamento de cursos d'água (Tucci, 2008)

Medidas Não-Estruturais:

- Planejamento de uso e ocupação do solo (zoneamento, restrições em áreas de risco) (Kuwahara, 2025)
- Sistemas de alerta e monitoramento de inundações (Zhang et al., 2025)
- Educação ambiental e capacitação comunitária (Rodrigues et al., 2025)
- Regulamentação e fiscalização de construções (códigos de obras, exigências de drenagem) (Rodrigues et al., 2025)
- Seguros contra inundações e mecanismos de compensação (Fan et al., 2025)

Medidas Sustentáveis (SUDS/NbS/Infraestrutura Verde):

- Pavimentos permeáveis (Cervantes-nájera et al., 2025; Wang et al., 2025)
- Jardins de chuva e biovaletas (Lu et al., 2024; Eshleman et al., 2025)
- Telhados verdes (Cervantes-nájera et al., 2025; Wang et al., 2025)
- Wetlands construídas e lagoas de retenção vegetadas (Nehren et al., 2025; Wang et al., 2025)
- Restauração de planícies de inundação e cursos d'água (Nehren et al., 2025; Zhou et al., 2024)

A literatura internacional recente demonstra uma clara preferência por medidas sustentáveis, que representam 50% dos artigos analisados (Zhou et al., 2024; Starkey et al., 2025; Wang et al., 2025). Esta preferência baseia-se em evidências de que as medidas sustentáveis são frequentemente mais custo-efetivas que medidas estruturais convencionais, especialmente quando os co-benefícios são considerados (Starkey et al., 2025). Estimativas indicam que NbS podem ser construídas por 5-30% menos e mantidas por 25% menos que infraestrutura cinza tradicional (ASLA, 2025). Além disso, as medidas sustentáveis oferecem múltiplos co-benefícios que as medidas convencionais não proporcionam, incluindo melhoria da qualidade da água, aumento da biodiversidade, redução de ilhas de calor urbanas, sequestro de carbono, criação de áreas de recreação e melhoria da estética urbana (Cervantes-nájera et al., 2025; Gorzka et al., 2025; Wang et al., 2025).

No entanto, a literatura também reconhece que as medidas sustentáveis têm limitações. Fu et al. (2023), analisando o evento de inundação catastrófica em Zhengzhou (China) em 2021, argumentam que as Cidades-Esponja são eficazes para

eventos de precipitação típicos e moderados, mas podem ser insuficientes para eventos extremos sem precedentes. Os autores defendem uma abordagem híbrida que combine medidas verdes com medidas cinzas, sistemas de monitoramento e alerta, e planejamento de uso do solo adequado (Fu et al., 2023).

Zhou et al. (2024) propõem uma estrutura conceitual para integração de NbS na gestão de risco de inundação urbana que considera tanto aspectos ecológicos quanto sociais. Os autores argumentam que a eficácia das NbS depende não apenas de suas características físicas, mas também de fatores sociais como aceitação comunitária, governança adequada e manutenção continuada (Zhou et al., 2024).

4.8 Aplicabilidade para Pequenos Municípios e Catingueira-PB

A análise da aplicabilidade das medidas de contenção e profilaxia para pequenos municípios do semiárido brasileiro indica que as soluções apresentam viabilidades distintas conforme sua natureza técnica, custo e complexidade de implementação.

As medidas estruturais convencionais, como canais, reservatórios e diques, embora tecnicamente eficazes, demandam elevados investimentos financeiros e capacidade técnica especializada para projeto, execução e manutenção, o que limita sua adoção como solução principal em pequenos municípios (Kuwahara, 2025). Ainda assim, essas medidas podem ser necessárias de forma pontual em áreas de alto risco, atuando de maneira complementar às demais estratégias (Tucci, 2008).

As medidas não-estruturais mostram-se mais acessíveis e compatíveis com a realidade institucional e financeira dos pequenos municípios. Instrumentos como o planejamento de uso e ocupação do solo, sistemas comunitários de alerta e ações de educação ambiental podem ser implementados com baixo custo e apoio técnico externo, contribuindo para a redução da exposição ao risco e para o fortalecimento da capacidade adaptativa local (Rodrigues et al., 2025; Zhang et al., 2025).

As medidas sustentáveis, como os Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS), destacam-se como as mais adequadas para pequenos municípios, devido ao seu caráter modular, escalável e multifuncional (Starkey et al., 2025; Wang et al., 2025). No caso de Catingueira-PB, a existência de praças públicas e canteiros impermeáveis oferece oportunidades para a requalificação desses espaços por meio da substituição de superfícies impermeáveis por áreas vegetadas, solos drenantes, pavimentos permeáveis e jardins de chuva, utilizando materiais locais, plantas nativas e participação comunitária (Lu et al., 2024; Cervantes-Nájera et al., 2025).

No contexto do semiárido, essas medidas apresentam o benefício adicional de promover a retenção e infiltração da água da chuva, contribuindo para a recarga de aquíferos e para a disponibilidade hídrica nos períodos secos, em consonância com o conceito de convivência com o semiárido (Malveira et al., 2012; INSA, 2025). Dessa forma, recomenda-se para Catingueira-PB a adoção de uma abordagem híbrida e gradual, combinando medidas sustentáveis, não-estruturais e, quando necessário, estruturais, de forma integrada ao planejamento urbano.

Curto Prazo (1-2 anos):

- Mapeamento detalhado das áreas de risco de alagamento, com participação comunitária
- Implementação de medidas não-estruturais: restrições de ocupação em áreas de risco, sistema de alerta comunitário, educação ambiental nas escolas
- Projetos-piloto de medidas sustentáveis de baixo custo: jardins de chuva em praças públicas, pavimento permeável em estacionamento municipal

Médio Prazo (3-5 anos):

- Expansão gradual de medidas sustentáveis para áreas residenciais, com incentivos para proprietários (redução de IPTU, fornecimento de mudas)
- Construção de wetlands construídas ou lagoas de retenção vegetadas em áreas públicas disponíveis
- Capacitação de equipe técnica municipal através de parcerias com universidades ou programas estaduais/federais

Longo Prazo (5-10 anos):

- Integração da drenagem sustentável no Plano Diretor Municipal
- Sistema integrado de SUDS cobrindo as principais áreas urbanas
- Programa de monitoramento e avaliação da eficácia das medidas implementadas

Esta abordagem gradual permite que o município acumule experiência, demonstre resultados e construa capacidade técnica e institucional ao longo do tempo, sem exigir investimentos massivos iniciais que estão além de sua capacidade financeira (Santos et al., 2024; Rodrigues et al., 2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou uma análise bibliométrica sobre os problemas de alagamentos em pequenos municípios no Brasil e no contexto internacional, com foco na identificação de medidas de contenção e profilaxia e na proposição de diretrizes estratégicas aplicáveis a Catingueira-PB e municípios similares. A análise identificou 23 artigos científicos relevantes, publicados predominantemente entre 2020 e 2025, totalizando 755 citações, evidenciando um crescimento expressivo da produção científica internacional sobre o tema e a consolidação de abordagens baseadas em Soluções Baseadas na Natureza (NbS), Infraestrutura Verde e Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS) (Starkey et al., 2025; Zhou et al., 2024; Wang et al., 2025).

Os resultados indicam que a literatura internacional recente apresenta clara preferência por medidas sustentáveis, enquanto os estudos nacionais enfatizam aspectos institucionais, de governança, financiamento e as especificidades do semiárido. Foram identificadas e classificadas 15 medidas principais de contenção e profilaxia, organizadas em categorias estruturais convencionais, não-estruturais e sustentáveis, sendo estas últimas apontadas como mais custo-efetivas e adequadas à realidade de pequenos municípios.

A análise de aplicabilidade demonstra que, para pequenos municípios do semiárido, como Catingueira-PB, as medidas sustentáveis e não-estruturais apresentam maior viabilidade devido ao menor custo, caráter modular e possibilidade de implementação gradual. Assim, propõe-se uma abordagem híbrida, que integre medidas sustentáveis, planejamento urbano e ações não-estruturais, considerando simultaneamente os desafios da escassez e do excesso de água (Malveira et al., 2012; INSA, 2025).

Este estudo apresenta limitações relacionadas à abrangência da busca bibliográfica, à restrição temporal adotada, à utilização de um único estudo de caso e à ausência de dados primários locais. Tais limitações, no entanto, não comprometem os objetivos propostos, mas indicam a necessidade de pesquisas futuras que aprofundem a análise empírica, econômica e participativa da gestão de alagamentos em pequenos municípios.

Conclui-se que a adoção de diretrizes baseadas em SUDS, NbS e Infraestrutura Verde, integradas ao planejamento urbano e apoiadas por medidas não-estruturais e participação comunitária, pode contribuir significativamente para a redução da vulnerabilidade a alagamentos em pequenos municípios do semiárido brasileiro,

fortalecendo a resiliência climática e a qualidade de vida da população (Rodrigues et al., 2025; Santos et al., 2024).

5.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados e nas limitações identificadas, recomendam-se as seguintes direções para trabalhos futuros:

- **Estudos Empíricos em Pequenos Municípios:** Há necessidade de estudos empíricos que implementem e avaliem a eficácia de medidas sustentáveis em pequenos municípios brasileiros. Projetos-piloto com monitoramento rigoroso podem gerar evidências locais sobre a eficácia e a viabilidade dessas medidas (Rodrigues et al., 2025)
- **Análise Econômica Comparativa:** Estudos que comparem rigorosamente os custos e benefícios de diferentes medidas de controle de alagamentos no contexto de pequenos municípios podem informar decisões de investimento mais racionais (Starkey et al., 2025).
- **Pesquisa Participativa:** Estudos que envolvam ativamente as comunidades afetadas por alagamentos no diagnóstico de problemas e no desenvolvimento de soluções podem resultar em abordagens mais apropriadas e sustentáveis (Santos et al., 2024).
- **Modelagem Hidrológica:** O desenvolvimento de modelos hidrológicos adaptados às características do semiárido e calibrados para pequenas bacias urbanas pode melhorar a capacidade de previsão e de dimensionamento de medidas de controle (Malveira et al., 2012).
- **Análise de Políticas Públicas:** Estudos que analisem criticamente as políticas públicas de drenagem urbana no Brasil, identificando barreiras e oportunidades para sua efetiva implementação em pequenos municípios, podem contribuir para o aprimoramento do arcabouço institucional (Kuwahara, 2025).

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun. 2006.

ASLA - AMERICAN SOCIETY OF LANDSCAPE ARCHITECTS. Landscape Architects Can Scale Up Efforts to Measure Progress on Climate Adaptation. **Dirt**, 8 dez. 2025. Disponível em: <https://dirt.asla.org/2025/12/08/landscape-architects-can-scale-up-global-efforts-to-measure-progress-on-climate-adaptation/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

SANTOS, K. Á. O .et al. Drenagem urbana em municípios brasileiros: uma revisão de literatura.. **Anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)** - Fortaleza/CE, 2024.

CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 2010 a 2023**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2023.

CERVANTES-NÁJERA, A. L. et al. Spatial suitability analysis for the implementation of green infrastructure for stormwater management in urban areas. **Sustainable Cities and Society**, v. 115, p. 105847, 2025.

CHEN, P. et al. Mitigating urban rainstorm waterlogging disasters in China: the combined effect of vegetation coverage and sponge city construction. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 2074, 2025.

DHARMARATHNE, G. et al. A comprehensive review of climate-induced urban flooding: impacts, adaptation strategies, and future perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 951, p. 175773, 2024.

ESHLEMAN, K. N. et al. **Comparative field-scale assessment of the stormwater treatment effectiveness of bioswales on Maryland highways**. Annapolis: Chesapeake Bay Trust, 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Building a Green Infrastructure for Europe**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.

FAN, Q. et al. Social vulnerability and equity in flood risk management: a systematic review. **Environmental Science & Policy**, v. 148, p. 103-115, 2025.

FIELD, A. **Descobrimos a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FU, G. et al. Are sponge cities the solution to China's growing urban flood risk? **WIREs Water**, v. 10, n. 3, e1613, 2023.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GORZKA, J. et al. Walkability and Flood Resilience: Public Space Design in Flood-Prone Urban Areas. **Urban Planning**, v. 10, n. 1, p. 234-248, 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **O Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 18 nov. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo sobre Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas no Brasil**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2025.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges**. Gland: IUCN, 2016.

KUWAHARA, N. **Governança da Drenagem Urbana no Brasil: desafios e oportunidades**. Brasília: IPEA, 2025. (Texto para Discussão, n. 2.847).

LEOPOLD, L. B. **Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use**. Washington: USGS, 1968. (Circular 554).

LU, L. et al. Harnessing the runoff reduction potential of urban green spaces through optimized spatial configuration. **Scientific Reports**, v. 14, p. 11878, 2024.

LU, Y. et al. Keyword Analysis and Systematic Review of China's Sponge City Construction. **Atmosphere**, v. 16, n. 9, p. 1090, 2025.

MALVEIRA, V. T. C.; ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 57, n. 4, p. 1-15, 2012.

SANTOS, R.; MENEZES, J. A.; SOUZA, C. M.; CONFALONIERI, U.; FREITAS, C. M. et al. Vigilância em saúde e desastres de origem natural: uma revisão da literatura.. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde (RECIIS - Fiocruz)**, 2020.

TOMAZ, P. A.; SANTOS, J. O.; JEPSON, W.. Insegurança Hídrica Domiciliar e Vulnerabilidade Social em Contexto Municipal do Semiárido Cearense.. **Sociedade & Natureza** (Revista da UFU), 2023.

RODRIGUES, F. A. P.; CHAVES, M. T. R.; FARIAS, T. R. L. et al. Drenagem Urbana Sustentável: Um estudo sobre as diretrizes legais nas capitais brasileiras. **Associação Brasileira De Recursos Hídricos – ABRHIDRO** 2025.

NEHREN, U. et al. **Integrating Nature-Based Solutions (NbS) for Enhanced Flood Risk Management**. EGU sphere, 2025. Preprint.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021.

PEREIRA, D. S. **Influência da variação do uso e ocupação do solo na estimativa de vazões de projeto pelo método Santa Bárbara em uma microbacia urbana no município de Patos-PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Geoprocessamento) - Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático: Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas - 2023**. Brasília: Ministério das Cidades, 2023.

STARKEY, E. et al. Maximising urban resilience using sustainable drainage systems: a comprehensive review of SuDS effectiveness. **Journal of Environmental Management**, v. 349, p. 119562, 2025.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Resolução nº 107, de 27 de julho de 2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro. Recife: SUDENE, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. (Programa de Modernização do Setor Saneamento).

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p. 15-36.

TUCCI, C. E. M. Urban flood management in Brazil. **Water International**, v. 32, n. 1, p. 114-120, 2007.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects 2018: Highlights**. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019.

WAN, S. et al. An emergy-based framework to support green infrastructure optimization for sustainable urban stormwater management. **Ecological Indicators**, v. 171, p. 112904, 2025.

WANG, M. et al. Strategic deployment of nature-based solutions for urban flood risk management: a comprehensive assessment framework. **Ecological Indicators**, v. 170, p. 112119, 2025.

WOODS BALLARD, B. et al. **The SuDS Manual (C753)**. London: CIRIA, 2015.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, Q. et al. Global South shows higher urban flood exposures than the Global North under climate change. **Communications Earth & Environment**, v. 6, n. 1, p. 2585, 2025.

ZHOU, K. et al. Urban flood risk management needs nature-based solutions. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 5, p. 62-79, 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013. Documento técnico.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel 2016**. Redmond: Microsoft, 2016. Software.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System 3.40.8. [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2024. Software.

7 ANEXOS

ANEXO A – Link para acesso á planilha completa de análise dos artigos da revisão bibliométrica

A planilha completa contendo os seguintes dados dos artigos analisados

DADOS BIBLIOGRÁFICOS											
AUTORES	ANO	TÍTULO	PERIÓDICO	VOLUME E NÚMERO DE PÁGINAS	NÚMERO DE CITAÇÕES	TEMA PRINCIPAL	METODOLOGIA	ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDO	MEDIDA DE CONTENÇÃO/PROFILAXIA	RESULTADOS E CONCLUSÕES	LINK

encontra-se disponível no link abaixo:

Link: <https://drive.google.com/drive/folders/13KBxhBMFEf-FnaV0Bd3kcbeHEZNF9ToM?usp=sharing>

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Patos - Código INEP: 25281925
	Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC - CORRIGIDO

Assunto:	TCC - CORRIGIDO
Assinado por:	Erlon Filho
Tipo do Documento:	Projeto
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Documento Original

Documento assinado eletronicamente por:

- Erlon Nunes de Souza Filho, DISCENTE (202126550040) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS, em 24/02/2026 11:07:12.

Este documento foi armazenado no SUAP em 24/02/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1776371
Código de Autenticação: 5f89941534

