



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –

**DRENAGEM URBANA E SOLUÇÕES BASEADAS NA
NATUREZA: ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DE
ALAGAMENTOS EM JOÃO PESSOA, PARAÍBA**

Por

Sara Angélica Santos de Souza

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da
Paraíba para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Março de 2026



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –

**DRENAGEM URBANA E SOLUÇÕES BASEADAS NA
NATUREZA: ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DE
ALAGAMENTOS EM JOÃO PESSOA, PARAÍBA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Sara Angélica Santos de Souza

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Ribeiro da Silveira

João Pessoa – Paraíba

Março de 2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729d Souza, Sara Angélica Santos de.

Drenagem urbana e soluções baseadas na natureza :
estratégias para o controle de alagamentos em João
Pessoa, Paraíba / Sara Angélica Santos de Souza. - João
Pessoa, 2026.

171 f. : il.

Orientação: José Augusto Ribeiro da Silveira.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Drenagem urbana - Águas pluviais. 2. Gestão de
águas pluviais - Políticas públicas. 3. Infraestrutura
verde. 4. Modelagem hidrológica. 5. Resiliência urbana.
I. Silveira, José Augusto Ribeiro da. II. Título.

UFPB/BC

CDU 626.86(043)



Mestrado e Doutorado

**DRENAGEM URBANA E SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA:
ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DE ALAGAMENTOS EM JOÃO PESSOA,
PARAÍBA**

SARA ANGÉLICA SANTOS DE SOUZA

Dissertação aprovada em 10 de março de 2026

Período Letivo: 2025.2

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. José Augusto Ribeiro da Silveira – UFPB
(Orientador)**

**Prof. Dr. Richarde Marques da Silva – UFPB
(Examinador Interno)**

**Prof. Dr. Marcelo Dayron Rodrigues Soares – UFAM
(Examinador Externo)**

**João Pessoa/PB
2026**

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria do Socorro S. de Souza e Severino de Souza Neto, que, sob muito sol, me fizeram chegar até aqui, na sombra e com água fresca.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela Sua maravilhosa graça e infinito amor, que me sustentaram e me capacitaram ao longo de toda a minha vida. A Ele, toda honra e toda glória.

Ao meu pai, Severino, por me ensinar, desde cedo, a importância da educação. À minha mãe, Socorro, por me transmitir, com seu exemplo, os valores do esforço e da perseverança. Aos meus irmãos, Matheus e Marcelo, por serem meu ponto de leveza nesta loucura que é a vida. Estendo minha gratidão aos demais familiares — ainda que seja impossível citar todos —, mas saibam que guardo com carinho cada incentivo e cada gesto de apoio.

Agradeço, de forma especial, a Anne Beatriz e Larissa Silva. Quando retornei a João Pessoa, vocês estiveram presentes em momentos difíceis, sendo verdadeiramente a extensão da minha família.

Ao meu orientador, Dr. José Augusto Ribeiro da Silveira, pelos ensinamentos, pela disponibilidade e pela paciência. Mesmo não sendo sua área de pesquisa, acolheu meu tema, orientou-me com dedicação e empenhou-se na realização deste trabalho.

Aos amigos que fiz no PPGECAM, que desde o início estiveram presentes, apoiando-me, fortalecendo-me e proporcionando leveza a esta etapa tão intensa. Ivonete Borne, Rafael Cruz, Carmem Julianne, João Paulo, Ronald Lopes, Moab Bezerra, Yussef Harun, Pedro Henrique e Vichthor Brenno, serei sempre grata a vocês.

Ao professor Oswaldo Hideo Ando Júnior, pelas valiosas contribuições e pelos diálogos ao longo desses anos desafiadores, não apenas no desenvolvimento desta dissertação, mas também nos demais estudos realizados.

Aos amigos de vida — Janaina Costa, Tsad Dálet, Thaís Sampaio, Natalia Andrade, Marlison Williammes, Renata Lima, Tayse Cavalcanti e Gustavo Rodrigues —, agradeço pela amizade e companheirismo que trouxeram leveza a todos os momentos da minha vida.

Aos irmãos em Cristo que oraram por mim e contribuíram para fortalecer minha fé e confiança, especialmente ao meu grupo pequeno, minha sincera gratidão.

À Universidade Federal da Paraíba e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, incluindo professores e servidores, agradeço por toda a contribuição para a realização deste estudo. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro que viabilizou esta pesquisa.

À banca examinadora, pelas valiosas contribuições e sugestões ao longo da construção deste trabalho, essenciais para seu aprimoramento e conclusão.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos vocês e àqueles que, mesmo indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo. A pesquisa científica não se constrói sozinha. Saibam que cada um de vocês faz parte desta conquista.

RESUMO

A intensificação da urbanização e o aumento da impermeabilização do solo têm ampliado a ocorrência de alagamentos urbanos. Esta pesquisa analisou a forma como a drenagem urbana é contemplada nos instrumentos normativos do município de João Pessoa/PB, avaliando o potencial de inserção de medidas sustentáveis, fundamentadas em Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como estratégia complementar para mitigar os impactos hidrológicos associados à ocorrência de alagamentos. O estudo combinou a análise documental da legislação municipal, entrevistas com dois gestores públicos e a modelagem hidrológica por meio do *Storm Water Management Model*. A aplicação empírica ocorreu no bairro da Torre, onde foram simulados cenários críticos de precipitação com a inserção de pavimentos permeáveis e de canteiros pluviais em 50% da área impermeável analisada. Os resultados indicam que, embora existam instrumentos relacionados ao saneamento e à adaptação climática, a drenagem sustentável ainda não está plenamente institucionalizada no município. As entrevistas revelaram reconhecimento técnico sobre a importância das SbN, mas também apontaram barreiras normativas, financeiras e institucionais. A modelagem indicou uma redução significativa da lâmina máxima e do volume acumulado. No que se refere ao volume máximo acumulado, o Trecho 2 apresentou o resultado mais expressivo, com diminuição de 82,7%, sugerindo maior sensibilidade às intervenções implementadas. Esse comportamento indica que as medidas adotadas atuaram de forma eficiente na retenção e infiltração da água na origem, retardando o escoamento superficial. Quanto às lâminas máximas, observa-se que o Trecho 1 apresentou a maior redução em comparação aos demais trechos, atingindo 33%, o que pode estar associado a limitações hidráulicas das estruturas de entrada existentes no local. Em relação ao tempo de esvaziamento, o Trecho 2 também apresentou a maior redução (17%). Os resultados mais discretos sugerem que o escoamento final permanece condicionado à capacidade estrutural da rede de drenagem existente. Ou seja, a eficiência da drenagem continua limitada pela infraestrutura instalada. Conclui-se que a implantação de SbN é viável e necessária, porém depende de avanços legislativos, integração intersetorial e fortalecimento de políticas públicas específicas para drenagem urbana sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: infraestrutura verde, gestão de águas pluviais, políticas públicas, modelagem hidrológica, resiliência urbana.

ABSTRACT

The intensification of urbanization and the increase in soil impermeabilization have amplified the occurrence of urban flooding. This research analyzed how urban drainage is addressed in the normative instruments of the municipality of João Pessoa, Paraíba, evaluating the potential for incorporating sustainable measures based on Nature-based Solutions (NbS) as a complementary strategy to mitigate the hydrological impacts associated with flooding events. The study combined documentary analysis of municipal legislation, interviews with two public managers, and hydrological modeling using the Storm Water Management Model. The empirical application was conducted in the Torre neighborhood, where critical rainfall scenarios were simulated with the implementation of permeable pavements and rain gardens in 50% of the analyzed impermeable area. The results indicate that, although there are instruments related to sanitation and climate adaptation, sustainable drainage is not yet fully institutionalized in the municipality. The interviews revealed technical recognition of the importance of NbS, but also pointed to normative, financial, and institutional barriers. The modeling indicated a significant reduction in the maximum water depth and accumulated volume. Regarding the maximum accumulated volume, Section 2 presented the most expressive result, with a reduction of 82.7%, suggesting greater sensitivity to the implemented interventions. This behavior indicates that the adopted measures acted efficiently in retaining and infiltrating water at the source, delaying surface runoff. Concerning maximum water depths, Section 1 showed the greatest reduction compared to the other sections, reaching 33%, which may be associated with hydraulic limitations of the inlet structures present at the site. Regarding the emptying time, Section 2 also showed the greatest reduction (17%). The more modest results suggest that the final runoff remains conditioned by the structural capacity of the existing drainage network. In other words, drainage efficiency continues to be limited by the installed infrastructure. It is concluded that the implementation of NbS is feasible and necessary; however, it depends on legislative advances, intersectoral integration, and the strengthening of specific public policies for sustainable urban drainage.

KEYWORDS: green infrastructure, stormwater management, public policies, hydrological modeling, urban resilience.

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
1. INTRODUÇÃO	19
1.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	22
1.2. OBJETIVOS	25
1.2.1. Objetivo Geral.....	25
1.2.2. Objetivos Específicos.....	25
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2. URBANIZAÇÃO E SEUS REFLEXOS NOS SISTEMAS AMBIENTAIS ..	27
2.1. DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA DRENAGEM URBANA BRASILEIRA	
30	
2.2. INFRAESTRUTURA CINZA X INFRAESTRUTURA VERDE	35
2.3. SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA: CONCEITO E	
APLICAÇÕES	40
3. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA: O MÉTODO PROKNOW-C	
45	
3.1. SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	46
3.2. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO .	51
3.2.1. Reconhecimento dos artigos	51
3.2.2. Reconhecimento dos autores.....	52
3.2.3. Relevância dos periódicos e Palavras-Chave.....	54
3.2.4. Revisões Bibliográficas	55
3.3. ANÁLISE SISTÊMICA DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	56
3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO SISTEMÁTICA	58
4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	60
4.1. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE JOÃO	
PESSOA	62
4.1.1. Climatologia.....	63
4.1.2. Geologia e geomorfologia.....	65
4.1.3. Cobertura vegetal	66
4.2. ALAGAMENTOS URBANOS EM JOÃO PESSOA	68

5. TIPO DE PESQUISA	73
5.1. ANÁLISE DOCUMENTAL.....	74
5.2. APLICAÇÃO DE ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS.....	75
5.2.1. Preparação da entrevista.....	76
5.2.2. Seleção dos entrevistados.....	77
5.2.3. Roteiro de entrevista	78
5.3. GERAÇÃO DE CENÁRIOS.....	80
5.3.1. Diagnóstico do sistema atual	82
5.3.2. Identificação de variáveis.....	85
5.3.3. Construção dos cenários e avaliação comparativa.....	89
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
6.1. INTERPRETAÇÃO DOS DOCUMENTOS PÚBLICOS.....	91
6.2. ENTREVISTAS COM OS GESTORES RESPONSÁVEIS	101
6.3. CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS.....	108
6.3.1. Diagnóstico do sistema atual	108
6.3.2. Identificação de variáveis	132
6.3.3. Construção dos cenários	145
6.3.4. Avaliação Comparativa.....	150
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
REFERÊNCIAS.....	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama sobre os desafios da urbanização para introduzir soluções sustentáveis.....	21
Figura 2. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.	29
Figura 3. Perfil esquemático comparando os processos de enchente, inundação e alagamento.....	33
Figura 4. Sistema de drenagem inicial ou microdrenagem.....	36
Figura 5. Sistema de macrodrenagem.....	36
Figura 6. Plano atual do Emerald Necklace (Colar de Esmeraldas).....	38
Figura 7. Linha do tempo dos principais marcos em que o termo SbN foi mencionado por instituições.....	43
Figura 8. Ações em diferentes escalas no domínio das SbN.	44
Figura 9. Filtragem do Banco de Artigos Brutos e criação dos repositórios K e P. .	48
Figura 10. Filtragem dos repositórios K e P e criação do portfólio bibliográfico. ...	49
Figura 11. Perfil histórico das publicações do Portfólio Bibliográfico.	52
Figura 12. Países com maior produção científica sobre o tema.....	53
Figura 13. Periódicos mais frequentes nas publicações do PB.....	54
Figura 14. Mapeamento das palavras-chave mais significativas dos artigos que integram o PB.	55
Figura 15. Diagrama sobre a revisão sistemática da literatura.	59
Figura 16. Localização do município de João Pessoa.	60
Figura 17. Crescimento populacional de João Pessoa.	61
Figura 18. Uso do solo no município de João Pessoa, Paraíba, no ano de 2024.	62
Figura 19. Parque da Lagoa Solon de Lucena, na área central de João Pessoa.	63
Figura 20. Comportamento anual da precipitação e da temperatura do ar em João Pessoa.	64
Figura 21. Mapa clinográfico de João Pessoa.	66
Figura 22. Mapas de espacialização dos impactos hidrometeorológicos em João Pessoa, entre 1983 e 2016.....	68
Figura 23. Pontos com risco de alagamento (em amarelo) e de inundação urbana (em azul) em João Pessoa.	71
Figura 24. Diagrama metodológico.	73
Figura 25. Pontos críticos de alagamento no bairro da Torre.	80

Figura 26. Fluxograma com as etapas propostas por Schwartz para a elaboração de cenários alternativos.	82
Figura 27. Interface do software SWMM.	87
Figura 28. Áreas vegetadas observadas no bairro da Torre, em João Pessoa/PB...	111
Figura 29. Imagens da Praça Pedro Gondim; Praça Tiradentes; terreno privado e estacionamento, respectivamente.	112
Figura 30. Áreas com maior e menor prioridade de implantação de áreas vegetadas	112
Figura 31. Pontos com histórico de alagamento no bairro da Torre, em João Pessoa/PB.	114
Figura 32. Áreas prioritárias para implantação de SbN na mitigação de alagamentos no bairro Torre.....	117
Figura 33. Categorias de serviços ambientais.....	118
Figura 34. Áreas verdes estratégicas, em via pública.	119
Figura 35. Terrenos baldios públicos usados para cultivo de hortas e pequenas lavouras.....	120
Figura 36. Bacia de retenção em Parque de Portugal.	123
Figura 37. Interseção viária vegetada.	124
Figura 38. Tipos de pavimentos permeáveis.	125
Figura 39. Canteiro pluvial utilizado em via asfaltada para auxiliar no escoamento superficial.	126
Figura 40. Jardins filtrantes da fábrica de cosméticos na região metropolitana de Belém/PA.....	127
Figura 41. Configuração típica de um canteiro pluvial.	130
Figura 42. Seção de pavimento modular.	131
Figura 43. Mapa de localização do Trecho 1 (Mercado da Torre).	132
Figura 44. Comparação dos Indicadores Hidrológicos do Trecho 1: Situação Atual e Cenário com Implantação de SbN (50% da Área Contribuinte).	133
Figura 45. Registos fotográficos da situação atual das grelhas e bocas de lobo no Mercado da Torre.	134
Figura 46. Mapa de localização do Trecho 2 (Cruzamento entre Avs. Juarez Távora e Santa Júlia).	136
Figura 47. Comparação dos Indicadores Hidrológicos do Trecho 2: Situação Atual e Cenário com Implantação de SbN (50% da Área Contribuinte).	136

Figura 48. Registros fotográficos da situação atual das grelhas no trecho Juárez Távora × Santa Júlia.	137
Figura 49. Mapa de localização do Trecho 3 (Cruzamento entre Avs. Rui Barbosa e Manoel Deodato).	139
Figura 50. Comparação dos Indicadores Hidrológicos do Trecho 3: Situação Atual e Cenário com Implantação de SbN (50% da Área Contribuinte).	139
Figura 51. Registros fotográficos da situação atual das grelhas no trecho Rui Barbosa × Manoel Deodato.	140
Figura 52. Comparação do Volume Máximo por Trecho.	142
Figura 53. Comparação da Lâmina Máxima por Trecho.	143
Figura 54. Comparação de Tempo de Esvaziamento por Trecho.	144
Figura 55. Representação gráfica do Mercado da Torre, vista de cima (os círculos amarelos localizam as bocas de lobo).	145
Figura 56. Representação gráfica da revitalização do Mercado da Torre, vista de cima.	146
Figura 57. Representação gráfica da revitalização da Avenida Barão de Mamanguape, em diferentes ângulos.	147
Figura 58. Situação atual do cruzamento entre as Avs. Juárez Távora com Santa Júlia.	148
Figura 59. Representação gráfica do cruzamento entre as Avs. Juárez Távora com Santa Júlia.	148
Figura 60. Situação atual do cruzamento entre as Avs. Rui Barbosa e Manoel Deodato.	149
Figura 61. Representação gráfica do cruzamento entre as Avs. Rui Barbosa e Manoel Deodato.	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Relação das metas dos ODS com a infraestrutura verde.....	29
Quadro 2. Maneiras de combinar infraestruturas cinzas e verdes.	39
Quadro 3. Relação entre as palavras-chave mais relevantes do PB e os termos utilizados nas buscas iniciais.	55
Quadro 4. Entrevistados selecionados para a etapa da entrevista.	77
Quadro 5. Roteiro dos questionamentos que serão feitos durante a entrevista.	79
Quadro 6. Relação dos trechos e pontos de alagamento com as possíveis causas. ..	81
Quadro 7. Tipologias multifuncionais e suas respectivas vantagens e limitações. ..	83
Quadro 8. Matriz de correlação entre soluções baseadas na natureza e serviços ambientais.....	128
Quadro 9. Avaliação Comparativa: benefícios e limitações dos cenários propostos.	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados encontrados nas bases de dados.....	46
Tabela 2. Principais artigos do portfólio bibliográfico.....	49
Tabela 3. Serviços de drenagem e manejo de águas pluviais.....	69
Tabela 4. Indicadores do serviço de drenagem urbana.....	70
Tabela 5. Documentos públicos oficiais que abordam drenagem urbana no município de João Pessoa, PB.....	75
Tabela 6. Principais características dos trechos com recorrência de alagamentos no bairro da Torre.....	86

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BA	Banco de Autores
BAB	Banco de Artigos Brutos
CGE	Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas
COMPDEC	Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil
COP	Conferência das Partes
EBAPs	Estações de bombeamento de águas pluviais
EC	Comissão Europeia
GEE	Gases do efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICES	Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPT/SP	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IV	Infraestrutura Verde
LID	Desenvolvimento de Baixo Impacto
LIUDD	Desenho e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Plano de Ação Climática
PB	Portfólio Bibliográfico
PC	Palavras – chave
PDM	Plano Diretor Municipal
PDDMAPU	Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas
PDDrU	Planos Diretores de Drenagem Urbana
PMJP	Plano Municipal de João Pessoa
PMBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PMRJ	Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro
SbN	Soluções Baseadas na Natureza
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SEMAM	Secretaria de Meio Ambiente
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SUDS	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável
SWMM	Modelo de Gestão de Águas Pluviais
UE	União Europeia
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza

UNEA-5 Quinta Assembleia das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNFCCC Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
WSUD Desenho Urbano Sensível à Água

01

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este primeiro capítulo apresenta um panorama inicial do tema, sua relevância, a contextualização da problemática, a justificativa e os objetivos da pesquisa. Nele, é especificado como o trabalho está estruturado.

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana e o crescimento das cidades têm intensificado o desequilíbrio ambiental, o que compromete a qualidade do ambiente físico e resulta em insalubridade urbana e baixa qualidade de vida para os moradores. As ondas de calor são apontadas pela *Global Cool Cities Alliance*¹ como um dos riscos climáticos mais letais, afetando cerca de 200 milhões de pessoas em mais de 350 cidades no mundo e causando consideráveis impactos na mortalidade (Freitas *et al.*, 2023). Além disso, esse avanço urbano contribuiu para o aumento de superfícies impermeáveis e para a canalização de rios, intensificando a ocorrência de alagamentos, enchentes e inundações, fenômenos que acarretam sérios prejuízos sociais, econômicos e ambientais (Costa *et al.*, 2021).

No contexto brasileiro, a drenagem urbana historicamente ocupa posição secundária na agenda do poder público, sendo frequentemente incorporada apenas nas etapas finais das obras de infraestrutura. Em geral, priorizam-se os sistemas de abastecimento de água e, posteriormente, o esgotamento sanitário, o que conduz à implementação de redes de drenagem concebidas de maneira tardia, fragmentada e pouco articulada ao planejamento urbano (RECESA, 2007).

Apesar do Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) reconhecer a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas como componentes do saneamento básico e estabelecer a necessidade de seu planejamento nos planos municipais, o tema ainda apresenta lacunas quanto ao detalhamento normativo e à disponibilidade de mecanismos específicos de financiamento (Leite *et al.*, 2022).

¹ “Aliança Global de Cidades Frescas”, organização internacional lançada em 2010 com a missão de promover políticas e programas de mitigação das ilhas de calor urbanas para fomentar cidades mais saudáveis e resilientes. Disponível em <<https://heathealth.info/partners/global-cool-cities-alliance/>>

Conforme destacam Christofidis *et al.* (2019), esse modelo tradicional fundamenta-se em uma lógica higienista, orientada à rápida coleta e ao direcionamento das águas pluviais para jusante. Tal abordagem contribui para a elevação dos picos de cheia nos cursos d'água e para a intensificação dos impactos hidrológicos nas áreas urbanas. Como consequência, ampliam-se os problemas urbanos, sociais e ambientais, uma vez que soluções setoriais e fragmentadas tendem a gerar externalidades negativas e conflitos intersetoriais.

Esse cenário se agrava diante do fato de que cerca de 32% dos municípios brasileiros não dispõem de soluções adequadas de drenagem urbana e manejo de águas pluviais, e apenas 263 municípios contam com Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU), instrumentos fundamentais para o planejamento estratégico e a mitigação de riscos associados a eventos hidrológicos extremos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2025). Nesse sentido, torna-se urgente que municípios de médio e grande porte priorizem investimentos em drenagem urbana, uma vez que o acesso pleno ao saneamento ambiental também depende da efetiva implementação desses serviços essenciais.

Essa negligência também está diretamente associada à forma como os corpos hídricos foram incorporados ao processo de urbanização do país. Ao longo do desenvolvimento das cidades brasileiras, rios e córregos passaram a ser percebidos como barreiras físicas ao crescimento urbano, sendo tratados como obstáculos ao desenvolvimento. Em meio urbano, assumiram funções voltadas ao atendimento de demandas infraestruturais, recebendo os resíduos da sociedade e tendo suas várzeas ocupadas para a construção de grandes avenidas. Raramente foram valorizados como elementos paisagísticos ou integrados ao planejamento urbano de forma a promover o bem-estar social (Ferrarezi; Francisco, 2013).

Como desdobramento dessa lógica de ocupação e intervenção no território, consolidou-se o predomínio de um modelo baseado na infraestrutura convencional – ou infraestrutura “cinza” –, caracterizado pela ampla pavimentação e pela consequente redução da permeabilidade do solo. Esse modelo intensifica os problemas relacionados ao escoamento superficial das águas pluviais, os quais, quando associados a eventos de chuvas intensas, resultam em alagamentos recorrentes nas áreas urbanas, afetando diretamente a rotina e a qualidade de vida da população (Herzog; Rosa, 2010).

Nesse contexto, emerge o conceito de infraestrutura verde, que, segundo Maropo *et al.* (2019), vem sendo incorporado por algumas cidades como estratégia de adaptação de áreas urbanas já consolidadas, marcadas pela predominância de infraestrutura cinza.

Nesse conceito, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) se destacam como uma estratégia promissora sustentável para a adaptação urbana, ao integrarem processos naturais ao planejamento territorial e proporcionarem benefícios ambientais, econômicos e sociais. O diagrama apresentado na Figura 1 sistematiza a relação entre o modelo tradicional de urbanização, marcado pela predominância da infraestrutura cinza, e a necessidade de transição para abordagens sustentáveis.

Figura 1. Diagrama sobre os desafios da urbanização para introduzir soluções sustentáveis.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

As SbN podem possibilitar a criação de soluções inovadoras e o desenvolvimento de novos cenários econômicos e sociais, reintroduzindo a natureza nas cidades em diversas escalas. Elas protegem os ecossistemas remanescentes e outras áreas verdes, proporcionando serviços ecossistêmicos específicos e todos os benefícios associados. Em nível de espaço público, alguns exemplos dessa estratégia são jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis.

Essas intervenções contribuem para a drenagem das chuvas e recarga dos aquíferos, regulação da temperatura, redução do calor urbano e redução da erosão e prevenção de deslizamentos (Evers *et al.*, 2022). As SbN emergem como uma alternativa promissora para atenuar os impactos negativos da urbanização, visando restaurar ecossistemas naturais e promover a infiltração da água no solo e a retenção em áreas verdes. Assim, entende-se que elas podem ser utilizadas em abordagens multifuncionais e ecossistêmicas, diante de cenários de alagamentos e inundações, uma vez que se integram à gestão de recursos hídricos, potencializando um maior controle no escoamento de águas pluviais.

1.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Entre os diversos aspectos da infraestrutura de saneamento ambiental, a drenagem urbana se mostra um desafio em João Pessoa, capital da Paraíba, apresentando vários locais sujeitos a alagamentos, inclusive em meses com índices pluviométricos regulares. Assim como em diversas cidades brasileiras, os sistemas de drenagem são inadequados ou insuficientes para gerenciar o volume de água gerado, conforme também destacado por Silva (2018) e Wanderley e Paz (2014).

O crescimento urbano acelerado e desordenado de João Pessoa continua intensificando processos de impermeabilização do solo, canalização de rios e redução de áreas verdes, fatores que contribuem para o aumento da frequência e intensidade dos impactos hidrológicos em diversos pontos da cidade. Diversos autores têm investigado essas dinâmicas, constatando que a maior parte das pesquisas é desenvolvida em escala intraurbana, concentrando-se em estudos de caso aplicados a bairros ou comunidades específicas.

Nessa perspectiva, ao analisar os cenários de risco no bairro São José, Santos (2007) constatou que o processo de urbanização intensiva promoveu uma impermeabilização significativa do solo e alterações no curso do rio Jaguaribe. A ocupação da várzea e das encostas configura-se, assim, como fator condicionante para a ocorrência de enchentes na área, além de potencializar o risco de desabamento de moradias e de deslizamentos que colocam em perigo a vida da população residente.

Soares e Ramos Filho (2014) analisaram a relação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas do município e identificaram que o principal fator para o desencadeamento dos escorregamentos nesses locais é o volume de chuva acumulado nos sete a oito dias anteriores ao evento. Cerca de 63,16% dos casos corresponderam a ocorrências isoladas, associadas a precipitações diárias superiores a 150 mm ou a combinações entre chuvas moderadas (cerca de 50–70 mm) e elevados acumulados semanais (acima de 130 mm). Já os escorregamentos generalizados foram registrados em situações de chuvas diárias mais intensas, superiores a 160 mm, ou quando associados a altos acumulados no período de sete dias.

Com o objetivo de analisar a suscetibilidade à ocorrência de enchentes e alagamentos na bacia do alto e médio curso do rio Jaguaribe, Santos *et al.* (2015) verificaram que, a partir dos dados morfométricos, a bacia não apresenta elevada propensão natural a esses eventos. Os autores concluíram que a ocorrência de tais eventos

está fortemente relacionada aos padrões de uso e ocupação do solo, que favorecem o desenvolvimento de processos erosivos e o consequente assoreamento do canal fluvial.

Um caso mais recente ocorreu em agosto de 2025, quando se registrou o maior volume de chuva do ano: cerca de 218 mm em apenas 24 horas, o que equivale a 75% do total esperado para esse mês. De acordo com matéria publicada pelo G1/PB (2025), a Defesa Civil registrou dois chamados por alagamento; o trânsito foi parcialmente interditado na Avenida Epitácio Pessoa; e a circulação de trens foi interrompida devido a alagamentos nas linhas férreas, além do registro de deslizamentos de terra no mesmo episódio.

A redução das áreas verdes intensifica o problema, uma vez que diminui a capacidade de infiltração do solo e amplia o escoamento superficial. Historicamente, as respostas adotadas pelo poder público têm se fundamentado na ampliação da infraestrutura cinza; entretanto, os episódios de alagamento permanecem recorrentes, gerando impactos sobre a mobilidade urbana, a economia local, a saúde pública e, consequentemente, a qualidade de vida da população.

Evidências recentes reforçam essa problemática: Zhuang *et al.* (2025) demonstraram que a ampliação da cobertura de infraestrutura verde na cidade de Kunshan reduziu o escoamento superficial em aproximadamente 22,74%, enquanto a predominância de superfícies impermeáveis exerce influência negativa de cerca de 21,63% na mitigação de transbordamentos durante eventos chuvosos.

Diante desse cenário, impõem-se alguns questionamentos: de que maneira a drenagem urbana vem sendo efetivamente incorporada pelo poder público municipal? Existe, no âmbito normativo e institucional, uma abordagem orientada ao manejo sustentável das águas pluviais ou prevalece ainda uma lógica tradicional centrada no rápido escoamento? Em que medida a incorporação de princípios sustentáveis pode contribuir para o aprimoramento do modelo convencional vigente?

Assim, emerge a importância de discutir, no âmbito municipal, alternativas sustentáveis que complementem a abordagem tradicional. Este estudo propõe a reintegração da natureza à paisagem urbana, por meio de SbN, como estratégia que pode contribuir para o aprimoramento do modelo tradicional. Tais iniciativas podem integrar a restauração de ecossistemas, a criação de áreas verdes e a gestão sustentável de águas pluviais. Embora essas abordagens já estejam consolidadas no debate nacional e internacional, sua aplicação em João Pessoa, no contexto de drenagem urbana, ainda é

pouco explorada, havendo lacunas quanto às possibilidades efetivas de incorporação dessas estratégias ao planejamento urbano e aos instrumentos de gestão municipal.

A análise da literatura evidencia a existência de estudos que abordam a problemática da drenagem urbana no município de João Pessoa, os quais se concentram na identificação e no mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos urbanos (Silva *et al.*, 2008; Lima; Filgueira, 2018; Miguel; Felix, 2016; Azevedo, 2019; Queiroga *et al.*, 2024). Apesar da relevância dessas contribuições para o planejamento urbano, percebe-se a escassez de estudos que investiguem de forma aprofundada alternativas sustentáveis de manejo das águas pluviais, capazes de mitigar os impactos dos alagamentos e fortalecer uma gestão urbana mais resiliente.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de discutir e propor medidas sustentáveis capazes de complementar os métodos convencionais de drenagem urbana, como as SbN, que integram benefícios ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, destaca-se também a importância dos municípios avançarem na adesão e implementação das diretrizes estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento Básico, que reconhece a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas como componentes essenciais do saneamento básico e reforça a necessidade de planejamento integrado desses serviços nos instrumentos municipais.

Além disso, a carência de pesquisas que aprofundem a viabilidade e a aplicabilidade das SbN no contexto do bairro reforça a relevância deste trabalho, que busca contribuir para o avanço do planejamento urbano resiliente, oferecendo subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e para o aprimoramento dos instrumentos de gestão municipal.

A pesquisa também dialoga diretamente com a Agenda 2030 das Nações Unidas, ao se alinhar a alguns dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Destacam-se os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 6 (Água Potável e Saneamento), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao promover a redução de riscos à saúde associados a alagamentos, a gestão sustentável das águas pluviais, o incentivo a infraestruturas urbanas resilientes, o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e estratégias de adaptação às mudanças climáticas. Dessa forma, o estudo contribui para integrar planejamento urbano, gestão hídrica e sustentabilidade nas cidades.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar como a drenagem urbana é contemplada nos instrumentos normativos do município de João Pessoa/PB e analisar, em escala local, o potencial de integração de medidas sustentáveis complementares às soluções convencionais.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Levantar e analisar documentos oficiais relacionados à drenagem urbana de João Pessoa, a fim de entender como a drenagem tem sido abordada no município;
- Identificar e discutir os principais desafios institucionais e normativos associados à adoção de medidas sustentáveis para o tratamento de alagamentos urbanos;
- Desenvolver e simular, por meio de modelagem hidrológico-hidráulica, cenários de intervenção aplicando Soluções baseadas na Natureza no bairro da Torre, em João Pessoa, sob condições críticas de chuva de projeto.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em sete capítulos distintos, de modo que cada capítulo representa um dos elementos que compõem esta investigação, complementando-se entre si para apresentar de forma clara a pesquisa desenvolvida. Inicialmente, é apresentado no **Capítulo 1** o contexto dos elementos da pesquisa, com uma introdução sobre o tema, caracterização do problema, justificativas, bem como os objetivos do estudo.

Os capítulos 2 e 3 reúnem o embasamento teórico que contextualiza o assunto proposto no trabalho. Assim, o **Capítulo 2** organiza o referencial teórico, em que se buscou apresentar os principais conceitos relativos ao tema, tais como urbanização, Agenda 2030, drenagem urbana, infraestrutura cinza, infraestrutura verde e, por fim, Soluções baseadas na Natureza. Já no **Capítulo 3**, é realizada uma revisão sistemática da literatura, apresentando o estado da arte da pesquisa, identificando o conhecimento discutido atualmente, as tendências, os avanços e as lacunas existentes nos estudos já realizados.

O **Capítulo 4** caracteriza o objeto empírico de estudo, trazendo os aspectos ambientais, sociais, topográficos, geográficos, climáticos do município de João Pessoa, e

no **Capítulo 5** é apresentado o direcionamento metodológico adotado, demonstrando a abordagem utilizada para cumprir com os objetivos propostos. O **Capítulo 6** irá organizar os resultados alcançados e suas respectivas discussões e, por fim, o **Capítulo 7** mostrará as considerações finais do estudo, resumindo os principais achados e reflexões dos resultados, como também discutirá as limitações da pesquisa e sugerirá condutas a serem adotadas para estudos futuros.

ASPECTOS CONCEITUAIS E REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se a base conceitual e científica que fundamenta esta pesquisa, reunindo as principais teorias, conceitos e autores relacionados ao tema proposto. Esse referencial servirá de suporte à análise e interpretação dos resultados. Assim, serão discutidas as questões ambientais agravadas pela expansão urbana e a forma como a infraestrutura verde pode e deve ser reintroduzida no ambiente urbano, promovendo cidades mais equilibradas e resilientes.

2. URBANIZAÇÃO E SEUS REFLEXOS NOS SISTEMAS AMBIENTAIS

A urbanização é um fenômeno ligado ao crescimento das cidades e à aglomeração populacional em regiões urbanas, frequentemente impulsionada por fatores como a industrialização, a disponibilidade de empregos e o acesso a serviços. Hussain e Imitiyaz (2018) afirmam que as cidades são resultado do processo de urbanização, que provoca transformações nos aspectos econômicos, sociais e culturais de uma sociedade.

No Brasil, ela foi se construindo de forma desproporcional, a partir de novas formas de crescimento econômico associadas à ausência de planejamento e de desenvolvimento social, produzindo cidades insustentáveis e focadas nos interesses do capital imobiliário (Pereira *et al.*, 2022). Para Ferreira (2005), as cidades brasileiras ainda carregam uma herança colonial que nunca foi superada. Essa característica se revela de forma evidente na distribuição desigual de riquezas na sociedade, tornando-se ainda mais notória com a globalização e a consequente desigualdade social. Isso se manifesta no fato de que uma parcela significativa da população urbana vive em favelas e em habitações precárias.

Embora esse fenômeno represente progressos na infraestrutura e no crescimento econômico, também acarreta desafios ambientais significativos, gerando consequências que interferem no bem-estar humano e na sustentabilidade das comunidades. O aumento da população urbana tem sido corroborado pela expansão de áreas suburbanas, resultando em ambientes urbanos segregados e degradados, com graves problemas ambientais (Michel *et al.*, 2020). A presença humana tem causado muitos impactos antropogênicos aos ecossistemas e contribuído para o agravamento das mudanças climáticas.

Em 2023, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publicou o Sexto Relatório de Avaliação (AR6), resumindo o estado do conhecimento sobre as mudanças climáticas e seus impactos. Segundo esse relatório, o aquecimento global induzido por atividades antrópicas já alcança 1,1 °C de aumento na temperatura terrestre, resultando no aumento do nível do mar, em eventos extremos de precipitação e na frequência e severidade do calor extremo, tempestades e secas (IPCC, 2023).

O AR6 descreve uma série de impactos adversos já vivenciados pela população mundial, entre os quais é citada a escassez hídrica: atualmente, cerca de metade da população global enfrenta situações de escassez severa de água durante pelo menos um mês ao ano. Esse dado é corroborado por Mekonnen e Hoekstra (2016), que estimam que aproximadamente quatro milhões de pessoas no mundo vivenciam esse tipo de restrição hídrica pelo menos um mês por ano.

Entre outros impactos relevantes estão o aumento das temperaturas, que favorece a disseminação de doenças vetoriais, como a malária, e a redução da produtividade agrícola em latitudes médias e baixas. Ainda que o aquecimento global permaneça abaixo do limite de 1,5 °C, o cenário projetado não é considerado seguro: estima-se que cerca de 950 milhões de pessoas estarão expostas a estresse hídrico, térmico e processos de desertificação, além de um aumento da população mundial afetada por inundações, que poderá alcançar 24% (Boehm; Schumer, 2023).

Hoegh-Guldberg *et al.* (2018) demonstram que, mesmo com a limitação do aquecimento a 1,5 °C, os impactos sobre sistemas naturais e humanos permanecem significativos, incluindo maior frequência e intensidade de ondas de calor, expansão geográfica de doenças vetoriais, perdas na produtividade agrícola e ampliação da exposição a inundações e riscos hídricos, sobretudo em regiões socialmente vulneráveis.

Nesse contexto, quem mais sofre são as pessoas que vivem em contexto vulnerável. O aumento de eventos climáticos extremos expôs milhões de pessoas à grave insegurança alimentar e à diminuição da segurança hídrica. Os impactos adversos mais observados foram em comunidades na África, Ásia, América Central e do Sul, além dos povos indígenas, pequenos produtores de alimentos e famílias de baixa renda em todo o mundo (Diffenbaugh; Burke, 2019). De 2010 a 2020, a taxa de mortalidade humana por inundações, secas e tempestades foi 15 vezes superior em áreas de alta vulnerabilidade, em relação às áreas de vulnerabilidade muito baixa (IPCC, 2023).

Com o objetivo de fornecer cobenefícios para a redução do risco de desastres, adaptação às mudanças climáticas e saúde, foi proposta em 2015 a Agenda 2030, que é

composta por uma série de programas, iniciativas e orientações que têm como objetivo direcionar a atuação das Nações Unidas e de seus países membros, visando alcançar o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2018). No plano constam os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), buscando erradicar a pobreza extrema e a fome, garantir educação de qualidade ao longo da vida para todos, preservar o planeta e fomentar sociedades pacíficas e inclusivas até 2030 (Figura 2).

Figura 2. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.



Fonte: Organização das Nações Unidas (2015).

Sabendo que as atividades antrópicas constantemente substituem superfícies naturais e permeáveis por impermeáveis, resultando em um aumento no volume de escoamento superficial (Almaaitah *et al.*, 2021), a inserção de infraestruturas verdes no planejamento urbano pode ser uma estratégia essencial para o enfrentamento dos desafios ambientais atuais, contribuindo diretamente para o cumprimento de algumas metas dos ODS, como as relacionadas à ação climática (13), cidades sustentáveis (11) e gestão eficiente dos recursos naturais disponíveis (12).

O Quadro 1 reúne algumas metas de cada ODS mencionado anteriormente e mostra como estes objetivos podem ser alcançados com infraestruturas verdes, por intermédio de funções e serviços ambientais.

Quadro 1. Relação das metas dos ODS com a infraestrutura verde.

ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis	Infraestrutura Verde	
	Função Ambiental	Serviço Ambiental
Meta 11.6		

Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, à gestão de resíduos municipais e outros.	Equilíbrio Ambiental	Melhoria da qualidade do ar
Meta 11.7	Função Ambiental	Serviço Ambiental
Até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência.	Bem-Estar Social	Recreação, saúde física e mental
ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis	Infraestrutura Verde	
Meta 12.2	Função Ambiental	Serviço Ambiental
Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.	Equilíbrio Ambiental	Redução do efeito das inundações
ODS 13: Combate às Alterações Climáticas	Infraestrutura Verde	
Meta 13.2	Função Ambiental	Serviço Ambiental
Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias, e planejamentos nacionais.	Consciência Ambiental	Políticas públicas sustentáveis
Meta 13.3	Função Ambiental	Serviço Ambiental
Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima.	Consciência Ambiental	Educação ambiental

Fonte: Solera *et al.*, 2020, adaptado pela autora (2025).

Nesse sentido, o crescimento urbano impacta direta e indiretamente as mudanças climáticas, de modo que as constantes emissões de gases de efeito estufa (GEE), mudanças no uso do solo, comunidades vulneráveis a desastres naturais, ilhas de calor urbanas trazem consequências significativas sociais, ambientais e econômicas. Para enfrentar esses desafios, é fundamental que as políticas públicas sejam delineadas de modo a promover a resiliência das cidades frente a esses impactos. Para tanto, a integração entre estratégias sustentáveis e convencionais é essencial para garantir um futuro urbano saudável.

2.1. DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA DRENAGEM URBANA BRASILEIRA

Nos últimos anos, tem-se discutido amplamente sobre como o crescimento desordenado dos espaços urbanos e a intensificação dos eventos climáticos têm revelado a vulnerabilidade de diversas áreas a inundações e alagamentos. No Brasil, entre os tipos de desastres naturais mais recorrentes, as inundações se destacam como as principais responsáveis por perdas de vidas humanas, além de causarem significativos impactos socioambientais e econômicos (Kobiyama; Goerl, 2011).

O país enfrenta diversos problemas urbanos devido à ineficiência do sistema de drenagem, especialmente durante os meses mais chuvosos. As inundações atingem a comunidade devido à ocupação irregular de planícies e de áreas próximas aos cursos

d'água. Destaca-se que esses problemas não se restringem apenas às áreas periféricas; no entanto, esses bairros, na maioria das vezes, são os que mais enfrentam tais dificuldades, justamente por serem menos saneados e por não possuírem estruturas de micro e macrodrenagem urbana adequadas às necessidades locais (Caldeira; Lima, 2020).

Um exemplo recente desse cenário é o estado do Rio Grande do Sul, que sofreu severos impactos em decorrência de um evento hidrológico extremo, caracterizado por grandes inundações, ocorrido em maio de 2024. As chuvas superaram consideravelmente as médias históricas, com algumas regiões registrando até 300 mm em um único dia. Como consequência, o solo ficou saturado e rios e córregos transbordaram, provocando inundações generalizadas em regiões urbanas e rurais (Suárez *et al.*, 2024). Os autores acrescentam que 95 municípios declararam estado de calamidade e outros 323, estado de emergência.

Além dos prejuízos vivenciados pelos setores social e produtivo, o setor de água potável e saneamento também sofreu danos, registrando um total de R\$ 440 milhões, de modo que 63% foram absorvidos pelo setor público (Suárez *et al.*, 2024). Em relação à drenagem pluvial:

Das 23 estações de bombeamento de águas pluviais (EBAPs) que compõem o sistema de drenagem da capital, 19 foram desligadas devido aos riscos de inundação e choque elétrico. Dessas 19, 14 EBAPs acabaram alagadas, o que exigiu conserto e substituição de bombas e motores, assim como o aluguel de geradores elétricos, para que algumas delas pudessem retomar o funcionamento (Suarez *et al.*, 2024, p. 125).

Frente à recorrência de eventos hidrológicos extremos e às limitações históricas da drenagem urbana no país, a legislação nacional poderia emergir como um instrumento central para orientar ações voltadas ao manejo das águas pluviais e à redução dos riscos associados a inundações urbanas. O Novo Marco Legal do Saneamento Básico, instituído pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, estabelece que os serviços públicos de saneamento básico devem contemplar, nas áreas urbanas, a oferta de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, incluindo atividades de transporte, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes, de modo a assegurar a proteção da saúde pública e do meio ambiente (BRASIL, 2020).

Ademais, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) publicou a Norma de Referência nº 12/2025, por meio da Resolução ANA nº 245, de 17 de março de 2025, que dispõe sobre a estruturação dos serviços públicos de drenagem e manejo de

águas pluviais urbanas. Em seu Art. 5º, a Norma estabelece como objetivos do gerenciamento de águas pluviais urbanas:

- I – Minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e da poluição nos corpos hídricos;
- II – Contribuir para a segurança hídrica;
- III – Contribuir para a redução dos impactos sociais e econômicos associados aos riscos de enxurradas, alagamentos e inundações;
- IV – Contribuir para a proteção da vida, das propriedades e demais infraestruturas urbanas; e
- V – Contribuir com estratégias de resiliência urbana em consonância com os planos de mitigação e adaptação às mudanças do clima e planos de contingência (BRASIL, 2025).

O parágrafo único do referido artigo acrescenta que o alcance desses objetivos deve estar fundamentado na adoção das melhores práticas e em princípios de sustentabilidade no planejamento e na concepção dos sistemas, reforçando a drenagem urbana como componente essencial do saneamento e instrumento estratégico para a redução de riscos hidrológicos e socioambientais.

Nesse contexto, a adequada compreensão dos fenômenos hidrológicos associados à drenagem urbana torna-se fundamental para o planejamento e a gestão desses sistemas. Em razão da ampla ocorrência, a terminologia associada a eles acaba variando de acordo com a região. No Brasil, são empregados diferentes termos como cheia, enchente, enxurrada, inundação gradual, inundação brusca, alagamentos, inundações urbanas, entre outros. Essa diversidade de termos semelhantes gera divergências e, por vezes, confusões na caracterização desses eventos (Kobiyama; Goerl, 2011).

Assim, a Norma de Referência nº 12/2025 define as principais e mais utilizadas tipologias como:

- **Alagamento:** acúmulo temporário de água em vias públicas, calçadas, edificações ou outras infraestruturas urbanas devido à insuficiência, obsolescência, falha ou inexistência de sistemas de drenagem;
- **Enchentes ou cheias²:** elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar;
- **Enxurrada:** escoamento superficial rápido e concentrado, caracterizado por alta velocidade e energia, que ocorre em áreas de relevo acentuado, sendo

² A referida norma não apresenta definições específicas para os termos *enchentes* ou *cheias*. Dessa forma, adotou-se a definição proposta pelo Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007).

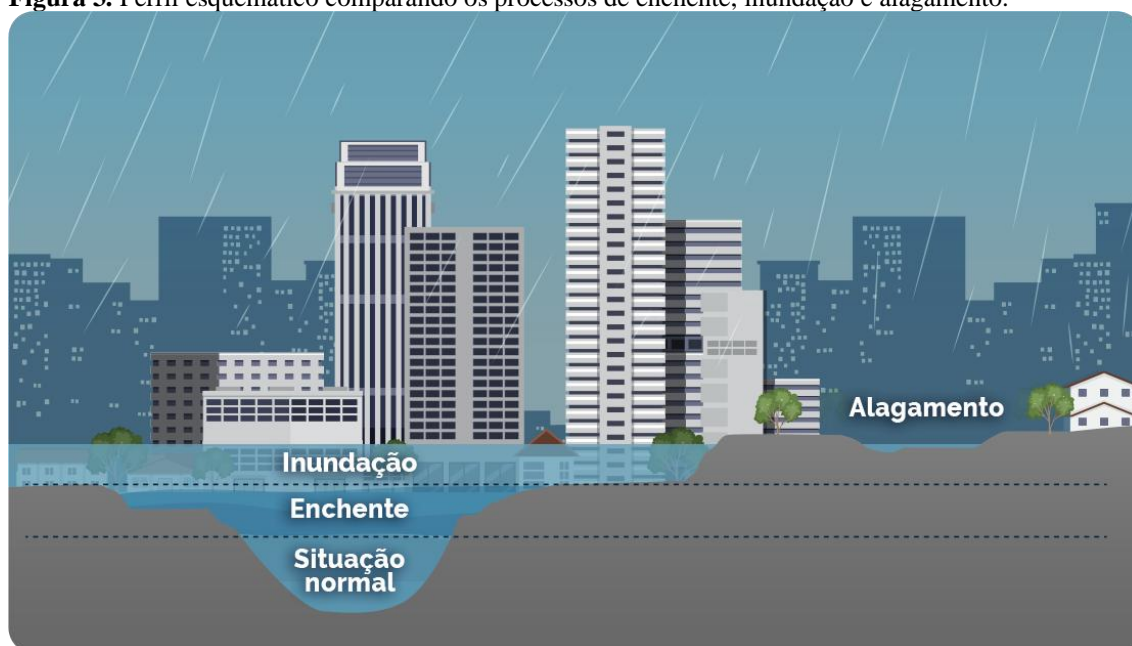
potencialmente destrutivo devido à sua força erosiva e capacidade de transporte de sedimentos e detritos;

- **Inundação:** transbordamento de água da calha normal de corpos hídricos provocado por chuvas críticas para a bacia de contribuição.

As inundações podem ser classificadas em graduais e bruscas. As graduais acontecem quando o nível da água se eleva de forma lenta e previsível, permanecendo em estado de cheia por determinado período antes de escoar gradualmente. Já as bruscas decorrem de precipitações intensas, fazendo com que a elevação das águas ocorra de maneira repentina, em áreas de impacto mais restritas (Kobiyama; Goerl, 2011).

Os alagamentos ocorrem nas cidades em função do acúmulo de água sobre superfícies impermeáveis – como ruas asfaltadas ou concretadas – e não estão necessariamente relacionados à presença de corpos hídricos. Não foram encontrados estudos que estabeleçam uma classificação detalhada dos tipos de alagamento. O Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas de São Paulo adota uma disposição que os divide em transitáveis e intransitáveis. Essa distinção considera a intensidade do evento: no caso dos alagamentos transitáveis, a lâmina d'água não cobre totalmente as pistas, permitindo a circulação de veículos; já os intransitáveis caracterizam-se pela permanência maior da lâmina d'água, impossibilitando o tráfego de veículos na área afetada (SÃO PAULO, 2015). A Figura 3 ilustra didaticamente como ocorrem tais episódios.

Figura 3. Perfil esquemático comparando os processos de enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Ministério da Saúde (2024).

Amaral e Ribeiro (2009) destacam que os fatores naturais que influenciam esses processos incluem as formas do relevo, as características da drenagem da bacia hidrográfica, bem como a intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas, além das características do solo e seu teor de umidade e a presença ou ausência de cobertura vegetal. Em relação aos condicionantes antrópicos, os autores mencionam o uso e ocupação inadequados das planícies e margens dos cursos d'água, a disposição irregular de lixo nas proximidades desses cursos, as alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água, além do intenso processo de erosão dos solos e do assoreamento dos cursos d'água.

Diante desse cenário, destaca-se a necessidade de reavaliar e aprimorar as práticas de manejo das águas pluviais nas cidades brasileiras. De acordo com Mailhot e Duchesne (2010), os sistemas de drenagem urbana são tradicionalmente dimensionados com base em critérios hidrológicos que utilizam chuvas de projeto associadas a um determinado período de retorno. O período de retorno representa o intervalo médio de tempo em que um evento de determinada intensidade pluviométrica tende a ocorrer (em geral, entre 5 e 10 anos para microdrenagem e 25 anos para macrodrenagem). Assim, as galerias, canais e dispositivos de micro e macrodrenagem são projetados para suportar uma vazão correspondente a essa chuva estimada.

Assim, esses sistemas apresentam limitações diante do aumento das vazões geradas, especialmente em um contexto de intensificação de eventos. Não é considerado o aumento da frequência e da intensidade da precipitação, o que compromete a manutenção de uma sobrecarga aceitável. Outras questões relevantes na gestão de água urbana, como a qualidade do escoamento, a amenidade visual, o valor recreativo, a proteção ecológica e os múltiplos usos da água, também não são abordadas (Zhou, 2014).

Nesse contexto, os sistemas de drenagem sustentáveis são incentivados como uma opção e/ou complemento à metodologia convencional para garantir a sustentabilidade a longo prazo no projeto do sistema (Zhou, 2014). Nas duas últimas décadas, novas maneiras de realizar a gestão de águas urbanas foram desenvolvidas, abordando as áreas ambientais, econômicas, sociais e culturais, de forma a trazer benefícios múltiplos. Essa abordagem é chamada de LID (desenvolvimento de baixo impacto), ou Desenvolvimento de Baixo Impacto, mas várias siglas são utilizadas em outros estudos, como SUDS (sistemas de drenagem urbana sustentável), WSUD (desenho urbano sensível à água) e LIUDD (desenho e desenvolvimento urbano de baixo impacto, um termo usado na Nova Zelândia) (Elliott; Trowsdale, 2007).

2.2. INFRAESTRUTURA CINZA X INFRAESTRUTURA VERDE

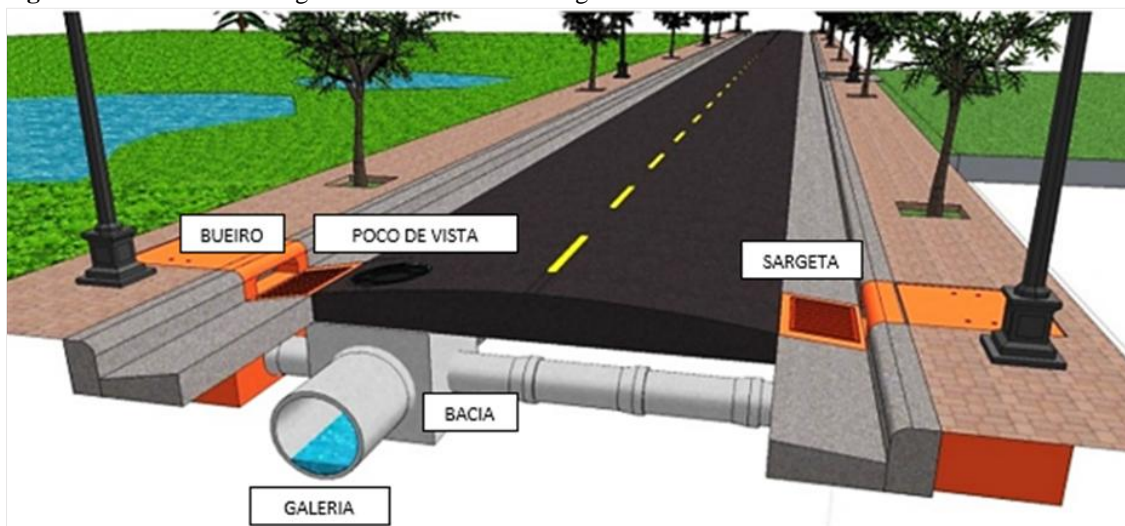
Tendo em vista que mais da metade da população mundial está concentrada em cidades (Herzog; Rozado, 2020), não é esperado que a conservação da paisagem natural seja considerada como prioridade nesse processo de planejamento das zonas urbanas. Como consequência, essa urbanização é acompanhada por solos impermeabilizados e pelo aumento gradativo de zonas residenciais, comerciais e industriais.

Nesse sentido, as infraestruturas convencionais/tradicionais vêm compondo o cenário das cidades para viabilizar o seu funcionamento básico. No âmbito da drenagem urbana, elas são caracterizadas por edificações e projetos feitos de concreto e/ou materiais resistentes, com o objetivo de mediar o sistema humano e a variabilidade dos sistemas meteorológicos e climáticos (Deprietri; Mcphearson, 2017). Exemplos dessas estruturas são calhas, drenos, tubulações, barragens, estradas, diques, entre outros.

Historicamente, a gestão tradicional de águas pluviais brasileiras é baseada em infraestrutura cinza, utilizando canais de concreto, tubulações subterrâneas e estações de bombeamento. Esses sistemas foram desenvolvidos para escoar rapidamente a água de chuva para fora das áreas urbanas, coletando e conduzindo para estações de tratamento de águas residuais ou para corpos hídricos superficiais.

Os sistemas de drenagem são divididos em drenagem inicial ou microdrenagem e sistema de macrodrenagem, ambos planejados para situações diferentes. De acordo com Souza (2024), a microdrenagem é definida como o conjunto de condutos ou canais (superficiais ou enterrados) responsáveis pelo controle das águas, resultantes das áreas parceladas do solo, por via de regra inferiores a 2 km². A Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU, 2012, p. 15) acrescenta que esse sistema é composto por pavimentos de ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo e galerias de águas pluviais. São estruturas de entrada no sistema de drenagem das bacias urbanas e projetadas para atender ao escoamento de precipitações com risco demorado, eliminando alagamentos em áreas urbanas (Figura 4).

Figura 4. Sistema de drenagem inicial ou microdrenagem.



Fonte: Raposo *et al* (2023).

O sistema de macrodrenagem compreende o esgotamento de áreas superiores por meio de sistemas coletores de maior capacidade, capazes de escoar o fluxo captado a montante pela microdrenagem (Souza, 2024). É constituído por estruturas de maiores dimensões, projetadas para atender a precipitações superiores ou cheias, como canais construídos ou naturais e reservatórios de detenção ou retenção (Figura 5). Quando não projetado, existe naturalmente através das depressões topográficas e dos cursos d'água naturais (SMDU, 2012, p. 16).

Figura 5. Sistema de macrodrenagem.



Fonte: Prefeitura de Aracruz (2022).

Contudo, o modelo convencional prioriza o controle da quantidade de água, desconsiderando fatores como qualidade da água, recarga do lençol freático, preservação ambiental e usos múltiplos. Além disso, estudos apontam que essa infraestrutura tende a falhar quando exposta a precipitações intensas, pois não foi projetada para as condições climáticas atuais e futuras (Depietri; McPherson, 2017). Em estudo, Zhou (2014) apresenta que a combinação entre urbanização e mudança climática pode elevar picos de escoamento em até 30–40%, superando a capacidade hidráulica de sistemas convencionais.

Devido a isso, vê-se a necessidade de um sistema de infraestrutura urbana sustentável, que seja eficaz agora e flexível para se ajustar a um futuro incerto. Ou seja, devem ser não apenas confiáveis sob cargas padrão, mas também capazes de reduzir a magnitude e a duração de falhas em situações excepcionais (Dong *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o termo “infraestrutura verde” tem ganhado destaque nas discussões sobre o planejamento das cidades. Ela utiliza as características do solo e da vegetação para infiltrar, redistribuir e armazenar a água da chuva, com o potencial de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos. Devido a isso, as cidades estão adotando esse tipo de estratégia para gerenciar as águas pluviais na fonte (Berland *et al.*, 2017). Para Herzog; Rosa (2010, p.97), infraestrutura verde (IV) é definido como

[...] redes multifuncionais planejadas de fragmentos permeáveis e vegetados, preferencialmente arborizados (incluem ruas e propriedades públicas e privadas), interconectados que reestruturam o mosaico da paisagem, visando manter ou restabelecer os processos naturais e culturais que asseguram a qualidade de vida urbana.

Algumas cidades também utilizam IV como mecanismo para a implementação de políticas de desenvolvimento sustentável. Como mencionam Liberalesso *et al.*, 2020:

IV é uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais com características ambientais, projetadas e gerenciadas para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, além de fornecer várias funções e benefícios (ecológicos, econômicos e sociais) por meio de soluções naturais.

O termo IV surgiu na década de 1990, nos Estados Unidos, como uma alternativa para a ocupação urbana ecológica e para a redução dos impactos decorrentes da urbanização tradicional sobre a saúde humana e o meio ambiente (Benedict; McMahon, 2006). Todavia, a preocupação com a construção de cidades mais resilientes e saudáveis não é recente. Um dos primeiros registros de trabalhos que tratam da IV foi datado entre 1878 e 1895, desenvolvido por Frederick Law Olmsted, reconhecido como o fundador da

arquitetura paisagística, área dedicada ao planejamento e ao projeto da paisagem (Herzog; Rosa, 2010).

Olmsted idealizou o denominado “Colar de Esmeraldas”, no ano de 1878, em Boston (EUA), composto por uma rede de parques conectados por matas ciliares restauradas, com o objetivo de recompor a dinâmica hídrica em conjunto com um sistema de esgotamento sanitário (Figura 6). É considerado o primeiro projeto de *wetlands* documentado.

Figura 6. Plano atual do *Emerald Necklace* (Colar de Esmeraldas).



Fonte: Bonzi (2015).

Outros autores também apresentaram propostas urbanas e regionais buscando a sustentabilidade, destacando-se Ebenezer Howard, com o conceito de Cidades Jardim, em 1898, e Patrick Geddes, com a abordagem das Cidades em Evolução, em 1915. Ambos defenderam a organização de cidades envoltas por cinturões verdes, criados para limitar o crescimento urbano e estabelecer uma zona de transição entre o espaço urbano e as paisagens produtivas ou áreas agrícolas (Herzog; Rosa, 2010).

Ian McHarg, pioneiro do movimento ambiental, publicou em 1969 a obra *Design With Nature*, obra de referência que defende a conciliação entre as demandas da sociedade tecnológica e a preservação dos processos ecológicos de cada território (Corbett, 2001). Nessa mesma perspectiva, Anne Whiston Spirn destaca-se por sua contribuição à promoção de comunidades sustentáveis, especialmente por meio do *The Granite Garden* (1984), que aborda a natureza no contexto urbano e defende um planejamento urbano alinhado aos processos naturais (Bonzi, 2015).

Adiante, o avanço da ecologia da paisagem, sistematizado por Richard Forman e Michael Godron em 1986, contribuiu para a compreensão de que a interação entre sociedade e natureza pode promover transformações positivas no planejamento urbano e

na adaptação das cidades. Essa perspectiva foi posteriormente reforçada, em 2006, com a publicação da obra *Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities*, de Benedict e McMahon, que consolidou conhecimentos e destacou as potencialidades da IV em diferentes escalas (Herzog; Rosa, 2010).

No Brasil, o discurso foi defendido a partir de 1862, no Rio de Janeiro, destacando a iniciativa de replantio de vegetação nativa no Maciço da Tijuca, conduzida pelo Major Archer, com o objetivo de preservar os mananciais responsáveis pelo abastecimento hídrico da cidade (Frischenbruder; Pellegrino, 2006). Ao longo do tempo, a floresta se regenerou, passando a contribuir para a amenização das temperaturas urbanas, além de possibilitar a prática de atividades esportivas e o desenvolvimento de ações de lazer e recreação.

A partir desse entendimento, destaca-se a relevância da integração entre a infraestrutura verde e a infraestrutura cinza, uma vez que essa articulação pode gerar soluções inovadoras, aprimorar o desempenho dos sistemas urbanos e proporcionar resultados mais eficazes para as comunidades. Sistemas naturais podem ser combinados com os convencionais para fornecer serviços de menor custo e mais resilientes (Browder *et al.*, 2019). O Quadro 2 reúne alguns serviços que podem ser realizados reunindo as infraestruturas verdes e cinzas.

Quadro 2. Maneiras de combinar infraestruturas cinzas e verdes.

Serviço	Exemplos de infraestrutura cinza	Intervenções de IV e suas funções
Abastecimento de água e saneamento	Estações de tratamento, rede de tubulação	Bacias hidrográficas: melhoram a qualidade da água da fonte, reduzindo assim a necessidade de tratamento. Áreas úmidas/Pântanos: filtram efluentes de águas residuais e, assim, reduzem a necessidade de tratamento.
Energia hidrelétrica	Reservatórios e usinas de energia	Bacias hidrográficas: reduzem a entrada de sedimentos e prolongam a vida útil de reservatórios e usinas hidrelétricas.
Proteção contra enchentes costeiras	Diques, quebra-mares, comportas	Floresta de mangue: diminui a energia das ondas e as ressacas e, assim, reduz as necessidades de diques.
Gestão de enchentes urbanas	Bueiros, bombas e emissários pluviais	Áreas de retenção de enchentes urbanas: armazenam águas pluviais, reduzindo a necessidade de drenagem e bombeamento.
Gestão de enchentes de rios	Diques, comportas, estações de bombeamento	Planícies de inundação de rios: armazenam águas de inundação, reduzindo a necessidade de diques.

Fonte: Browder *et al.*, 2019, adaptado pela autora (2025).

Contudo, apesar de seus múltiplos benefícios, as infraestruturas verdes também podem apresentar limitações. Na drenagem urbana, essas limitações estão relacionadas à

disponibilidade de espaço, à necessidade de manutenção contínua, à menor eficiência em eventos pluviométricos extremos e às barreiras institucionais para sua implementação. Em estudo, Fletcher *et al.* (2015) discutem a evolução dos sistemas sustentáveis de drenagem e destacam que as IV não são suficientes isoladamente para eventos extremos. Os autores também apontam desafios de manutenção e defendem uma abordagem híbrida entre verde e cinza.

Já Eckart *et al.* (2017) fazem uma revisão ampla sobre o desempenho de LID. Os autores identificam que a eficiência diminui sem manutenção adequada, podendo haver redução significativa da eficiência após 5–10 anos; e o desempenho é menor em solos compactados, de modo que a redução de escoamento varia entre 20% e 80%, dependendo das condições.

Dessa forma, entende-se que a adoção dessas medidas deve ocorrer de maneira integrada e complementar às soluções convencionais, no âmbito de um planejamento urbano sistêmico.

2.3. SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA: CONCEITO E APLICAÇÕES

O termo SbN se destacou especialmente após o cenário pós-pandemia da COVID-19, em que a percepção da sociedade sobre a importância da presença da natureza mudou. Durante o isolamento social, as pessoas experimentaram uma limitação do contato com espaços ao ar livre, o que levou a uma valorização dos espaços naturais.

Esse conceito emergiu no início do século 21, com uma publicação do Banco Mundial, intitulada “Biodiversidade, Mudança Climática e Adaptação: Soluções Baseadas na Natureza”, no ano de 2008. A publicação apresentou um portfólio de iniciativas apoiadas financeiramente pelo Banco Mundial entre os anos de 1998 e 2008, que evidenciou os recursos aplicados em projetos voltados à mitigação e adaptação às mudanças climáticas, que contaram, total ou parcialmente, com o emprego de SbN para promover a conservação e o uso sustentável do capital natural (WORLD BANK, 2008; Marques *et al.*, 2021). Esse relatório apontou que cerca de seis bilhões de dólares foram destinados, durante esse período, a ações que auxiliaram os países atendidos pelo Banco a cumprir seus compromissos estabelecidos pela Convenção sobre Diversidade Biológica (1992), protegendo a biodiversidade e melhorando os meios de subsistência sustentáveis.

Em 2009, foi mencionado quando a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) o mencionou em um documento direcionado à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), durante a COP-15. Nesse material,

a UICN apresentou seu posicionamento sobre as estratégias de enfrentamento das mudanças climáticas, enfatizando a importância dos ecossistemas naturais nesse processo (FRAGA, 2020). Posteriormente, em 2012, a UICN incorporou formalmente o conceito em seu programa global, definindo-o como uma das três prioridades estratégicas para o período de 2013 a 2016. As ações previstas incluíam a aplicação das SbN em áreas como a redução de riscos de desastres, segurança alimentar e promoção do desenvolvimento econômico e social (UICN, 2012). No ano seguinte, em 2013, a Comissão Europeia (EC) passou a dedicar atenção especial às SbN, promovendo consultas públicas e diálogos com o objetivo de tornar o conceito mais tangível e integrá-lo às abordagens baseadas em ecossistemas (Marques *et al.*, 2021).

Assim, em 2015, a EC realiza uma pesquisa sobre as percepções dos cidadãos europeus sobre a presença de natureza nos ambientes urbanos e, com os resultados, publica o estudo “Por uma agenda de políticas públicas de pesquisa e inovação da União Europeia para soluções baseadas na natureza e renaturalização de cidades – relatório final do Horizonte 2020”. A partir dessa publicação, o termo SbN foi definido pela EC como:

Soluções inspiradas e apoiadas pela natureza, econômicas, que fornecem simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a promover resiliência. Tais soluções trazem mais natureza e um maior número de elementos e processos naturais para as cidades, paisagens rurais e marinhas, além de mais diversificadas, por meio de intervenções adaptadas localmente, eficientes em termos de recursos e sistêmicas. Soluções baseadas na natureza devem, portanto, beneficiar a biodiversidade e apoiar a entrega de uma gama de serviços ecossistêmicos (EC, 2015).

Em 2016, a UICN também definiu o termo no *World Conservation Congress* como “ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, enquanto simultaneamente proporcionam o bem-estar humano e benefícios da biodiversidade.” (UICN, 2016). A Resolução 69, que apresentou a definição, propôs um conceito guarda-chuva, de modo a indicar categorias específicas para agrupar distintas abordagens ecossistêmicas (Cohen-Shacham *et al.*, 2016).

A partir de 2017, o termo passou a ser mais amplamente utilizado no contexto de soluções para desafios relacionados à gestão dos recursos hídricos. Neste mesmo ano, o Banco Mundial lança o Programa de Soluções Baseadas na Natureza, buscando fomentar o conceito em projetos de manejo de águas e gestão de riscos de desastres. No ano seguinte, foi publicado o “Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: SbN para gestão da água”, buscando atingir a segurança hídrica

social e contribuir para aspectos-chave do desenvolvimento sustentável (Marques *et al.*, 2021). Ainda em 2018, ocorreu um evento reunindo especialistas em SbN em Brasília: Diálogos Setoriais Brasil – União Europeia. Assim, em 2019, é lançado um estudo focado em conceituar e apresentar casos no Brasil e na Europa, além de discutir estratégias de implementação para a adoção do termo no Brasil (Herzog; Rozado, 2020).

Em 2020, a União Europeia lançou a Estratégia de Biodiversidade para 2030, na qual o termo SbN é mencionado onze vezes, nesse caso, destacando-o como fundamental para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a integração dessas soluções no planejamento urbano. Ainda nesse ano, diante da necessidade de estabelecer diretrizes claras para orientar a concepção, implementação e avaliação das SbN, a UICN publicou o Padrão Global de SbN, composto por 8 princípios e 28 indicadores (UICN, 2020).

Em 2021, a EC lança o Novo Programa – Quadro Horizonte Europa (2021-2027) de apoio à pesquisa e inovação, trazendo um orçamento superior a 95 bilhões de euros, incluindo as SbN. Ainda neste ano, a UICN anuncia um programa de certificação profissional para especialistas do Padrão Global de SbN (Marques *et al.*, 2021). No ano seguinte, na Quinta Assembleia das Nações Unidas para o Meio Ambiente – UNEA-5, os governos concordaram com uma definição global de SbN, destacando a eficácia para enfrentar desafios socioambientais dentro dos ODS. Para eles, as SbN são

Ações para proteger, conservar, restaurar, usar de forma sustentável e gerir ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos naturais ou modificados, que abordem os desafios sociais, económicos e ambientais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente bem-estar humano, serviços ecossistêmicos e resiliência e benefícios para a biodiversidade (PNUMA, 2022).

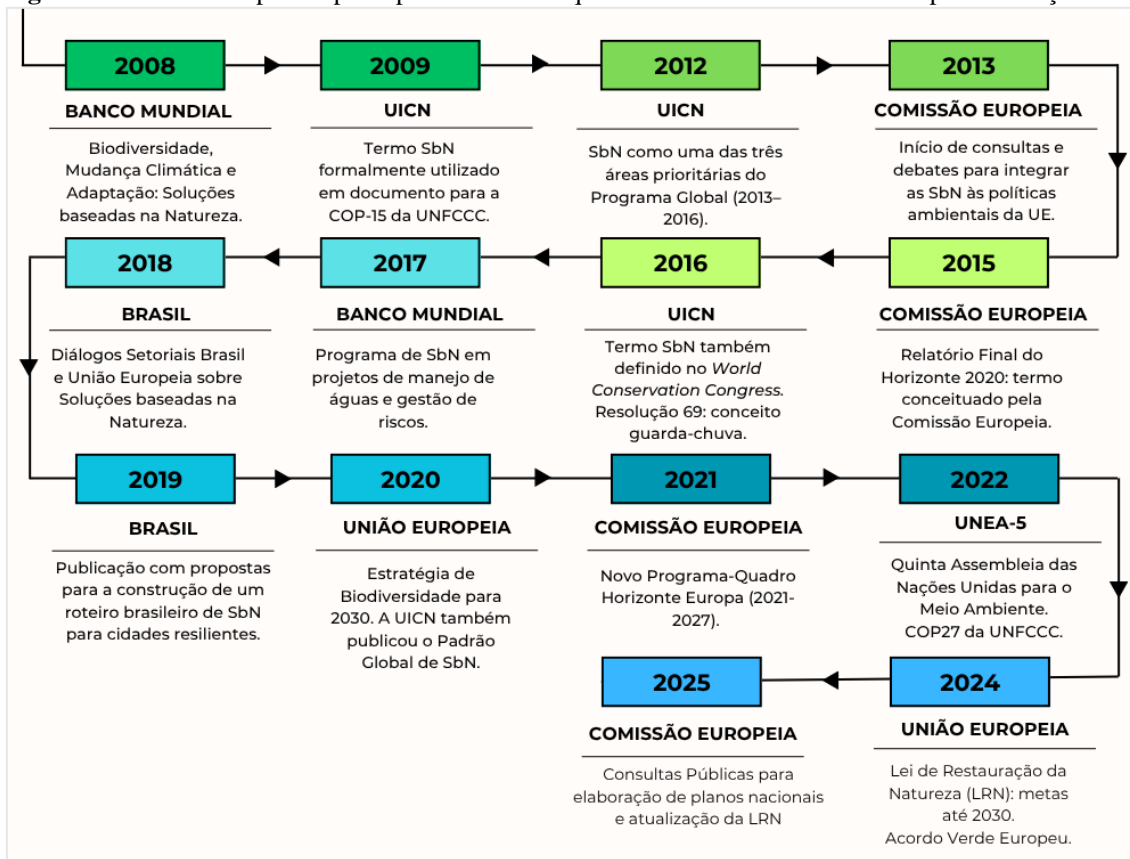
Ainda em 2022, na COP27 da UNFCCC (Conferência das Partes em Sharm el-Sheikh), as SbN emergiram por seu potencial para enfrentar as mudanças climáticas e foram incluídas no Plano de Implementação de Sharm el-Sheikh (UNFCCC, 2022). Em 2024, o Regulamento 2024/1991 do Parlamento Europeu, conhecido como Lei de Restauração da Natureza, estabelece metas legais para restaurar pelo menos 20% das áreas terrestres e marítimas até 2030, com etapas progressivas até 2050. O documento reúne tipos de SbN como ferramentas essenciais para alcançar esses objetivos climáticos e de biodiversidade dentro do Acordo Verde Europeu (UNIÃO EUROPEIA, 2024).

Em janeiro de 2025, a Comissão Europeia lançou uma consulta pública referente ao formato uniforme para os planos nacionais de restauração da natureza, o que reforça a integração das SbN como abordagem estratégica na concepção, monitoramento e

planejamento de metas ambientais na União Europeia (UE). Essa consulta permite que o público em geral contribua para a discussão da atualização da Lei de Restauração da Natureza. A Figura 7 resume a linha do tempo descrita acima.

Diante da consolidação do conceito de SbN como estratégia para enfrentar desafios ambientais e sociais, cresce o interesse entre os especialistas e tomadores de decisão por sua aplicação prática. A reintegração de elementos naturais no ambiente urbano por meio de SbN representa uma abordagem inovadora e eficaz para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e fomentar a justiça social (Horn *et al.*, 2024). Além de seu potencial sistêmico na mitigação desses efeitos, as SbN também contribuem significativamente para o cumprimento de compromissos globais de desenvolvimento sustentável, como o Acordo de Paris e a Agenda 2030.

Figura 7. Linha do tempo dos principais marcos em que o termo SbN foi mencionado por instituições.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Ao adotarem princípios ecossistêmicos como fundamento de seus projetos, as SbN inspiram-se nos processos naturais com o objetivo de restaurar e regenerar fluxos ecológicos, promovendo melhorias no espaço urbano em diversas escalas, desde edificações ou lotes, passando por bairros e distritos, até cidades e regiões metropolitanas (Herzog; Rozado, 2020). Elas abrem caminho para o desenvolvimento de novas

abordagens, capazes de promover novos cenários de crescimento econômico e social por meio da reintegração da natureza nas cidades, em diferentes escalas. Ao mesmo tempo que ajudam a proteger as áreas verdes que ainda existem, garantem benefícios como melhora da qualidade do ar, conforto térmico e bem-estar da população. A Figura 8 aborda alguns exemplos no âmbito das SbN em diferentes escalas de domínio.

Figura 8. Ações em diferentes escalas no domínio das SbN.



Fonte: Herzog e Rozado, 2020.

Embora as SbN apresentem múltiplos benefícios ambientais e sociais, a literatura também aponta algumas limitações relacionadas ao desempenho variável, que vai depender de fatores como compactação de solo, manutenção, clima e escala de implantação (Eckart *et al.*, 2017). Elas também são eficazes para eventos frequentes e de baixa a média intensidade, mas podem ser insuficientes isoladamente para chuvas associadas a altos períodos de retorno (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, 2013). Além disso, a depender do contexto socioespacial, a implementação de SBN pode contribuir para a valorização imobiliária das áreas beneficiadas e, conseqüentemente, para o deslocamento de populações vulneráveis. Conforme discutem Anguelovski *et al.* (2018), tais intervenções podem desencadear processos de gentrificação verde, reforçando dinâmicas de exclusão socioespacial quando não articuladas a políticas urbanas inclusivas.

03

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Com o objetivo de mapear o estado da arte das pesquisas sobre os principais modelos de gestão sustentável das águas pluviais urbanas e destacar como as SbN vêm sendo aplicadas mundialmente para reduzir possíveis impactos na drenagem urbana, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, utilizando a metodologia Proknow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*).

3. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA: O MÉTODO PROKNOW-C

Essa abordagem caracteriza-se como um processo sistemático de construção do conhecimento científico, identificando as publicações, autores, palavras-chave e periódicos mais relevantes relacionados a um determinado tema. O método PROKNOW-C é amplamente empregado na literatura (Maciel *et al.*, 2021; Batista *et al.*, 2025); entretanto, ainda se observa uma lacuna de estudos que sistematizem o uso das SbN na mitigação de alagamentos. Nesse sentido, questiona-se: de que forma as SbN estão sendo aplicadas para reduzir tais impactos? Quais são as pesquisas mais relevantes, no contexto nacional e internacional, que têm discutido e analisado essa temática?

A justificativa para a adoção deste método, proposto por Ensslin *et al.* (2010), está em sua capacidade de evidenciar a viabilidade de uma metodologia consolidada, desenvolvida por pesquisadores brasileiros da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme destacado por Reina *et al.*, 2014. O Proknow-C possibilita a organização de uma pesquisa bibliográfica, identificando de forma estruturada e eficaz um portfólio bibliográfico com os artigos científicos mais relevantes para o assunto em estudo (Ensslin *et al.*, 2010).

Dessa forma, ele abrange quatro etapas: (i) Seleção de um portfólio de artigos pertinentes ao tema; (ii) Análise bibliométrica do portfólio; (iii) Análise sistêmica; e (iv) Formulação da pergunta de pesquisa. Todavia, para este estudo, apenas as três primeiras etapas serão executadas, pois são essenciais para a criação do Portfólio Bibliográfico (PB) relacionado ao tema abordado.

3.1. SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

Essa fase tem como objetivo simplificar a compreensão da elaboração do PB. Com base no tema de pesquisa, foram definidos dois eixos temáticos e suas respectivas palavras-chave (PC) em inglês e português, para expandir o alcance das pesquisas. Além disso, foram escolhidas as bases de dados para as consultas:

Eixo 1: Soluções Baseadas na Natureza

PC do Eixo 1: Soluções Baseadas na Natureza/*Nature-Based Solution*; Planejamento Sustentável/*Sustainable Planning*; Infraestrutura verde/*Green Infrastructure*.

Eixo 2: Drenagem Urbana

PC do Eixo 2: Drenagem Urbana/*Urban Drainage*; Alagamento/*Flooding*; Gestão de Água Pluvial/*Rainwater Management*.

As PCs relacionadas aos eixos foram combinadas utilizando a expressão lógica *AND*. Foram realizadas dezoito combinações no total e, em seguida, consultadas nas bases de dados *Scopus* e Google Acadêmico, utilizando o *software* bibliotecário *Publish or Perish* para garantir uma busca abrangente e sistemática (Tabela 1). Adotou-se um intervalo de 25 anos, abrangendo o período de 2000 a 2025, para a pesquisa de estudos relevantes ao tema, focando em artigos publicados em periódicos científicos ou apresentados em conferências. Assim, foi possível compilar o Banco de Artigos Brutos (BAB). Destaca-se que essas consultas foram realizadas em abril de 2025.

Tabela 1. Resultados encontrados nas bases de dados.

Idioma	Combinações pesquisadas	Google Acadêmico	Scopus
Inglês	(Nature-Based Solution) AND (Urban Drainage)	810	226
	(Nature-Based Solution) AND (Flooding)	1150	669
	(Nature-Based Solution) AND (Rainwater Management)	1159	90
	(Sustainable Planning) AND (Urban Drainage)	999	689
	(Sustainable Planning) AND (Flooding)	150	790
	(Sustainable Planning) AND (Rainwater Management)	998	348
	(Green Infrastructure) AND (Urban Drainage)	11	0
	(Green Infrastructure) AND (Flooding)	21	0
Português (Brasil)	(Green Infrastructure) AND (Rainwater Management)	11	0
	(Soluções Baseadas na Natureza) AND (Drenagem Urbana)	100	0
	(Soluções Baseadas na Natureza) AND (Alagamento)	60	0
	Soluções Baseadas na Natureza) AND (Gestão de água pluvial)	125	0

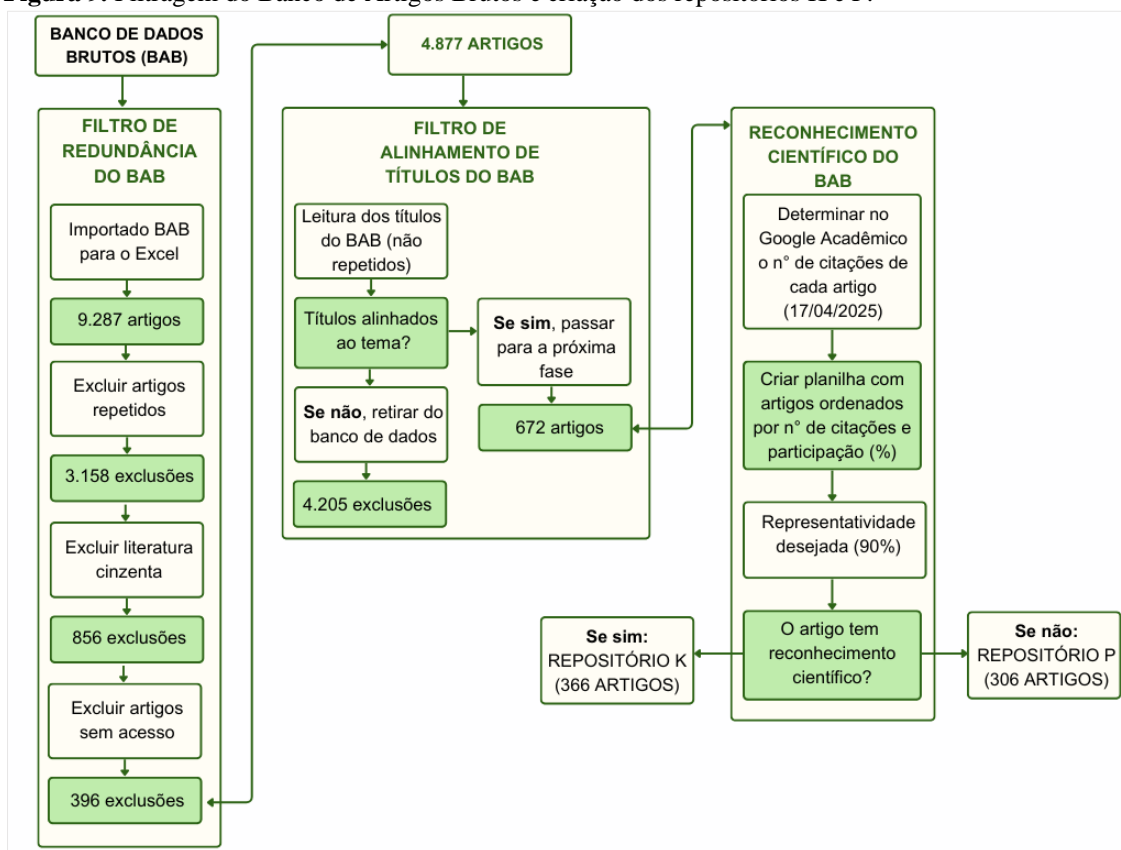
(Planejamento Sustentável) AND (Drenagem Urbana)	292	0
(Planejamento Sustentável) AND (Alagamento)	107	0
(Planejamento Sustentável) AND (Gestão de água pluvial)	100	0
(Infraestrutura Verde) AND (Drenagem Urbana)	187	0
(Infraestrutura Verde) AND (Alagamento)	70	0
(Infraestrutura Verde) AND (Gestão de água pluvial)	125	0
Total de artigos por base	6475	2812
Banco de Artigos Brutos	9287	

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Inicialmente formado por 9.287 artigos, o Banco de Artigos Brutos foi importado para o Excel, ferramenta utilizada neste contexto para gestão bibliográfica, a fim de realizar a primeira filtragem, ilustrada na Figura 9. Nessa fase, foram retirados os artigos duplicados, bem como as publicações cujo acesso se encontrava indisponível. Além disso, foram descartadas as publicações cinzentas (monografias, dissertações, teses e relatórios). Embora essa literatura pudesse oferecer informações interessantes sobre o tema, essas publicações foram excluídas para assegurar que apenas artigos com elevados padrões de qualidade fossem considerados na revisão, visando aprimorar as evidências alcançadas (Comissão Europeia, 2015).

Em seguida, foi realizada uma segunda filtragem, na qual foram analisados os títulos dos artigos que haviam passado pela primeira triagem, a fim de verificar sua relevância em relação ao tema. Os artigos mais relevantes foram submetidos a uma avaliação mais detalhada, considerando seu reconhecimento científico, mensurado pelo número de citações recebidas. Portanto, aqueles altamente reconhecidos foram alocados ao Repositório K, enquanto os que não atingiram esse critério foram direcionados ao Repositório P.

Figura 9. Filtragem do Banco de Artigos Brutos e criação dos repositórios K e P.



Fonte: Elaborado pela autora (adaptado de Souza *et al.*, 2024).

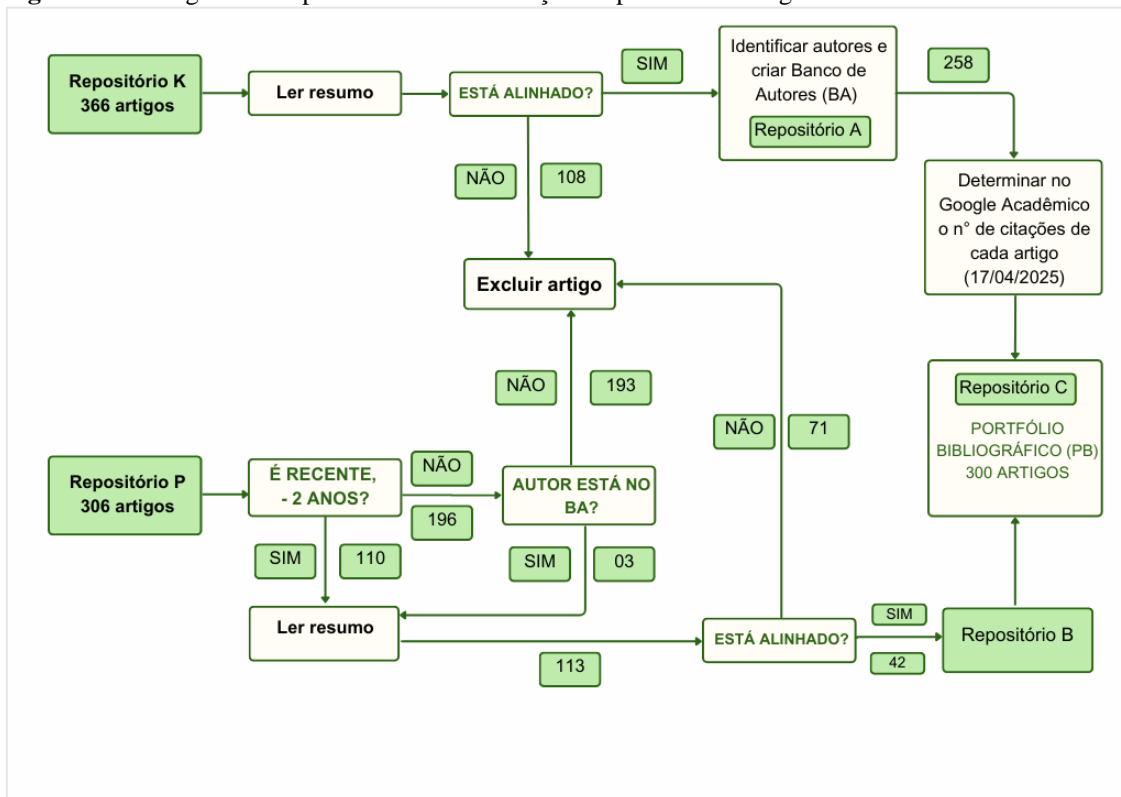
Na etapa de construção dos repositórios K e P, 672 artigos foram filtrados quanto ao alinhamento de títulos do BAB. Esses artigos foram avaliados em relação ao número de citações registradas na data de 17/04/2025 no Google Acadêmico, sendo classificados em ordem decrescente (Figura 10). O repositório K foi formado pelos artigos mais citados, que juntos representam 80% do total de citações. Esse critério de corte foi estabelecido com base na proporção de 80% do total de citações em relação ao total de artigos, de acordo com o Princípio de Pareto (Batista *et al.*, 2025). Por sua vez, o repositório P foi constituído pelos 306 artigos de relevância acadêmica ainda não comprovada (214 títulos com até dez citações e 92 artigos não possuíam citações até a data da consulta).

Na sequência, os resumos do repositório K foram lidos, resultando na retirada de 108 artigos que não estavam alinhados ao tema, restando 258 artigos que formaram o repositório A. Já o repositório P passou por um duplo filtro: verificou-se o ano de publicação dos artigos, selecionando os mais recentes – a partir de 2023 – para a leitura dos resumos. Assim, foram lidos 113 resumos, e também se verificou se os autores desses artigos haviam sido citados no repositório A, o que resultou na formação do Banco de

Autores (BA). Como isso, 71 artigos foram retirados e restaram 42 artigos, constituindo o repositório B.

Ao final desse processo, os artigos dos repositórios A e B formaram o repositório C e PB deste estudo, por apresentarem títulos e resumos academicamente relevantes ao tema. O método sugere que o PB tenha entre 20 e 40 publicações.

Figura 10. Filtragem dos repositórios K e P e criação do portfólio bibliográfico.



Fonte: Elaborado pela autora (adaptado de Souza *et al.*, 2024).

A Tabela 2 apresenta as 40 publicações mais relevantes do PB. Foram selecionados 20 artigos que abordam drenagem urbana sustentável e 20 que se concentram especificamente nas SbN voltadas para a gestão de águas pluviais urbanas. Essa escolha visa facilitar a distinção dos termos utilizados por diferentes autores. Ressalta-se que, embora esses trabalhos tenham sido selecionados para a análise sistêmica do PB, toda a amostragem foi considerada para a análise bibliométrica.

Tabela 2. Principais artigos do portfólio bibliográfico.

N° de citação	Título do artigo	Autores e Ano
1636	Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges	Seddon <i>et al.</i> , 2020
1490	Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review	Berndtsson, 2010
1085	The superior effect of nature-based solutions in land management for enhancing ecosystem services	Keesstra <i>et al.</i> , 2018

1060	Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health—A systematic review of reviews	Van den Bosch e Sang, 2017
949	A review of models for low impact urban stormwater drainage	Elliott e Trowsdale, 2007
878	Getting the message right on nature-based solutions to climate change	Seddon <i>et al.</i> , 2021
853	Key issues for sustainable urban stormwater management	Barbosa <i>et al.</i> , 2012
801	Review of permeable pavement systems	Scholz e Grabowiecki, 2007
679	The role of trees in urban stormwater management	Berland <i>et al.</i> , 2017
638	Sustainable urban agriculture in developing countries. A review	De Bon <i>et al.</i> , 2010
628	Harnessing nature to help people adapt to climate change	Jones <i>et al.</i> , 2012
511	Implementation of a specific urban water management-Sponge City	Nguyen <i>et al.</i> , 2019
485	Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors?	Escobedo <i>et al.</i> , 2019
475	Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and “sponge cities” strategy	Jiang <i>et al.</i> , 2018
431	A critical review of integrated urban water modelling—Urban drainage and beyond	Bach <i>et al.</i> , 2014
429	Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China	Xia <i>et al.</i> , 2017
422	“Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context	Chan, 2018
403	Sponge city construction in China: A survey of the challenges and opportunities	Li <i>et al.</i> , 2017
369	Review and research needs of bioretention used for the treatment of urban stormwater	Liu <i>et al.</i> , 2014
366	Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review	Arnbjerg-Nielsen <i>et al.</i> , 2013
341	A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts	Zhou, 2014
336	The role of urban agriculture as a nature-based solution: A review for developing a systemic assessment framework	Artmann e Sartison, 2018
307	A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective	Li e Yeung, 2014
306	Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives	Liberalesso <i>et al.</i> , 2020
285	Harnessing the potential of nature-based solutions for mitigating and adapting to climate change	Seddon, 2022
267	Stakeholders' engagement on nature-based solutions: A systematic literature review	Ferreira <i>et al.</i> , 2020
254	Cascades of green: A review of ecosystem-based adaptation in urban areas	Brink, 2016
230	Stormwater management and ecosystem services: a review	Prudencio, 2018
225	Drivers of future urban flood risk	O'Donnell e Thorne, 2020
185	Challenges to implementing urban sustainable stormwater management from a governance perspective: A literature review	Qiao <i>et al.</i> , 2018
168	Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation	Alves, 2020
154	Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: Green building materials, systems and sites	Pearlmutter <i>et al.</i> , 2020
153	Nature-based solutions for flood-drought risk mitigation in vulnerable urbanizing parts of East-Africa	Kalantari <i>et al.</i> , 2018
153	Reviewing financing barriers and strategies for urban nature-based solutions	Toxopeus e Polzin, 2021

142	Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: Modelling methods, advantages and limitations	Kumar, 2021
138	Integrating green infrastructure, ecosystem services and nature-based solutions for urban sustainability: A literature review	Fang <i>et al.</i> , 2023
134	Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives	Mihalakakou <i>et al.</i> , 2023
130	SuDS & sponge cities: a comparative analysis of the implementation of pluvial flood management in the UK and China	Lashford <i>et al.</i> , 2019
115	Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management	Huang, 2020
81	Effectiveness of small- and large-scale Nature-Based Solutions for flood mitigation: The case of Ayutthaya, Thailand	Vojinovic, 2021

3.2. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

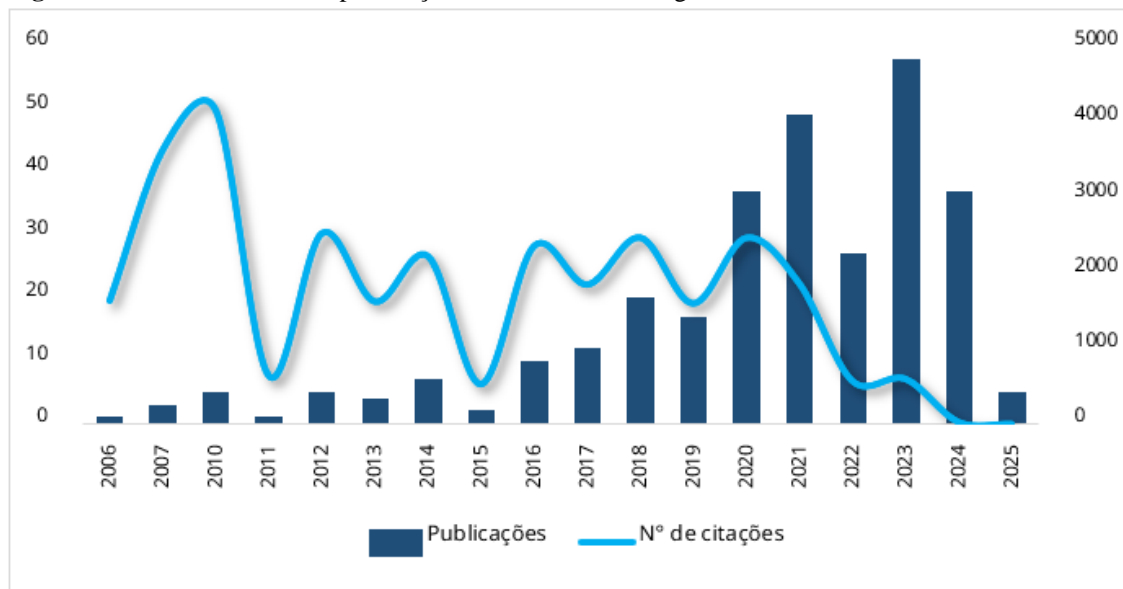
De acordo com Ensslin *et al.* (2013), a análise bibliométrica refere-se à contabilização de características ou variáveis nas publicações do PB. Para este estudo, foram analisadas as variáveis de reconhecimento científico dos artigos, autores, periódicos, palavras-chave mais citadas e revisões bibliográficas.

3.2.1. Reconhecimento dos artigos

O PB foi avaliado em relação ao ano de publicação ao longo de um intervalo de 25 anos, conforme ilustrado na Figura 11. Nota-se que o período entre 2020 e 2024 concentrou o maior volume de publicações, com aproximadamente 200 estudos, superando os anos anteriores e evidenciando a consolidação do tema como uma área de pesquisa em crescimento a partir de 2020. Esse aumento pode ser atribuído à intensificação e à maior recorrência de eventos climáticos extremos, que têm ampliado a demanda por soluções mais eficientes, bem como por investigações alinhadas a acordos internacionais, políticas públicas e agendas globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o Acordo de Paris. Destaca-se que os dados referentes a 2025 abrangem apenas os primeiros meses do ano, o que explica o número reduzido de publicações.

Verifica-se ainda a relação entre o ano de publicação e o número de citações dos artigos, com destaque para o ano de 2010, que apresentou o maior volume de citações em todo o período analisado, totalizando cerca de 4.100. Entre 2012 e 2020, observa-se um padrão oscilatório, com alternância entre aumentos e reduções anuais, variando aproximadamente entre 1.000 e 2.000 citações. A partir de 2022, identifica-se uma tendência de diminuição desse número, possivelmente relacionada ao tempo necessário para que estudos mais recentes sejam assimilados e referenciados pela literatura científica.

Figura 11. Perfil histórico das publicações do Portfólio Bibliográfico.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Para Seddon *et al.* (2021), essa temática tem ganhado destaque em razão dos recentes relatórios globais de síntese, que, em conjunto, traçam um cenário preocupante sobre o estado atual do clima e da biosfera. Esse contexto evidencia a necessidade urgente de estabilizar o clima e conter a perda de biodiversidade, contribuindo, de forma simultânea, para a mitigação da pobreza e das desigualdades globais. Nesse sentido, as SbN têm se fortalecido no discurso político e empresarial internacional, uma vez que apresentam elevado potencial para enfrentar tanto as causas quanto as consequências das mudanças climáticas.

Todavia, ainda persistem barreiras que dificultam sua ampla integração, como as relacionadas aos desafios de mensuração e previsão de sua relação custo-benefício em comparação com outras alternativas. A incorporação das SbN como estratégias para o enfrentamento da crise climática demanda uma nova abordagem do pensamento econômico, uma vez que seus benefícios só poderão ser plenamente alcançados se implementadas a partir de uma perspectiva sistêmica, capaz de considerar os múltiplos serviços ecossistêmicos envolvidos (Seddon *et al.*, 2020).

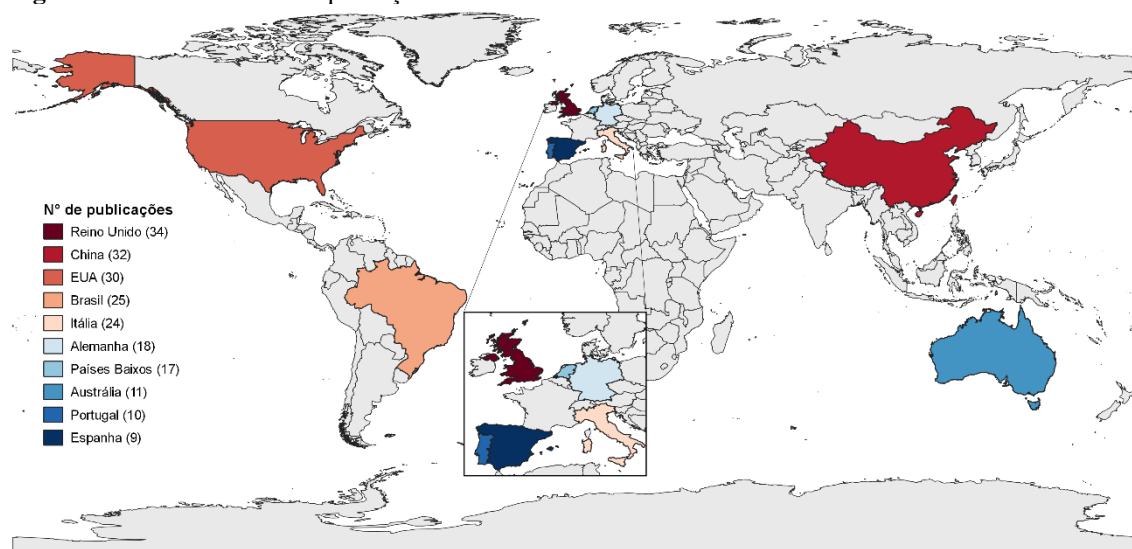
3.2.2. Reconhecimento dos autores

Nas publicações do PB, foram identificados 666 autores distintos, dos quais 97% contribuíram com apenas um artigo. Dentre eles, destaca-se C. Li, que publicou quatro trabalhos, focando em infraestruturas verdes para mitigar o risco de inundações urbanas, no período entre 2014 e 2022. Por outro lado, N. Seddon se destacou como a autora com

o maior número de citações, totalizando cerca de 2800, por meio de seus três trabalhos, que discutem a utilização das SbN para se adaptar às mudanças climáticas globais.

Nesse contexto, foi realizada também uma análise dos países que mais se destacaram nas pesquisas sobre o tema (Figura 12). China e Reino Unido apresentaram o maior volume de publicações. No continente americano, os Estados Unidos se sobressaem, com 30 estudos publicados, seguidos pelo Brasil, que se destaca como o único país da América Latina entre aqueles com maior número de trabalhos. Ressalta-se que esses dados se referem ao país onde a pesquisa foi desenvolvida, geralmente vinculado à instituição universitária, e não necessariamente à nacionalidade dos autores.

Figura 12. Países com maior produção científica sobre o tema.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A União Europeia tem se posicionado na linha de frente dos investimentos em uma economia verde e busca liderar a inovação baseada na natureza (Herzog; Rozado, 2020). Apenas no período de 2016 a 2017, foram investidos cerca de 120 milhões de euros em iniciativas voltadas à promoção de sociedades mais sustentáveis e resilientes, tanto em áreas urbanas quanto rurais.

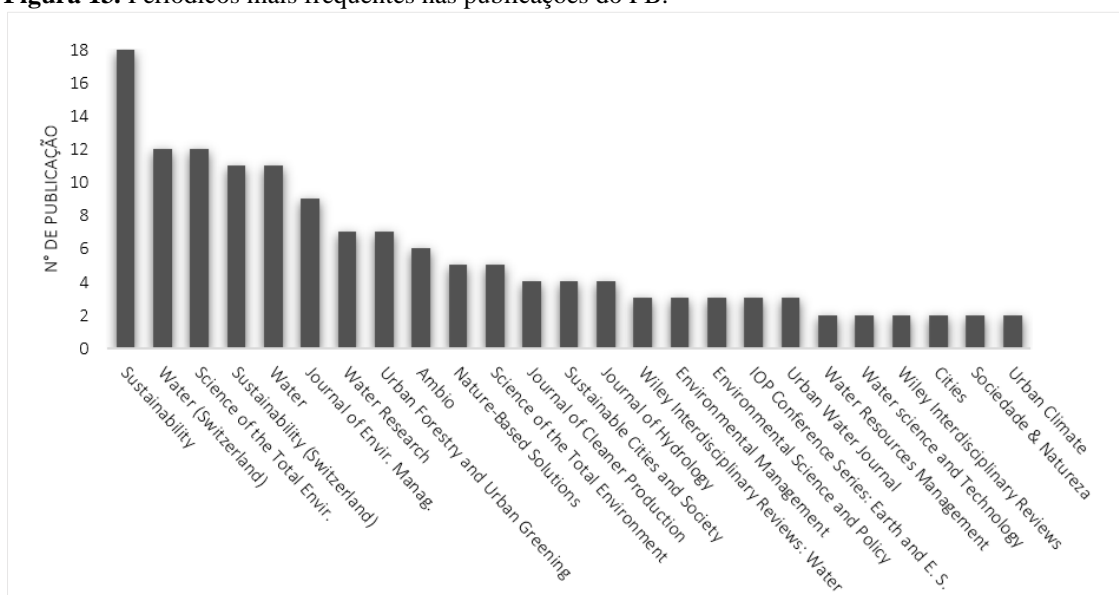
No entanto, a adoção de SbN em larga escala como estratégia de infraestrutura urbana ainda não se consolidou em outras regiões do planeta. Entre os principais desafios destaca-se a limitação de financiamento, uma vez que as SbN apresentam benefícios que ainda são pouco mensurados e reconhecidos, além de incorporarem um caráter inovador que pode ampliar a percepção de risco por parte de financiadores e investidores (Horn *et al.*, 2024).

Nesse cenário, torna-se fundamental ampliar a realização de estudos e aplicações de SbN em diferentes regiões e contextos socioambientais, de modo a expandir a base de conhecimento, reduzir incertezas, fortalecer evidências sobre seus benefícios e viabilizar sua adoção em maior escala

3.2.3. Relevância dos periódicos e Palavras-Chave

A Figura 13 apresenta os 25 periódicos mais frequentes nas publicações do PB deste estudo, com destaque para a revista *Sustainability*, que contabiliza um total de 18 publicações. Entre esses periódicos, destaca-se a revista brasileira *Sociedade & Natureza*, que faz parte da base de dados Scielo Brasil e é publicada pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, em Minas Gerais.

Figura 13. Periódicos mais frequentes nas publicações do PB.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Nesse contexto, também foram analisadas as palavras-chave dos periódicos. A Figura 14 exibe as 26 palavras-chave mais relevantes, ou seja, aquelas que aparecem com maior frequência nas publicações. As mais recorrentes incluem *Nature-based Solutions* (Soluções baseadas na Natureza), *Green Infrastructure* (Infraestrutura Verde – IV) e *Ecosystem Services* (Serviços Ecossistêmicos – SEU). É importante ressaltar que existe uma distinção entre esses três termos. Segundo Fang *et al.* (2023), os SEU são benefícios que os seres humanos obtêm a partir da natureza urbana, enquanto as IV consistem em redes interconectadas de espaços verdes. Por sua vez, as SbN referem-se a ações voltadas para proteger, gerenciar e restaurar ecossistemas, abordando desafios sociais.

Figura 14. Mapeamento das palavras-chave mais significativas dos artigos que integram o PB.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O Quadro 3 ainda evidencia a correspondência entre as PCs utilizadas nos eixos de busca para a construção do PB e as 26 palavras mais frequentes identificadas no próprio PB. Verificou-se que dos 6 termos aplicados nas buscas, 5 coincidem com os termos mais relevantes do PB, com exceção apenas de *flooding* (alagamento), o que reforça a aderência dos eixos e das combinações de PC aplicadas nas bases de dados selecionadas.

Quadro 3. Relação entre as palavras-chave mais relevantes do PB e os termos utilizados nas buscas iniciais.

PC mais relevante do PB	Termos usados no Proknow-C?	PC mais relevante do PB	Termos usados no Proknow-C?
<i>Nature-based Solutions</i>	Sim	<i>Biodiversity</i>	Não
<i>Green infrastructure</i>	Sim	<i>China</i>	Não
<i>Ecosystem services</i>	Não	<i>Review</i>	Não
<i>Urban drainage</i>	Sim	<i>Urban water management</i>	Não
<i>Sponge city</i>	Não	<i>Evapotranspiration</i>	Não
<i>Low impact development</i>	Não	<i>Indicators</i>	Não
<i>Barriers</i>	Não	<i>Built environment</i>	Não
<i>Green roofs</i>	Não	<i>Climate change</i>	Não
<i>Climate change adaptation</i>	Não	<i>Sustainable planning</i>	Sim
<i>Rainwater</i>	Não	<i>Enablers</i>	Não
<i>Rainwater management</i>	Sim	<i>Stormwater runoff</i>	Não
<i>Green walls</i>	Não	<i>Systematic review</i>	Não
<i>Decision support</i>	Não	<i>Sustainable development</i>	Não

3.2.4. Revisões Bibliográficas

A partir da análise dos títulos dos 300 artigos que compõem o portfólio bibliográfico (PB), foram identificados 94 estudos classificados como revisões de literatura. Esses trabalhos abrangem diferentes temáticas, como o desempenho e a efetividade das Soluções baseadas na Natureza (SbN) na gestão de águas pluviais e na

mitigação de inundações urbanas, incluindo sua integração com infraestruturas convencionais em abordagens híbridas. Verificou-se também um número expressivo de revisões dedicadas ao conceito de Cidades-Esponja, abordando sua aplicação em distintas regiões, com destaque para a China, além da discussão sobre a integração entre os SUDS e as SbN.

Além disso, diversos estudos trataram de aspectos relacionados à governança, políticas públicas e mecanismos de incentivo à adoção das SbN, contemplando análises de instrumentos econômicos, desafios e oportunidades para sua implementação, bem como a avaliação das percepções e preferências das comunidades envolvidas.

Cabe destacar que, dentre as revisões identificadas, apenas seis foram publicadas em língua portuguesa e vinculadas a periódicos ou instituições brasileiras, o que evidencia a limitação de estudos nacionais e a necessidade de aprofundamento do tema no contexto brasileiro. Diante disso, foram selecionados 20 artigos de revisão para leitura integral, juntamente com outros 20 estudos que serão submetidos a uma análise sistêmica posterior. Na seção seguinte, são apresentadas as principais publicações do PB, com a discussão dos resultados dessas pesquisas e a síntese das contribuições dos autores sobre o tema.

3.3. ANÁLISE SISTÊMICA DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

Os quarenta trabalhos com maior relevância científica foram lidos integralmente. De modo geral, tratam do uso das SbN para o enfrentamento de problemas urbanos, principalmente no aspecto da gestão sustentável de águas pluviais. Observou-se que a questão central comum entre os autores e as publicações é a necessidade urgente de adaptar os ambientes urbanos para a redução dos impactos climáticos, como chuvas e secas intensas. Seddon *et al.* (2020) afirmam que os três desafios centrais da Era Antropocêntrica são: reduzir e se adaptar às mudanças climáticas; proteger a biodiversidade; e garantir o bem-estar humano. Uma forma essencial de lidar com esses problemas seria abordá-los de forma interligada.

Nesse contexto, as SbN surgem como uma estratégia integrada para enfrentar esses desafios sociais, promovendo a interação harmoniosa com o meio ambiente. As SbN possuem a capacidade de abordar os problemas relacionados à mitigação e adaptação às mudanças climáticas de maneira economicamente viável, ao mesmo tempo em que oferecem uma gama de benefícios adicionais, tanto para a sociedade quanto para os ecossistemas (Seddon *et al.*, 2020).

Alguns autores também abordaram os extremos de precipitação que afetam diretamente os sistemas de drenagem urbana. Ao analisar os riscos futuros de inundações urbanas no Reino Unido, O'Donnell e Thorne (2020) constataram que tanto os riscos de inundação locais quanto os nacionais aumentaram desde 2008, com expectativas de crescimento contínuo no futuro em decorrência das mudanças climáticas, da urbanização, da diminuição dos espaços verdes urbanos e da deterioração da infraestrutura de gestão de águas urbanas. Os autores enfatizam que a precipitação é um dos principais fatores que contribuem para o aumento desses riscos, tendo se intensificado desde 2008; no entanto, não é o único elemento em questão. A elevação relativa do nível do mar e o aumento da frequência e intensidade das tempestades representam fatores críticos para as cidades costeiras, enquanto as capacidades limitadas dos sistemas de esgoto permanecem como um aspecto significativo que agrava os impactos negativos no ambiente urbano.

O estudo foi realizado em uma localidade específica, todavia, é uma realidade que se expande mundialmente. Até 2050, estima-se que 68% da população mundial viverá em áreas urbanas, o que aumentará o risco de inundações para pessoas, propriedades e infraestruturas críticas, como transporte, comunicações e energia, além de intensificar a pressão sobre sistemas de drenagem e gestão de águas já sobrecarregados (ONU, 2018). Ainda, observa-se que, apesar dos avanços significativos, ainda existem muitas limitações na compreensão de como descrever a precipitação em mudanças climáticas para projetar e operar infraestrutura de drenagem urbana. Arnbjerg-Nielsen *et al.* (2013) afirmam que essa limitação decorre da dificuldade em quantificar os impactos das mudanças climáticas, bem como da falta de entendimento sobre como o setor de drenagem urbana deve se adaptar aos desafios impostos por grandes variações nos extremos de precipitação.

Além do desafio de relacionar os métodos de modelagem de sistemas hídricos urbanos e o desempenho real dessas ferramentas, existem ainda as barreiras das políticas públicas, da governança e da participação social para a implementação da gestão sustentável de águas pluviais urbanas. Segundo Qiao *et al.* (2018), essa alternativa tem se restringido a zonas de demonstração, com um progresso lento atribuído à liderança e às responsabilidades pouco claras, dados de custo insuficientes sobre soluções sustentáveis, escassez de espaço e conhecimento, diretrizes inconsistentes e baixa participação das partes interessadas. Os autores propõem que pesquisadores sejam incluídos como corretores de conhecimento, contribuindo para o fortalecimento do capital social entre as partes interessadas locais, com a reutilização de terrenos vagos, a criação de diretrizes

uniformes e o aumento dos incentivos de mercado para o engajamento das partes interessadas.

Os artigos apresentaram diversos exemplos de como aplicar SbN na gestão de águas pluviais, com ênfase em infraestruturas verde-azuis e/ou infraestrutura verde, especialmente os telhados e paredes verdes (Alves *et al.*, 2020; Berland *et al.*, 2017; Escobedo *et al.*, 2019). Vários autores discutiram políticas de incentivo à implementação de telhados e paredes verdes, com a maior concentração dessas iniciativas observada na Europa e na América do Norte. Alguns incentivos identificados incluíram redução de impostos, isenção de alvarás de construção e certificação de sustentabilidade. No entanto, poucos estudos foram realizados sobre o tema na Ásia e na América do Sul. Nas cidades sul-americanas, a redução do IPTU é a política de incentivo mais comum para a infraestrutura verde (Liberalesso *et al.*, 2020).

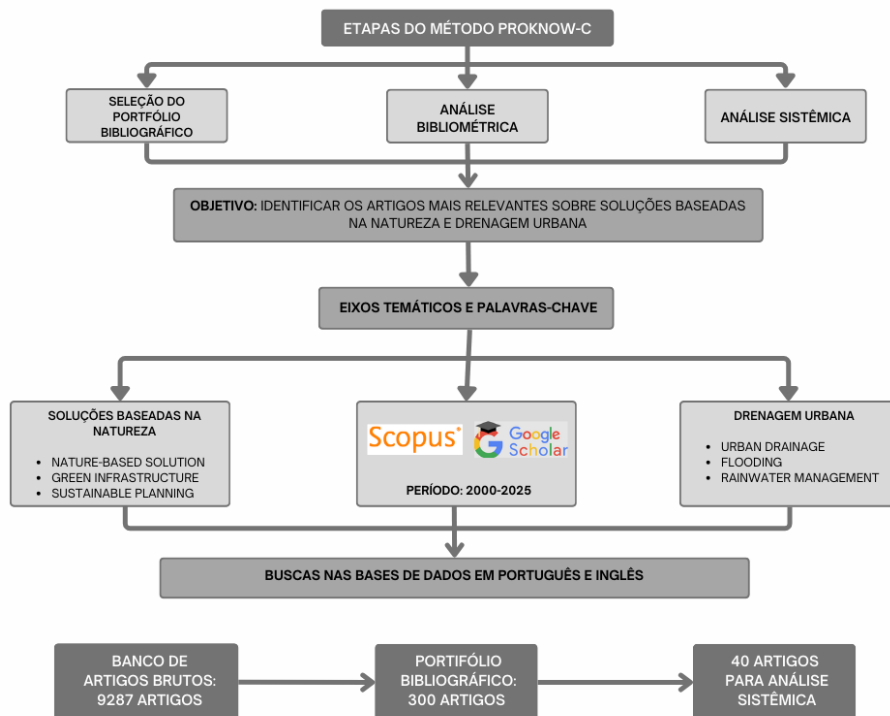
Outra estratégia amplamente discutida foi a Cidade-Esponja, que visa não apenas abordar as questões relacionadas às águas urbanas, mas também melhorar as condições ecológicas e mitigar os riscos climáticos (Chan *et al.*, 2018; Lashford *et al.*, 2019; Nguyen *et al.*, 2019). Embora seja um modelo bem fundamentado e pertinente, ele enfrenta diversos desafios de implementação, que vão desde a complexidade tecnológica até a capacidade limitada de governança. Os autores propõem abordagens para superar esses obstáculos, como a realização de projetos-piloto para promover o aprendizado e um planejamento adequado.

Outros métodos sugeridos incluem pavimentação permeável e agricultura urbana; no entanto, todos têm um objetivo comum: melhorar a gestão das águas pluviais. Seja na redução de alagamentos e inundações urbanas, na melhoria da qualidade da água ou no controle do escoamento, essas abordagens visam aumentar a resiliência urbana e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO SISTEMÁTICA

Esta revisão sistemática permitiu identificar e analisar as principais contribuições científicas sobre o uso dessas estratégias aplicadas à drenagem urbana, destacando seu potencial para mitigar os impactos de inundações urbanas em áreas urbanizadas. O diagrama apresentado na Figura 15 sintetiza as etapas dessa revisão, evidenciando o processo estruturado de construção do conhecimento científico adotado neste estudo.

Figura 15. Diagrama sobre a revisão sistemática da literatura.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Os resultados mostram que o tema tem sido bastante discutido mundialmente, provavelmente motivado pelos diversos eventos climáticos extremos. China e Reino Unido lideram com o maior número de publicações. Destaca-se também a urgente necessidade de estudos realizados nos países da América Latina, de modo a adaptá-los aos impactos das mudanças climáticas. Integrar elementos sustentáveis ao planejamento urbano promove não apenas a gestão eficiente das águas pluviais, mas também benefícios sociais, ecológicos e econômicos.

A análise bibliométrica demonstrou a consolidação das SbN como estratégia promissora para a resiliência urbana. No entanto, ainda existem barreiras relevantes à sua implementação, relacionadas à governança, ao financiamento, à escassez de políticas públicas específicas e à limitada participação social. Por meio do método Proknow-C, foi possível construir um portfólio alinhado ao objetivo da pesquisa, com trabalhos relevantes e reconhecidos na área.

Entende-se que as SbN representam uma abordagem inovadora e integrada, capaz de complementar ou substituir soluções tradicionais de drenagem. Para que seu potencial seja plenamente explorado, é essencial o fortalecimento de políticas públicas, o incentivo à pesquisa aplicada e o engajamento das comunidades locais no processo decisório, promovendo uma gestão urbana mais sustentável, adaptativa e socialmente justa.

04

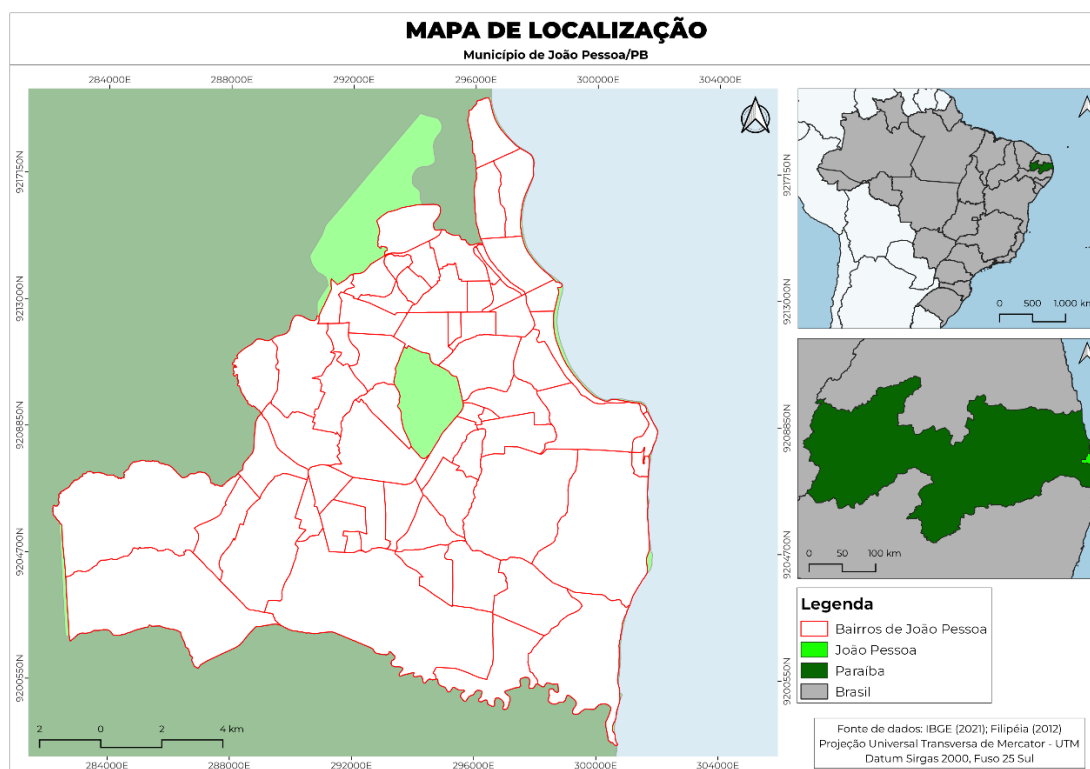
CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Neste capítulo, apresenta-se a caracterização do objeto de estudo empírico, na qual são descritos e delimitados os elementos que compõem o contexto da pesquisa, bem como o recorte de análise adotado. São detalhadas as principais características, abrangendo aspectos físicos, ambientais e sociais, de acordo com a natureza do estudo, de modo a possibilitar a compreensão do cenário em que o problema de pesquisa está inserido.

4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo adota como recorte o município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba (Figura 16). Localizada no extremo oriental do estado, a cidade integra o bioma Mata Atlântica, na mesorregião da Zona da Mata Paraibana, entre as coordenadas geográficas 07° 07' 08" S e 34° 52' 53" O. O município é formado por 64 bairros e limita-se com Cabedelo, ao norte; Conde, ao sul; Bayeux e Santa Rita, a oeste; e com o Oceano Atlântico, a leste.

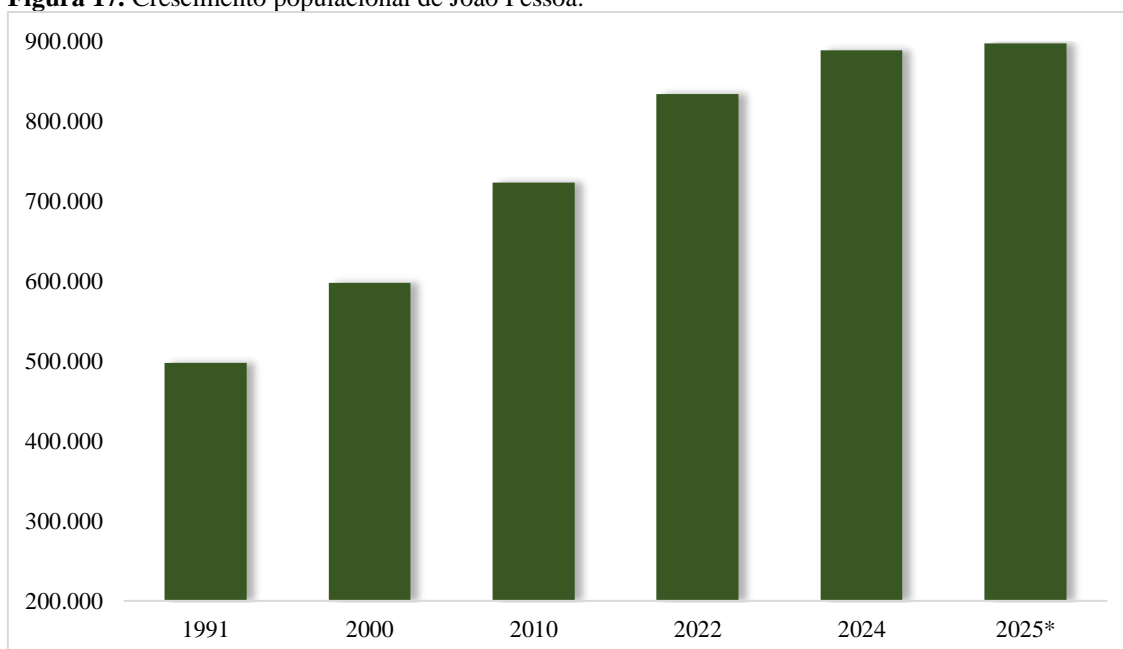
Figura 16. Localização do município de João Pessoa.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

João Pessoa vem apresentando um expressivo crescimento populacional desde os anos 2000. Naquele ano, a cidade contava com cerca de 598 mil habitantes, enquanto a estimativa para 2025 indicava que a população ultrapassaria 897 mil (Figura 17). De acordo com o último Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a população atual é de cerca de 833 mil habitantes. Trata-se do município mais populoso da Paraíba, com área territorial de 210,044 km² e densidade demográfica de 3.970 hab/km² em 2022.

Figura 17. Crescimento populacional de João Pessoa.



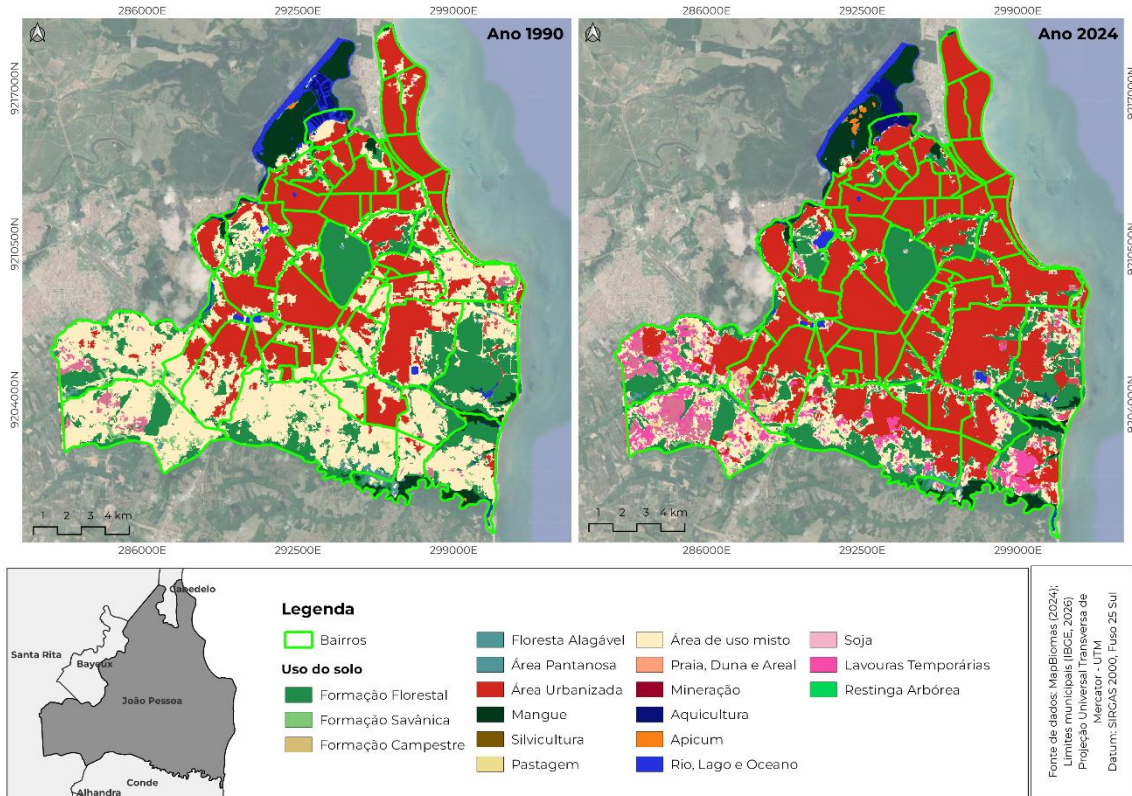
Fonte: IBGE (projeção com base nos censos e nas estimativas dos respectivos anos).

Para Maior e Cândido (2014), a cidade apresenta traços típicos de núcleos formados no período colonial. As áreas centrais e litorâneas concentram a população de classe média alta e intermediária, enquanto as áreas mais periféricas e descentralizadas abrigam, em maior proporção, grupos de classe média baixa e populações em situação de vulnerabilidade. Assim, o espaço urbano estrutura-se em dois polos distintos: a zona leste, historicamente mais favorecida, e a zona sudeste, menos privilegiada.

Em razão do expressivo crescimento demográfico observado nas últimas três décadas, João Pessoa experimentou uma significativa expansão de sua malha urbana, acompanhada de intensas transformações no uso e na ocupação do solo (Figura 18). Esse processo dificultou o planejamento urbano e contribuiu para a ocupação desordenada de áreas ambientalmente sensíveis ou sujeitas a riscos, como matas ciliares e morros. Como consequência, emergiram diversos desafios ambientais, incluindo a impermeabilização e

a compactação do solo, bem como alterações no sistema natural de escoamento das águas pluviais (Silva *et al.*, 2024).

Figura 18. Uso do solo no município de João Pessoa, Paraíba, no ano de 2024.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

4.1. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA

Sendo uma das cidades mais antigas do Brasil, João Pessoa foi fundada em 1585. Seu surgimento ocorreu às margens do rio Sanhauá, expandindo-se posteriormente em direção ao mar. Até o final do século XIX, a cidade apresentava mais características rurais que urbanas, e somente a partir do século XX seu espaço urbano passou a ser redefinido e ampliado (Figura 19) (Silva, 1997). A partir da década de 1970, a malha urbana iniciou um processo de expansão, impulsionada pela abertura das avenidas Epitácio Pessoa, Dom Pedro II e Cruz das Armas, que favoreceram o adensamento dos bairros ao longo de seus traçados, o acesso à faixa litorânea e a formação de vazios urbanos (Maia, 2001).

Figura 19. Parque da Lagoa Solon de Lucena, na área central de João Pessoa.



Fonte: Memória João Pessoa (2018).

Segundo Santos (2007), esse período também foi marcado pelo surgimento dos primeiros aglomerados subnormais, resultantes da ocupação de áreas de vales e encostas declivosas pela população de menor renda. Entre 1990 e 2001, o processo de expansão urbana ocorreu de forma mais espalhada, caracterizado pela ocupação progressiva de áreas ainda não edificadas no tecido urbano. Os principais vetores de expansão concentram-se na região litorânea norte – especialmente nos bairros do Bessa, Jardim Oceania e Aeroclube – e no setor centro-sul, com destaque para Bancários, Valentina de Figueiredo, Água Fria, Mangabeira e José Américo, o que resultou na substituição de solos expostos e áreas de vegetação por áreas edificadas (Rafael *et al.*, 2009).

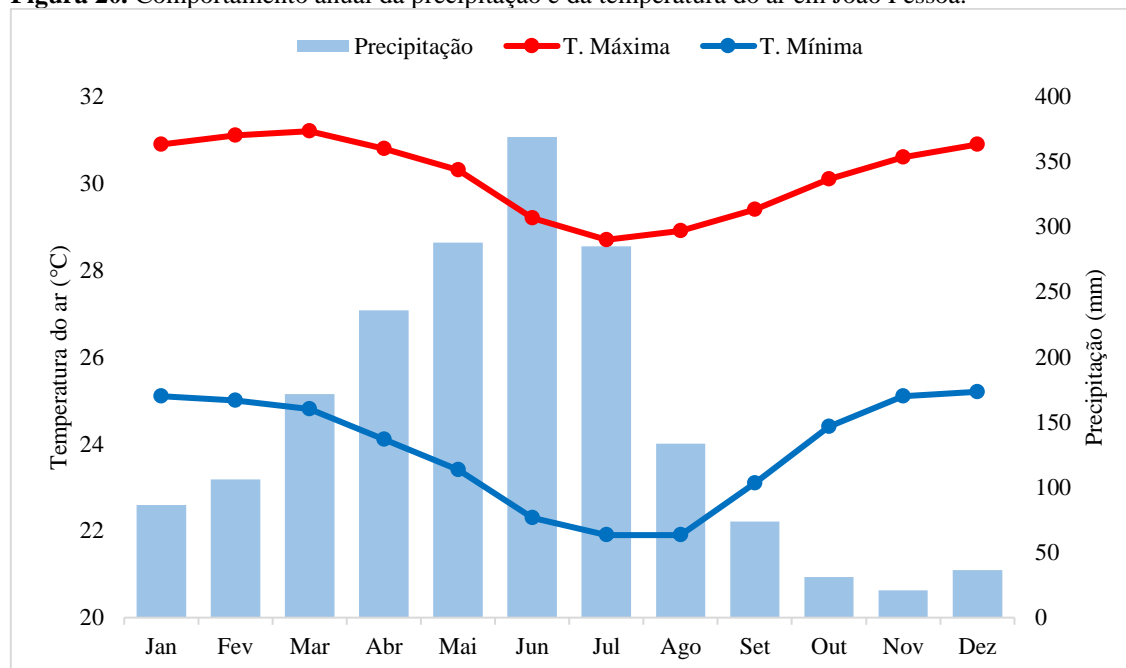
Diante disso, percebe-se que a expansão urbana de João Pessoa ocorreu de maneira desordenada, resultando no surgimento de problemas socioambientais, principalmente vinculados à ocupação de áreas ambientalmente frágeis e instáveis.

4.1.1. Climatologia

O clima de João Pessoa é definido como tropical úmido, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por condições quentes e úmidas ao longo de todo o ano, com a

ocorrência de ventos intensos. Conforme a normal climatológica³ do Instituto Nacional de Meteorologia (1991-2020), a temperatura média do ar é de aproximadamente 27 °C, com máxima em torno de 30 °C nos meses mais quentes (fevereiro e março) e mínima próxima de 23 °C nos meses mais frios, entre julho e agosto (Figura 20). Essa climatologia é fortemente influenciada pela posição geográfica do município, situado em baixas latitudes, próximo à Linha do Equador e ao oceano Atlântico (Silva, 2018).

Figura 20. Comportamento anual da precipitação e da temperatura do ar em João Pessoa.



Fonte: INMET (2022).

A precipitação média anual é da ordem de 1800 mm, apresentando dois regimes pluviométricos distintos: um período mais chuvoso, entre os meses de março e julho, e o outro com menores índices de precipitação, de setembro a janeiro, sendo fevereiro e agosto considerados meses de transição entre esses dois regimes (INMET, 2022).

A região também apresenta uma elevada umidade relativa do ar, cuja média anual é de 80%, podendo atingir até 87% no período entre maio e julho, caracterizando o “período das chuvas”. Os ventos predominantes são a 150° nas rosas dos ventos (direção sudeste), com outros ventos de menor predominância a 90° (direção leste) (Peregrino, 2014).

³ As Normais Climatológicas são valores médios de variáveis meteorológicas calculados para um período relativamente longo e uniforme (no mínimo 30 anos consecutivos) e representa as características médias do clima em um determinado local (INMET, 2022).

4.1.2. Geologia e geomorfologia

João Pessoa apresenta dois compartimentos geomorfológicos principais: os Baixos Planaltos Costeiros e as planícies fluviais e marinhas (Barbosa; Barbosa, 2016). Os Baixos Planaltos Costeiros correspondem a extensas superfícies de idade terciária que se distribuem ao longo do litoral do Nordeste brasileiro, ocupando aproximadamente 8,42 milhões de hectares. Essas áreas desenvolvem-se predominantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras, caracterizando-se por relevo plano a suavemente ondulado, baixa altitude e declividades geralmente inferiores a 10%.

Do ponto de vista geológico, grande parte do território municipal é composta por sedimentos dessa formação, constituídos principalmente por arenitos e argilas. Por serem materiais pouco consolidados, apresentam elevada suscetibilidade aos processos erosivos, favorecendo a formação de encostas, escarpas e falésias, sobretudo ao longo da faixa costeira e nos vales fluviais. Nas áreas de menor altitude, especialmente próximas aos cursos d'água, predominam depósitos quaternários formados por sedimentos arenosos, silto-argilosos e materiais orgânicos associados a ambientes fluviais, estuarinos e marinhos (Barbosa; Barbosa, 2016).

As planícies fluviais e marinhas correspondem às áreas adjacentes aos corpos hídricos, constituídas por sedimentos mais finos resultantes da deposição fluvial, marinha ou eólica. Também denominadas planícies litorâneas, formam uma faixa relativamente estreita paralela ao litoral, estendendo-se no sentido norte-sul entre os limites com o estado do Rio Grande do Norte e a divisa com Pernambuco (Moreira, 2006).

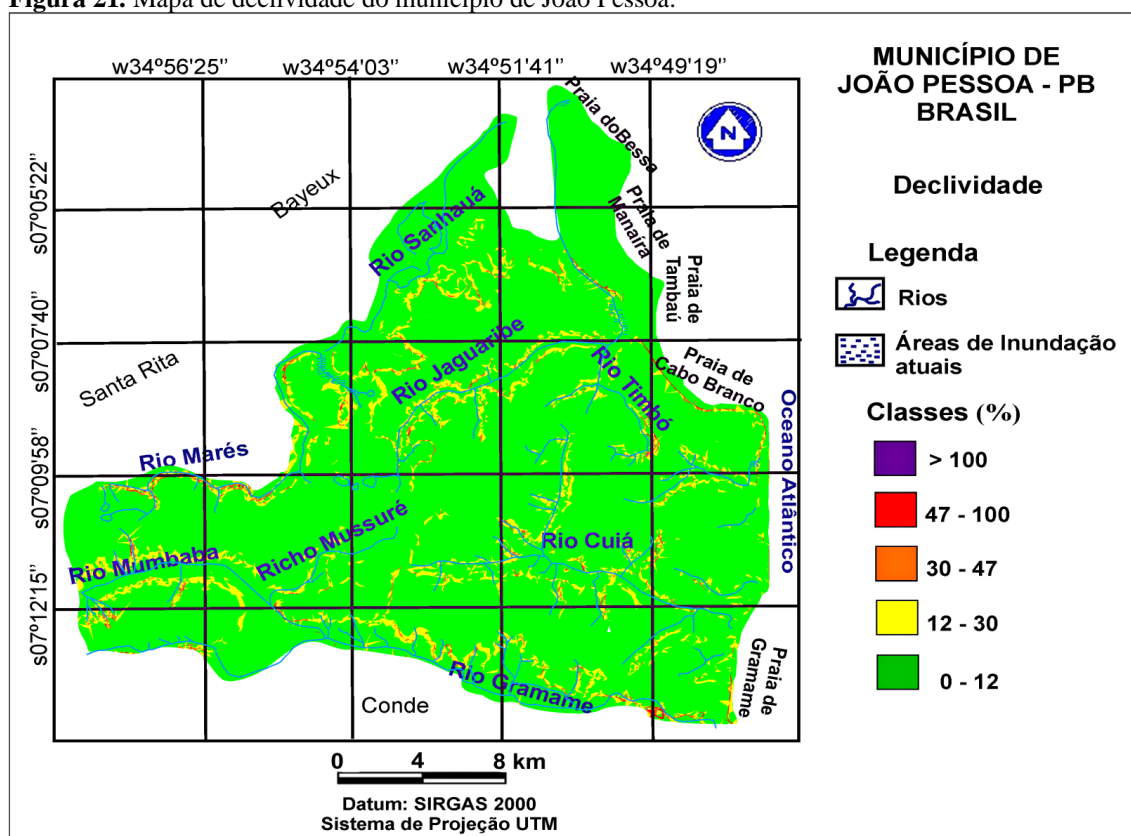
A configuração atual do relevo resulta da atuação integrada de processos fluviais, marinhos e gravitacionais, responsáveis pela dissecação dos tabuleiros costeiros e pela formação de vales encaixados, encostas íngremes e escarpas. A intensidade desses processos está relacionada tanto às características litológicas dos sedimentos quanto às transformações decorrentes da expansão urbana (Barbosa; Furrier, 2017).

Em relação à declividade, o município de João Pessoa apresenta variações que vão de 0–12%, caracterizando áreas de baixa inclinação, até valores superiores a 100% nas vertentes mais íngremes (Barbosa, 2015). A maior parte do município registra valores entre 0 e 12%, caracterizando um típico relevo tabular, marcado por extensas áreas de topos aplainados e também amplos terraços e planícies marinhas, como ocorre em Ponta do Seixas, Cabo Branco, Tambaú, Manaíra, Jardim Oceania e Bessa (Figura 21).

Também são encontradas vertentes com elevadas declividades ao lado dos vales mais dissecados e nas falésias ativas e inativas que separam os bairros baixos descritos anteriormente dos bairros altos, como Portal do Sol, Altiplano, Miramar, Brisamar e João Agripino (Barbosa, 2015).

O território municipal apresenta sua malha urbana implantada sobre áreas de diferentes bacias hidrográficas, destacando-se a do rio Gramame, ao sul, as dos rios Paraíba/Sanhauá, a oeste, e, na porção central, a bacia do rio Jaguaribe/Timbó, de caráter intraurbano, além de bacias secundárias, como as dos rios Cuiá, Jacarapé, Aratu e Cabelo (Barbosa; Barbosa, 2016).

Figura 21. Mapa de declividade do município de João Pessoa.



Fonte: Barbosa, 2015.

4.1.3. Cobertura vegetal

O município de João Pessoa está inserido no bioma Mata Atlântica e apresenta cobertura vegetal composta por diferentes formações florestais, além de campos naturais, restingas, manguezais e outros ecossistemas associados (SEMAM/JP, 2010). Esse bioma constitui uma das principais formações vegetais do território brasileiro. Entretanto, segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (2016), apenas 8,5% dos remanescentes florestais com áreas superiores a 100 hectares permanecem na cobertura original,

percentual que se eleva para 12,5% quando se consideram fragmentos acima de três hectares. Nesse contexto, Silva (2015) destaca que, nas últimas quatro décadas, a expansão territorial de João Pessoa, orientada por interesses do capital, contribuiu para a supressão significativa dos remanescentes de vegetação no município.

Contudo, um levantamento recente realizado pelo MapBiomias sobre o perfil das áreas urbanas no Brasil evidenciou que João Pessoa ampliou a proporção de áreas verdes nos espaços urbanos de 7,4% para 17,1% no período entre 2003 e 2023 (MapBiomias, 2024). Esse mapeamento contempla áreas de vegetação urbana, incluindo parques, praças e áreas privadas com cobertura vegetal. Adicionalmente, segundo dados da Secretaria de Meio Ambiente do município, foram produzidas 36.515 mudas de árvores entre janeiro de 2021 e março de 2024, além da realização de tratamentos fitossanitários em cerca de mil árvores (SEMAM/JP, 2024).

No ano de 1999, João Pessoa recebeu o título de Cidade Verde, em reconhecimento à grande quantidade de árvores presentes na cidade e à existência da Mata do Buraquinho, uma área que abrange 515 hectares, sendo uma das maiores remanescentes de Mata Atlântica em perímetro urbano (Souza *et al.*, 2025). O Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SEMAM/JP, 2010) afirma que, em 2010, a cidade contava com 30,67% de áreas verdes, de modo que 86% correspondem a remanescentes em áreas privadas e 14% em áreas públicas.

Apesar desse cenário, a distribuição dos espaços verdes no território urbano é desigual, com diversos bairros carentes de áreas verdes públicas adequadas. O estudo de Andrade e Jerônimo (2015) destaca que o bairro Ilha do Bispo possui 254 hectares de área verde para 6.020 habitantes, enquanto o bairro de Funcionários, com 16 mil habitantes, não conta com áreas verdes significativas. De forma semelhante, Souza *et al.* (2025) evidenciam a escassez de áreas verdes relevantes no bairro de Tambaú, apesar de se tratar de uma região litorânea, turística e de classe média alta.

Ainda em relação à qualidade ambiental municipal, João Pessoa apresenta 69,19% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, sendo 25% em vias públicas adequadas, com presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2022). Apesar disso, possui uma população de 13.890 pessoas expostas em áreas de risco de inundação, enxurradas e deslizamentos (IBGE, 2018). Muitos são os registros de matérias jornalísticas, principalmente nos meses chuvosos, que apontam impactos causados pelos alagamentos em diversas áreas da cidade. Esses impactos vão desde trânsito lento até pontos de alagamento e deslizamento de terra.

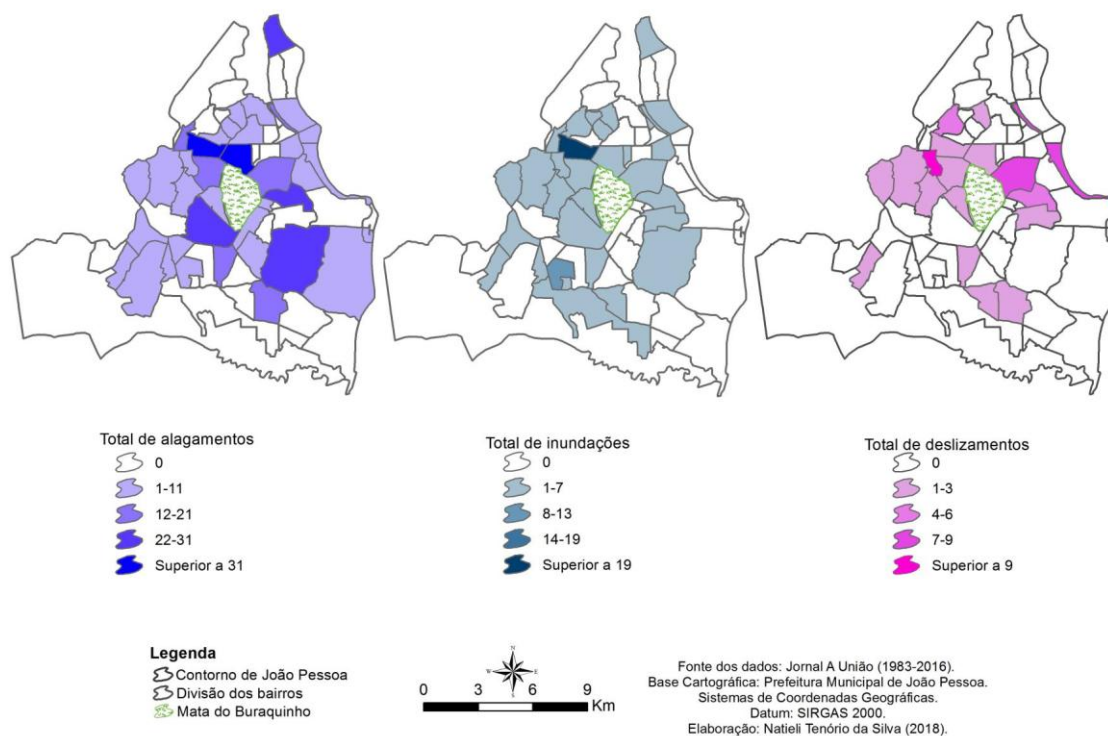
4.2. ALAGAMENTOS URBANOS EM JOÃO PESSOA

De acordo com o Plano Municipal de João Pessoa (PMJP, 2021), os principais riscos identificados no município estão associados a inundações e alagamentos. Além das características do relevo e da declividade, a elevada impermeabilização do solo contribui para a redução da infiltração da água e, conseqüentemente, para o aumento do escoamento superficial, sobretudo durante períodos de chuvas intensas.

Atualmente, João Pessoa possui 35 áreas de risco mapeadas, nas quais os principais problemas registrados são deslizamentos de terra, desabamentos de imóveis – em grande parte devido ao descumprimento dos critérios básicos de edificação – e inundações, todos mais recorrentes na estação chuvosa. A cidade dispõe de um plano de contingência para desastres naturais, criado em 2006, e realiza simulações pelo menos uma vez por ano; todavia, este plano está desatualizado desde 2011 (PMJP, 2021).

Nesse contexto, em seu estudo, Silva (2018) realizou o mapeamento de eventos hidrometeorológicos no município, com ênfase em alagamentos, inundações e deslizamentos de terra. A autora identificou 564 ocorrências entre os anos de 1983 e 2016, com base em registros de matérias jornalísticas. Desse total, 60,31% correspondem a alagamentos, 26,21% a inundações e 13,48% a deslizamentos (Figura 22).

Figura 22. Mapas de espacialização dos impactos hidrometeorológicos em João Pessoa, entre 1983 e 2016.



Fonte: Silva (2018).

Considerando exclusivamente os episódios de alagamento, o estudo evidencia que os bairros da Torre e do Centro concentraram o maior número de ocorrências, com 47 e 33 registros, respectivamente, correspondendo a 21,74% do total. Em seguida, destacam-se os bairros do Cristo Redentor (31 registros), Bancários e Mangabeira (30 registros cada) e Bessa (24 registros), que, em conjunto, representam 31,25% do total de alagamentos. Já a soma dos registros classificados nas categorias 2 e 3 — cuja variação compreende entre 1 e 21 ocorrências por bairro — corresponde a 47,01% do total de eventos registrados.

Conforme mencionado, os sistemas de drenagem implantados em João Pessoa seguem o modelo tradicional, voltado ao controle do volume escoado nos trechos mais a jusante do sistema. Segundo o PMJP (2021), a implantação da microdrenagem ocorre à medida que a pavimentação das ruas é executada.

Azevedo (2019) destaca que o município não dispõe de legislação específica voltada à drenagem urbana, o que contribui para a persistência dos danos associados à deficiência desses sistemas. O autor menciona o episódio ocorrido em 2019, quando foram registrados 257 mm de chuva em um intervalo de 24 horas, conforme dados da Defesa Civil Municipal. O evento resultou em alagamentos e inundações que ocasionaram transtornos à mobilidade urbana e prejuízos econômicos à população.

Nesse contexto, a Tabela 3 evidencia que cerca de 31% das vias não possuem pavimentação nem infraestrutura adequada de drenagem urbana. Além disso, dos quase 2.000 km de extensão total de vias públicas, apenas 27% contam com redes ou canais de águas pluviais. Ressalta-se ainda que somente 8,8% dos cursos d'água perenes dispõem de parques lineares ao longo do seu traçado, infraestrutura que poderia contribuir para a redução dos episódios de alagamentos e inundações nas áreas próximas (Borges *et al.*, 2021).

Tabela 3. Serviços de drenagem e manejo de águas pluviais.

Código SNIS	Informação	Valor
IE017	Extensão total de vias públicas urbanas do município	2.068,24 km
IE019	Extensão total de vias públicas urbanas com pavimento e meio-fio (ou semelhante)	1.419,69 km
IE021	Quantidade de bocas de lobo existentes no município	28.232 unidades
IE023	Quantidade de poços de visita existentes no município	23.526 unidades
IE024	Extensão total de vias públicas urbanas com redes ou canais de águas pluviais subterrâneos	565,36 km
IE032	Extensão total dos cursos d'água naturais perenes em áreas urbanas	113,30 km

IE034	Extensão total dos cursos d'água naturais perenes canalizados abertos em áreas urbanas	9,92 km
IN044	Extensão total de parques lineares ao longo de cursos d'água naturais perenes em áreas urbanas	10,00 km

Fonte: SNIS (2019).

A partir desses dados, com base no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), os autores também apresentam alguns indicadores de serviços de drenagem urbana, organizados na Tabela 4. Destaca-se que mais da metade do território urbano de João Pessoa é impermeabilizada, de modo que nem 30% possui redes ou canais pluviais subterrâneos, o que pode justificar os diversos casos de alagamentos e inundações (Borges *et al.*, 2021).

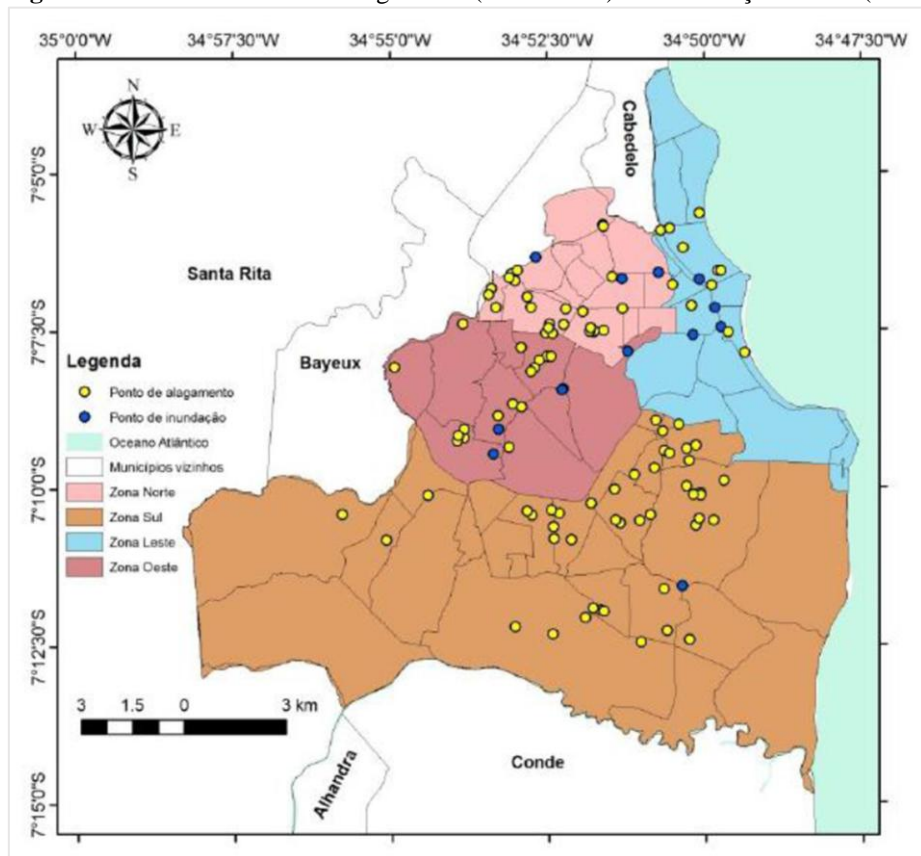
Tabela 4. Indicadores do serviço de drenagem urbana.

Código SNIS	Indicador	Valor (%)
IN020	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município	68,60
IN021	Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana	27,30
IN025	Parcela de Cursos d'Água Naturais Perenes em Área Urbana com Parques Lineares	8,80

Fonte: Borges *et al.*, 2021.

Quanto às regiões com histórico de alagamento, a Figura 23 identifica 98 pontos críticos, associados à inexistência ou à manutenção inadequada das infraestruturas de drenagem, à obstrução de sarjetas e bocas de lobo, bem como ao acúmulo de resíduos sólidos nas galerias. Esses fatores revelam, simultaneamente, fragilidades na eficiência dos serviços de drenagem urbana e lacunas nos processos de educação ambiental da população (Lima; Filgueira, 2018).

Figura 23. Pontos com risco de alagamento (em amarelo) e de inundação urbana (em azul) em João Pessoa.



Fonte: PMJP (2021).

Observa-se que a região sul do município concentra a maior quantidade de pontos de alagamento, o que pode estar associado, principalmente, a deficiências nos sistemas de microdrenagem. Trata-se também da zona mais populosa e que apresentou maior expansão urbana nos últimos anos, ainda marcada pela presença significativa de vazios urbanos, como glebas urbanas e lotes desocupados. Segundo Lima (2025), essa urbanização resultou no aumento da impermeabilização das superfícies, alterando o ciclo hidrológico natural, reduzindo a capacidade de infiltração do solo e intensificando o escoamento superficial, o que eleva o volume de água direcionado às infraestruturas de drenagem.

Em seu estudo, Silva (2018) realizou o mapeamento do risco ambiental no município de João Pessoa, identificando como áreas mais suscetíveis aquelas situadas próximas aos cursos d'água e caracterizadas por baixa declividade. Essa condição de relevo plano, quando associada à ocorrência e à distribuição das chuvas — tanto de intensidade habitual quanto extrema —, favorece o desencadeamento de alagamentos e inundações, resultando em impactos diretos à população. Os resultados indicaram que a predominância de áreas planas no município condiciona um risco significativamente

maior à ocorrência de alagamentos e inundações em comparação aos deslizamentos, os quais representaram 67% do total dos impactos analisados.

A autora afirma ainda que o risco de alagamentos pode ser atribuído, principalmente, às condições infraestruturais do município, destacando-se a ausência de um sistema de drenagem urbana eficiente. Esse fator, associado ao elevado grau de impermeabilização das vias, intensifica o escoamento superficial das águas pluviais, como defende Azevedo (2019). Somam-se a isso a distribuição insuficiente de galerias pluviais no território municipal, bem como a inadequada disposição de resíduos sólidos em vias públicas, o que contribui para o entupimento das estruturas existentes.

Além disso, Barbosa (2015) destaca a predominância de relevo plano no município, com a presença pontual de áreas semicolinosas. Essa configuração topográfica também favorece a ocorrência de alagamentos e inundações, sobretudo nas áreas de planície com baixas cotas altimétricas, além de contribuir para movimentos de massa nas vertentes de falésias, margens de rios e taludes resultantes de cortes de estrada.

A autora também aponta que a precariedade dos sistemas de drenagem em algumas comunidades, a remoção da vegetação nativa nas vertentes para fins de ocupação, o acúmulo de resíduos sólidos em locais de escoamento das águas superficiais e nos rios, a instalação de moradias em planícies de inundação e as construções em áreas de elevada declividade constituem fatores que intensificam a ocorrência desses acidentes geológico-geomorfológicos no município de João Pessoa.

Diante do exposto, buscar maneiras funcionais e sustentáveis para potencializar o sistema de drenagem de João Pessoa é fundamental, haja vista os recorrentes casos de impactos hidrológicos identificados. A precariedade da infraestrutura existente, associada à impermeabilização do solo e à falta de manutenção adequada, compromete a qualidade de vida da população. A reinserção da natureza no espaço urbano, além de mitigar os impactos das chuvas, contribui para a melhoria da qualidade do ar, a regulação do microclima e a valorização paisagística da cidade.

Azevedo (2019) afirma que o gerenciamento sustentável das águas pluviais busca restabelecer, ainda que parcialmente, as condições hidrológicas anteriores à urbanização por meio de soluções integradas à drenagem urbana. Além disso, segundo Davies *et al.* (2015), essas estratégias reduzem os impactos de enchentes, ao favorecer o armazenamento superficial da água, e também desempenham funções importantes no ambiente urbano mesmo em períodos sem alagamentos.

05

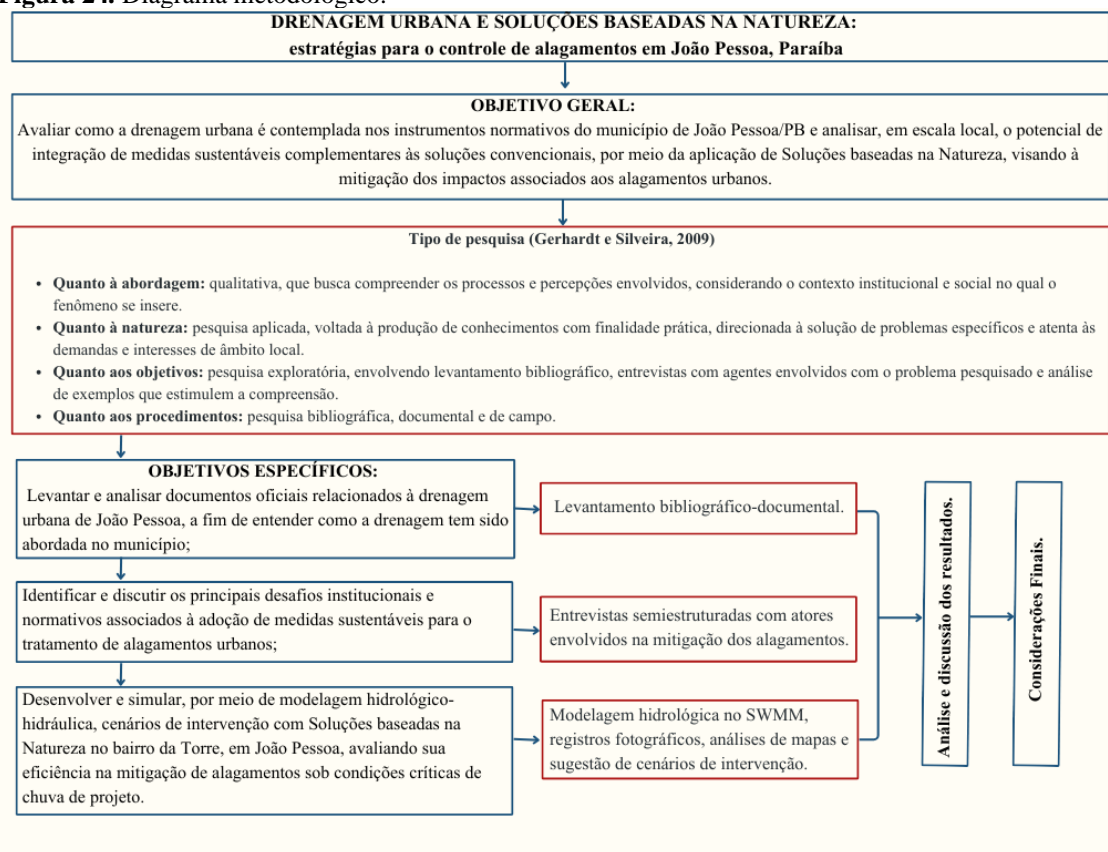
ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA

Este capítulo descreve o encaminhamento metodológico adotado, contemplando as etapas desenvolvidas – análise documental, realização de entrevistas e elaboração de cenários – que, de forma integrada, possibilitaram o alcance dos objetivos propostos.

5. TIPO DE PESQUISA

Este estudo adota uma abordagem mista, teórica e empírica, caracterizada como qualitativa, de natureza exploratória e documental, com o objetivo de compreender a integração das SbN nos contextos da gestão pública municipal voltados ao manejo das águas pluviais urbanas no município de João Pessoa, conforme explicado no diagrama da Figura 24. O método adotado visa proporcionar uma compreensão mais aprofundada do problema em questão, tornando-o mais explícito e desenvolvendo ou refinando ideias e percepções iniciais (Gil; Vergara, 2015).

Figura 24. Diagrama metodológico.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A pesquisa de abordagem qualitativa distingue-se pela busca de uma compreensão aprofundada de fenômenos sociais, institucionais ou espaciais, privilegiando a interpretação de significados, percepções, processos e relações, em detrimento da quantificação de variáveis (Gerhardt; Silveira, 2009). Nesse tipo de investigação, a coleta de dados ocorre sem o uso de instrumentos rigidamente estruturados, não havendo a intenção de controlar o contexto estudado, mas sim de apreendê-lo em sua complexidade e totalidade.

A pesquisa exploratória, por sua vez, caracteriza-se pela flexibilidade do planejamento, possibilitando a análise do objeto de estudo sob múltiplas perspectivas. De natureza investigativa, tem como propósito a realização de uma aproximação inicial com o tema, sobretudo em contextos nos quais o conhecimento sistematizado ainda é incipiente (Vergara, 2006; Prodanov; Freitas, 2013). Esse tipo de pesquisa visa proporcionar maior familiaridade com o problema, de modo a torná-lo mais explícito ou subsidiar a formulação de hipóteses. Em geral, envolve procedimentos como levantamento bibliográfico, entrevistas com indivíduos que possuem experiência prática relacionada ao tema e análise de exemplos que contribuam para a ampliação da compreensão do fenômeno estudado (Gil, 2007).

Nesse contexto, a metodologia da presente pesquisa estrutura-se em três fases: (i) análise documental, fundamentada em documentos públicos da Prefeitura de João Pessoa; (ii) realização de entrevistas semiestruturadas com gestores e técnicos vinculados às ações de enfrentamento aos alagamentos urbanos; e (iii) elaboração de possíveis cenários de intervenção.

5.1. ANÁLISE DOCUMENTAL

Segundo Junior *et al.* (2021), a análise documental trata da compreensão, interpretação e avaliação de diversos documentos que têm como propósito oferecer informações relevantes ao problema de pesquisa, utilizando-os como objeto de estudo. Essa análise envolve um exame aprofundado dos materiais, permitindo interpretações e dados complementares alinhados ao foco investigativo, considerando sempre o contexto e a função dos documentos examinados.

Nesse contexto, essa etapa consiste em analisar os principais documentos públicos do município de João Pessoa – planos diretores, relatórios técnicos, legislações urbanísticas, documentos públicos, etc. – a fim de compreender como a drenagem urbana vem sendo abordada nesses documentos oficiais. A intenção para essa fase é identificar

se há alguma menção a medidas sustentáveis implantadas pelo município para controle de alagamentos ou estratégias governamentais que moldam as ações no âmbito da drenagem urbana e da implantação de SbN.

Para isso, a análise será realizada com base em critérios que permitam identificar diretrizes, ações propostas, lacunas e abordagens relacionadas à gestão de águas pluviais e à mitigação de alagamentos. Busca-se, com isso, construir um panorama do tratamento dado ao tema ao longo do tempo, considerando o contexto urbano local, os marcos legais, e as estratégias adotadas ou previstas pelo poder público.

Assim, a Tabela 5 lista os documentos oficiais que serão analisados para cumprir com o objetivo proposto:

Tabela 5. Documentos públicos oficiais que abordam drenagem urbana no município de João Pessoa, PB.

Documento	Informações adicionais	Nº páginas
Legislação	Lei Orgânica do Município de João Pessoa, de 02 de abril de 1990, atualizado até a Emenda à Lei Orgânica nº 42/2024	102
Plano Diretor Municipal	Lei Complementar nº 3, de 30 de dezembro de 1992 (Institui o Plano Diretor da Cidade de João Pessoa)	33
Plano Diretor Municipal	Lei Complementar nº 54, de 23 de dezembro de 2008 (Adequação do Plano Diretor de 1992)	34
Relatório Técnico	Plano de Ação João Pessoa Sustentável (2014)	71
Legislação	Lei Complementar nº 93, de 30 de dezembro de 2015 (Política Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa)	22
Plano Diretor Municipal	Lei Complementar Nº 164, de 11 de janeiro de 2024 (Aprova a revisão do Plano Diretor de João Pessoa)	91
Legislação	Lei Complementar nº 170, de 08 de janeiro de 2025 (Institui o Código de Meio Ambiente de João Pessoa)	60
Relatório Técnico	Plano de Ação Climática (2023)	103

Fonte: elaborada pela autora (2025).

5.2. APLICAÇÃO DE ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS⁴

A etapa de entrevistas tem como objetivo captar as percepções dos atores diretamente envolvidos em projetos que incorporam princípios de drenagem urbana sustentável e SbN no âmbito da gestão municipal. Assim, os entrevistados foram

⁴ Destaca-se que a execução deste projeto de pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba (CEP/CCS), sob o número do parecer 8.023.871.

selecionados para representar a opinião dos responsáveis que já atuam em projetos ou ações relacionados. Os setores selecionados foram a Secretaria de Meio Ambiente, a Secretaria de Infraestrutura e a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. As partes interessadas são compreendidas como agentes por apresentarem intenção direta no tema em análise ou, em função de sua posição institucional, atuarem como tomadores de decisão ou influenciadores dos processos decisórios (Brugha; Varvasovszky, 2000).

A entrevista é uma das principais técnicas de coleta de dados, caracterizando-se como uma conversa estruturada entre o pesquisador e o entrevistado, para obter informações a respeito de um determinado assunto. É amplamente empregada em estudos sociais e é apropriada para entender os conhecimentos, crenças, expectativas, anseios e motivações dos participantes (Cervo; Bervian, 2002). Podem ser classificadas em três tipos principais: entrevistas estruturadas, não estruturadas e semiestruturadas. O tipo mais utilizado é a semiestruturada, por meio de um roteiro (Oliveira, 2011).

As entrevistas semiestruturadas consistem em um conjunto de informações previamente definidas que se deseja obter de cada participante. Embora se baseiem em um roteiro de perguntas abertas, apoiado no referencial teórico, nos objetivos e nas hipóteses da pesquisa, a formulação e a ordem das questões podem variar conforme as características do entrevistado (Laville; Dionne, 1999).

5.2.1. Preparação da entrevista

Para Lakatos e Marconi (2003), a fase de elaboração do roteiro de entrevistas demanda a adoção de cuidados essenciais, tais como o planejamento prévio da entrevista, o conhecimento antecipado do perfil do entrevistado e do local de realização, bem como a definição adequada do momento da entrevista, que deve ser agendada com antecedência a fim de evitar imprevistos, desencontros e desperdício de tempo. Os autores ainda acrescentam que para alcançar êxito na entrevista, é necessário seguir alguns passos:

a) Contato Inicial: deve ser conduzido de forma cordial e empática, por meio de uma conversa que apresente o objetivo, a finalidade e a relevância da pesquisa, ressaltando a importância da participação do entrevistado. É fundamental que o entrevistador demonstre capacidade de escuta atenta, estimulando o entrevistado a relatar suas próprias experiências, sem perder o controle e a condução do processo de entrevista.

b) Formulação de Perguntas: devem ser elaboradas de acordo com o tipo de entrevista, conduzidas de acordo com o roteiro proposto, evitando direcionar o entrevistado a uma resposta específica.

c) Registro de Respostas: caso haja concordância do entrevistado, a utilização de gravador se mostra recomendável, uma vez que reduz o risco de perda de informações. O registro escrito deve preservar fielmente as palavras empregadas pelo entrevistado, evitando-se sínteses ou reformulações do conteúdo exposto.

d) Término da Entrevista: finalizar também em ambiente de cordialidade, para facilitar contatos futuros. É importante que o entrevistado, além de entender o propósito da revista, aceite e aprove.

5.2.2. Seleção dos entrevistados

A amostra de entrevistados foi definida por meio de um método não probabilístico, no qual os participantes foram selecionados com base em critérios de acessibilidade e conveniência, considerando os elementos aos quais foi possível ter acesso e que, de alguma forma, pudessem representar o universo da pesquisa (Prodanov; Freitas, 2013). Os participantes selecionados integram os quadros técnicos dos respectivos órgãos, sendo responsáveis pela realização de estudos e pela proposição de soluções tecnicamente viáveis.

O Quadro 4 apresenta os atores escolhidos de cada órgão selecionado para execução da proposta, pois são considerados tomadores de decisão ou aqueles que influenciam as ações e soluções adotadas para conter os impactos causados pelos alagamentos urbanos.

Quadro 4. Entrevistados selecionados para a etapa da entrevista.

Órgão Público	Informações adicionais
Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEINFRA)	Secretaria Executiva
Secretaria de Meio Ambiente (SEMAM)	Secretaria Executiva de Mudanças Climáticas
Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC)	Coordenador da COMPDEC
	Diretor de Minimização de Desastres

Ressalta-se que as identidades dos entrevistados foram preservadas por meio da substituição de seus nomes por códigos alfanuméricos.

5.2.3. Roteiro de entrevista

A entrevista semiestruturada foi conduzida a partir de perguntas básicas elaboradas com base na teoria e nas hipóteses relacionadas ao tema em estudo. O roteiro de questões serviu como referência, sendo adaptado conforme a área de atuação de cada entrevistado. Como material de apoio, utilizaram-se os estudos de Dushkova; Haase (2020), Fraga (2020) e Rodrigues *et al.* (2023).

As questões foram separadas em cinco seções para facilitar a compreensão dos entrevistados e a análise das respostas. Antes de cada bloco, foi exposto um pequeno trecho explicativo introduzindo as perguntas realizadas para auxiliar em um prévio entendimento dos participantes. A entrevista obedeceu à seguinte sequência (adaptada de Rodrigues, 2021):

- 1. Perfil do entrevistado:** a intenção aqui é conhecer o entrevistado e sua atuação junto ao órgão em que trabalha. Assim, serão coletadas informações básicas, como nome, cargo, tipo e tempo de função. O objetivo aqui é conhecer o perfil do entrevistado e ajudá-lo a familiarizar-se com o ambiente.
- 2. Gerenciamento dos alagamentos:** as questões aqui serão realizadas para entender como o órgão em questão está inserido no gerenciamento de desastres focados em alagamentos. Buscar entender como são conduzidas as ações de combate a essas questões, quais as ferramentas envolvidas para monitoramentos e as partes envolvidas.
- 3. Soluções convencionais:** este bloco busca identificar ações implementadas e as maiores dificuldades encontradas por meio do uso de medidas tradicionais.
- 4. Soluções Baseadas na Natureza:** verificar o conhecimento dos entrevistados em relação às Sbn, sua percepção em relação aos benefícios e às dificuldades de aplicação dessas medidas.
- 5. Encerramento e Agradecimentos:** encerrar entrevista, conferir assinaturas e documentos e fazer os agradecimentos necessários.

As respostas aos questionários foram de suma importância para melhor caracterizar aspectos relevantes para a tradução do conceito e seu contexto para as políticas públicas municipais. Assim, o Quadro 5 detalha as perguntas e questionamentos que foram feitos aos entrevistados.

Quadro 5. Roteiro dos questionamentos que serão feitos durante a entrevista.

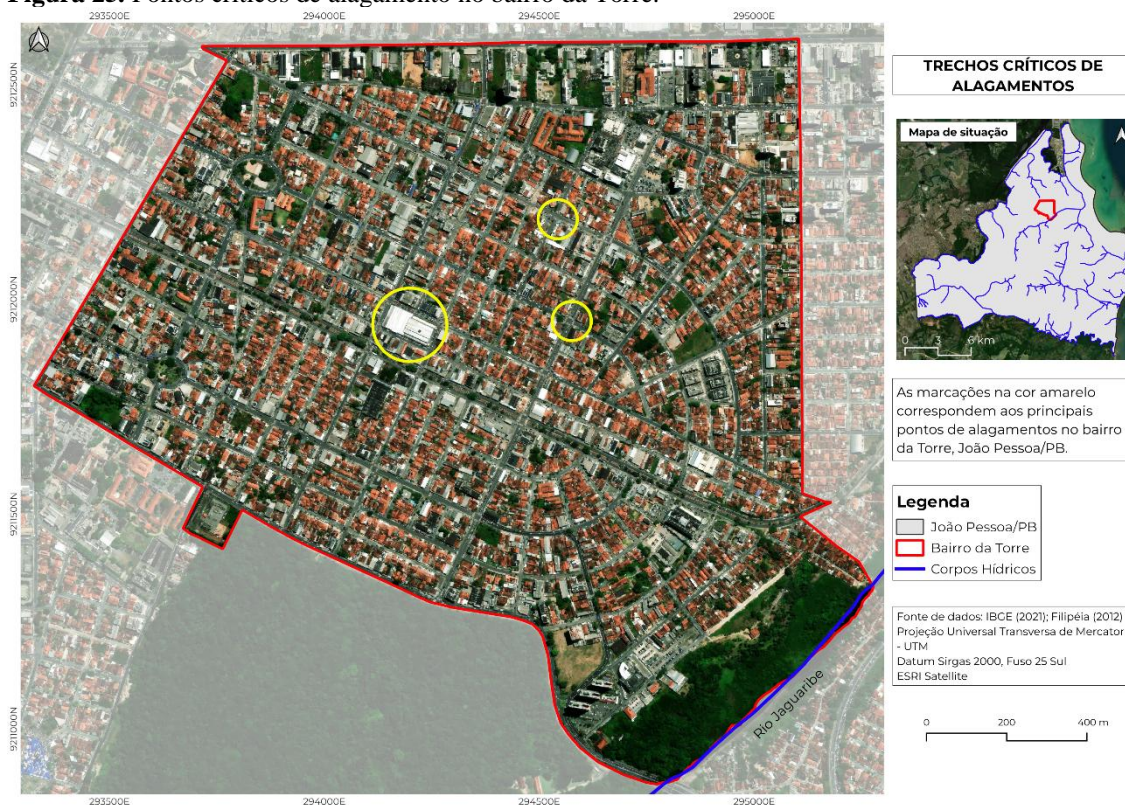
Seção	Introdução descritiva	Pergunta
1	O objetivo desta seção é identificar o perfil do entrevistado e compreender sua função e responsabilidade dentro do órgão em que atua.	Qual é o seu nome e formação?
		Qual cargo desempenha no órgão e há quanto tempo está nessa posição?
		Já atuou em outras áreas semelhantes neste ou em outro órgão? Se sim, qual?
		Descreva em poucas palavras sua área de atuação e seu papel neste setor
2	Nesta seção, as perguntas foram formuladas com o propósito de entender como esses órgãos desenvolvem medidas para prevenir e enfrentar desastres naturais, com ênfase nos episódios de alagamento.	Qual é a função desempenhada por este órgão na cidade de João Pessoa no enfrentamento dos alagamentos?
		Quais ações o órgão tem desenvolvido para prevenir ou minimizar os impactos de alagamentos no município?
		Existe algum plano de contingência ou protocolo específico para lidar com desastres naturais, como alagamentos?
		De que forma o órgão atua em conjunto com outros setores da administração pública para enfrentar esse problema?
		Como a população é envolvida ou orientada em relação às ações de prevenção e de resposta aos alagamentos?
		O órgão utiliza alguma ferramenta de monitoramento e/ou avaliação e algum banco de dados para a gestão dos episódios de alagamento?
		Na sua avaliação, quais são os principais desafios enfrentados por este setor no gerenciamento dos alagamentos urbanos? Como contorná-los?
3	Nesta parte da entrevista, buscou-se compreender a percepção dos entrevistados acerca da efetividade da infraestrutura cinza (tradicional) utilizada no manejo de águas urbanas.	Na sua avaliação, a infraestrutura convencional (galerias, canais, pavimentação, etc.) tem sido eficaz para conter os alagamentos em João Pessoa?
		Quais são as principais limitações que o(a) senhor(a) identifica nesse modelo de infraestrutura?
		Na sua percepção, quais seriam os principais pontos positivos do uso da infraestrutura cinza no combate aos alagamentos?
		O(a) senhor(a) considera que somente a infraestrutura convencional é capaz de responder aos desafios atuais ou que seriam necessárias soluções complementares?
4	Nesta fase, o objetivo foi avaliar o nível de conhecimento dos entrevistados acerca da infraestrutura verde e das SBN, bem como compreender sua percepção sobre a relevância da integração entre infraestrutura cinza e verde	O(a) senhor(a) já ouviu falar ou tem conhecimento sobre o conceito de Soluções Baseadas na Natureza ou Infraestrutura Verde?
		Na sua opinião, as SbN poderiam contribuir para reduzir os impactos dos alagamentos em João Pessoa? De que forma?
		O(a) senhor(a) considera viável integrar SbN com a infraestrutura convencional existente? Como isso poderia ser feito, na sua opinião?
		Na sua percepção, o tema sobre SbN tem sido explicitamente inserido nas medidas de planejamento e gerenciamento de águas urbanas? Tem tido sucesso com as implementações?
		Quais barreiras ou dificuldades o(a) senhor(a) identifica para a implementação dessas soluções em João Pessoa

		(ex.: custo, legislação, falta de conhecimento técnico, aceitação social)? Em sua visão, a população estaria aberta e disposta a aceitar intervenções urbanas baseadas em soluções naturais?
5	Agradecimento à participação do entrevistado	Encerramento e Agradecimentos finais

5.3. GERAÇÃO DE CENÁRIOS

Como etapa complementar, procedeu-se à elaboração de cenários alternativos, com a finalidade de propor alternativas voltadas ao controle dos alagamentos no município de João Pessoa. Essas intervenções foram aplicadas no bairro da Torre, em áreas que apresentam diversos trechos suscetíveis à ocorrência de alagamentos (Figura 25). De acordo com a Defesa Civil de João Pessoa, a principal causa associada a esses eventos nessas localizações está no subdimensionamento das estruturas de drenagem, que foram projetadas com capacidade inferior à necessária para o escoamento dos volumes de água gerados pelos eventos pluviométricos previstos (Borges *et al.*, 2021).

Figura 25. Pontos críticos de alagamento no bairro da Torre.



Fonte: Elaborada pela autora (2025)

A definição do bairro objeto desta análise fundamentou-se na recorrência de registros de alagamentos, tomando como referência o estudo de Silva (2018), que mapeou

o risco ambiental associado à ocorrência desses eventos em João Pessoa. A autora identificou, a partir da análise dos eventos hidrometeorológicos entre 1983 e 2016, o bairro da Torre como aquele com maior número de ocorrências de alagamento no município.

De modo semelhante, Azevêdo (2020), ao investigar o índice de vulnerabilidade a desastres relacionados a fenômenos naturais em João Pessoa, também apontou a Torre como o bairro com maior concentração de pontos críticos de alagamento. A autora destaca que as principais causas desses problemas estão associadas à ausência ou deficiência de manutenção no sistema de microdrenagem — incluindo obstrução de sarjetas, bocas de lobo e estruturas de descarga por vegetação ou resíduos sólidos, galerias assoreadas ou bloqueadas — além do subdimensionamento da rede e de falhas estruturais nos dispositivos de drenagem.

Além disso, foram considerados critérios como o alto nível de ocupação e adensamento construtivo, a elevada impermeabilização do solo e a reduzida cobertura vegetal. Com base no levantamento realizado pela Defesa Civil (2021), descrito no Relatório do Diagnóstico Técnico do município (Borges *et al.*, 2021), foi possível identificar os trechos com maior recorrência de alagamentos, os quais estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Relação dos trechos e pontos de alagamento com as possíveis causas.

Bairro	Trechos afetados	Causa provável
Torre	Barão de Mamanguape (Referência: Mercado da Torre)	Subdimensionamento
	Caetano Filgueiras (Referência: Mercado da Torre)	Subdimensionamento
	Carneiro da Cunha (Referência: Mercado da Torre)	Subdimensionamento
	Feliciano Dourado (Referência: Mercado da Torre)	Subdimensionamento
	Av. Juarez Távora com Av. Santa Júlia	Subdimensionamento
	Av. Rui Barbosa e Av. Manoel Deodato	Subdimensionamento

Fonte: Borges *et al.*, 2021.

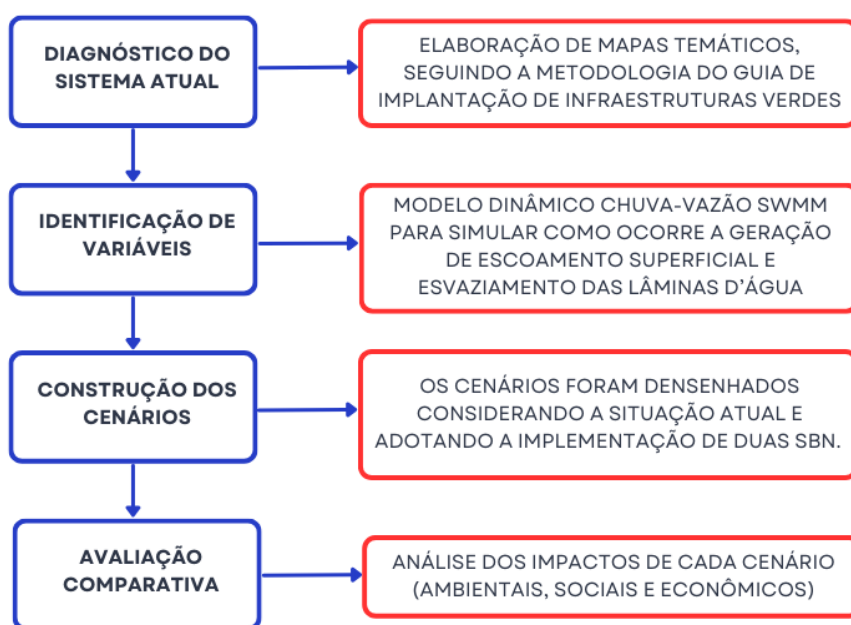
Para Peter Schwartz (2000), o “cenário” é uma ferramenta para ordenar as percepções de uma pessoa ou de uma organização sobre ambientes futuros alternativos, ou seja, é uma representação estruturada de futuros possíveis, elaborada a partir da análise de tendências, incertezas críticas e fatores determinantes do sistema estudado.

No planejamento urbano, essa ferramenta é amplamente utilizada para avaliar impactos de políticas públicas, orientar revisões de Planos Diretores e testar alternativas de intervenção antes de sua implementação (Xiang; Clarke, 2003). Os autores

acrescentam que esses cenários podem cumprir três funções principais: exploratória, examinando consequências de tendências atuais; normativa, projetando futuros desejáveis; e preventiva, antecipando riscos e vulnerabilidades.

Nesse sentido, a elaboração dos cenários seguiu o modelo proposto por Schwartz (2000), composto por quatro etapas, partindo da definição da questão principal: diagnóstico do sistema atual; identificação de variáveis; construção dos cenários; e avaliação comparativa. O fluxograma da Figura 26 ilustra a organização desse método e como foi realizada a elaboração dos cenários alternativos desse estudo.

Figura 26. Fluxograma com as etapas propostas por Schwartz para a elaboração de cenários alternativos.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

5.3.1. Diagnóstico do sistema atual

Para a realização do diagnóstico do sistema atual, utilizou-se como referência o *Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde*, disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2020). O referido guia foi desenvolvido com a finalidade de auxiliar na identificação e priorização de áreas aptas à implantação de Infraestrutura Verde, visando à melhoria da qualidade de vida urbana e ao fortalecimento de programas e políticas públicas orientados ao desenvolvimento sustentável (IPT/SP, 2020). A partir desse referencial, foi possível identificar diferentes tipologias multifuncionais passíveis de implantação nas áreas prioritárias previamente definidas.

Ademais, adotou-se como referência o *Segundo Diálogo Setorial UE–Brasil sobre Soluções baseadas na Natureza (SbN)*, que reúne experiências bem-sucedidas já implementadas ou em desenvolvimento na União Europeia e no Brasil. As estratégias identificadas foram adaptadas à realidade do município de João Pessoa, priorizando aquelas comumente associadas aos sistemas de drenagem urbana, com base na Revisão Sistemática da Literatura apresentada no item 3.

O Guia Metodológico foi utilizado como principal referência para a identificação das funções ambientais associadas às diferentes tipologias de SbN, bem como de seus indicadores. Ressalta-se que o documento adota o termo *Infraestrutura Verde*; entretanto, a partir da definição apresentada – que enfatiza a adoção de métodos inspirados na natureza, com foco em soluções multifuncionais e sustentáveis – observa-se que o conceito empregado é equivalente ao de SbN. O guia reúne um conjunto de tipologias multifuncionais, organizadas conforme a escala de aplicação mais adequada à realidade municipal, além de apresentar, para cada tipologia, suas principais potencialidades e limitações.

Considerando os objetivos deste estudo, optou-se por contemplar a escala de aplicação local, que abrange intervenções em espaços como ruas ou praças. Dessa forma, foram selecionadas apenas as tipologias de SbN compatíveis com essa escala, as quais foram sistematizadas, descritas e detalhadamente explicadas no Quadro 7.

Quadro 7. Tipologias multifuncionais e suas respectivas vantagens e limitações.

Tipologia de SbN	Descrição/Aplicação	Vantagens	Limitações
Ruas/Caminhos Verdes	Ruas arborizadas que integram o manejo das águas pluviais compostas por canteiros pluviais. Aplicadas nas ruas das cidades.	Conexão para avifauna e microfauna; amenização do clima; limitação do tráfego de veículos pesados.	Necessidade de calçada com espaço adequado para plantio de árvores.
Agricultura Urbana	Hortas comunitárias ou particulares onde se realizam cultivos, em diferentes espaços. Aplicadas em espaços residuais, áreas não ocupadas ou fachadas.	Socialização, educação e geração de renda monetária e não monetária	Não identificada.
Bacia de Retenção	Lagoas que recebem escoamento superficial de outros sistemas, onde a água pluvial permanece retida na estrutura. Aplicadas em grandes áreas abertas.	Armazenamento de grandes quantidades de água; recuperação da qualidade da água; cooperação com o habitat.	Necessidade de grandes áreas.
Canteiro Pluvial	Jardins de chuva compactados para pequenos	Purificação de águas pluviais; redução de	Risco de contaminar o solo e o lençol freático.

	espaços auxiliando no processo de evaporação, evapotranspiração e infiltração. Aplicadas em vias urbanas próximas ao meio-fio e em edifícios.	escoamento superficial e de ilhas de calor; promoção da biodiversidade e captura de CO ₂ .	
Pavimento Permeável	Pavimentos que permitem a infiltração da água das chuvas por não possuírem agregados miúdos em sua composição. Aplicadas em calçadas, estacionamentos e espaços públicos.	Redução do escoamento superficial e acúmulo de água da chuva; recarga do lençol freático; filtragem de alguns poluentes.	Risco de contaminar o lençol freático.
Interseção Viária	Ilhas de distribuição de trânsito viário com áreas vegetadas no interior. Aplicadas em vias urbanas.	Organização viária; coleta de água das chuvas; amenização do microclima; melhoria do visual estético.	Não identificada.

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2020).

Nesse contexto, o Guia propõe três etapas fundamentais para a seleção de uma rede de SbN adequada às demandas de um município: (i) a compreensão da situação ambiental atual, a partir da análise de indicadores; (ii) o conhecimento das tipologias de SbN e dos serviços ambientais por elas prestados; e (iii) a seleção das tipologias mais compatíveis com a realidade municipal. A partir do cumprimento dessas etapas, tornou-se possível identificar as tipologias de SbN mais adequadas para aplicação nos trechos selecionados neste estudo.

A primeira etapa consiste na leitura e interpretação do território a partir de um conjunto de indicadores passíveis de quantificação, que são analisados quanto à sua relevância e integrados à base de dados do município. O Guia Metodológico recomenda a avaliação de 13 indicadores, com o objetivo de identificar e caracterizar as áreas prioritárias para a ampliação do provimento de serviços ambientais por meio da SbN no contexto urbano.

No entanto, considerando os trechos delimitados para análise, bem como o foco específico na drenagem urbana, optou-se por restringir a análise aos indicadores diretamente relacionados a essa temática, não sendo contemplados outros aspectos, como esgotamento sanitário, conforto térmico ou mobilidade urbana. Assim, foram investigadas as áreas com pouca cobertura vegetal e as densidades de alagamento.

Na segunda fase, foram apresentadas e conceituadas as diferentes tipologias de SbN, bem como os serviços ambientais que podem ser mantidos ou aprimorados por meio da implementação dessas técnicas. Esses serviços ambientais são todas as atividades

humanas que favorecem a melhoria dos ecossistemas e, como consequência, contribuem para a manutenção dos serviços ecossistêmicos fornecidos (MMA, 2019). Infraestruturas como os telhados verdes exemplificam intervenções capazes de prover serviços ambientais no contexto urbano. Quatro SbN foram selecionadas para aprofundamento da análise.

A terceira e última etapa, conforme o Guia, consiste na seleção das tipologias mais adequadas para aplicação na área de estudo. Para tanto, recomenda-se uma leitura integrada por meio da elaboração de uma Matriz de Correlação entre as SbN e os serviços ambientais associados. Foi definida e aplicada uma escala de avaliação para identificar o potencial de cada SbN, previamente abordada na primeira etapa, na provisão desses serviços ambientais, em que (-) indica não aplicável; (+) representa menor potencial e (++) maior potencial. Para esta avaliação, foram consideradas apenas as tipologias prioritárias com capacidade de contribuir para a mitigação dos impactos dos alagamentos relacionados à drenagem, levando em conta as especificidades e as necessidades dos trechos analisados.

5.3.2. Identificação de variáveis

A partir das SbN selecionadas, procedeu-se à simulação dos processos de geração de escoamento superficial e do esvaziamento das lâminas d'água, por meio do modelo dinâmico chuva-vazão *Storm Water Management Model* (SWMM)⁵, amplamente empregado na gestão de drenagem urbana. Esse software permite simular tanto a quantidade quanto a qualidade do escoamento, considerando tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e estruturas de regulação. O SWMM permite acompanhar, ao longo do tempo, a evolução do escoamento em cada sub-bacia, bem como a vazão, a altura e as características da água em tubulações e canais (Gomes *et al.*, 2012).

Para este estudo, adotou-se o método de roteamento hidráulico por Onda Dinâmica (*Dynamic Wave*), utilizando o EPA SWMM 5.0.022, na versão traduzida para o português pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba. Esse método permite representar simultaneamente a geração de escoamento superficial nas sub-bacias; a captação por estruturas equivalentes

⁵ O SWMM pode ser usado para avaliar estratégias de controle de águas pluviais, sendo uma ferramenta útil para a criação de soluções híbridas, combinando infraestrutura verde e cinza. Disponível em: <<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm#green>>.

a grelhas (modeladas como orifícios); o escoamento na rede de drenagem e o armazenamento superficial nas vias com ocorrência de alagamento.

Esse método é a forma mais completa de simular o escoamento em redes de drenagem no SWMM (EPA, 2006). Ele resolve numericamente as equações completas de *Saint-Venant*, considerando simultaneamente a conservação de massa e de quantidade de movimento. Diferentemente de abordagens simplificadas, o método permite representar variações temporais de vazão e profundidade, efeitos de armazenamento, regime sob pressão, possíveis remansos hidráulicos e sobrecargas na rede. Sua adoção é adequada, uma vez que a análise envolveu cenários críticos de precipitação e redução da eficiência das estruturas de captação, com potencial formação de lâmina superficial nas vias urbanas.

Ele é amplamente empregado em estudos de drenagem urbana. Ribeiro (2018) o utilizou em pesquisa sobre monitoramento de bacias urbanas e planejamento da drenagem, destacando a importância de métodos hidráulicos completos para representar adequadamente regimes de fluxos variáveis no tempo e em redes complexas. De forma semelhante, Toscan Neto e Destro (2024) aplicaram o modelo na simulação de redes de drenagem urbana voltadas ao planejamento de medidas de drenagem sustentável, utilizando-o para avaliar diferentes cenários de chuva e de infraestrutura, com adoção de métodos como o roteamento por ondas dinâmicas, capazes de capturar os efeitos hidráulicos de maneira integral.

Nesse contexto, realizou-se inicialmente a representação espacial dos trechos indicados no Quadro 6 – indicados no mapa da Figura 25 –, com base na análise de imagens do satélite *Google Earth* (2025) e em visitas de campo, a fim de compreender a situação atual das áreas estudadas. A Tabela 6 reúne as informações utilizadas para a caracterização de cada trecho.

Tabela 6. Principais características dos trechos com recorrência de alagamentos no bairro da Torre.

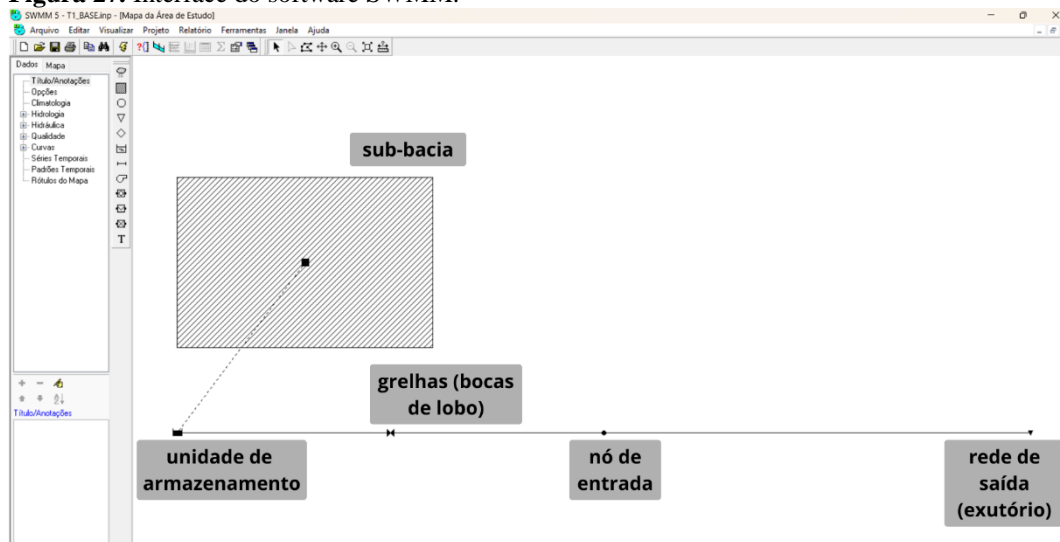
Trecho	Código	Área Contribuinte (m ²)	Dimensões da via (m)	Área de armazenamento (m ²)	Diâmetro da rede
Cruzamentos do Mercado da Torre	T1	7165,896	130 x 9	1170	600 mm
Cruzamento entre Av. Juarez Távora com Av. Santa Júlia	T2	2627,025	57 x 5	285	400 mm
Cruzamentos entre Av. Rui Barbosa e Av. Manoel Deodato	T3	1951,540	100 x 7	700	600 mm

Para que a simulação fosse corretamente reconhecida e realizada pelo *software*, cada trecho foi estruturado com:

- Uma sub-bacia (90% impermeável);
- 1 nó intermediário de entrada (garantindo o roteamento hidráulico);
- 1 unidade de armazenamento representando a rua alagada;
- Grelhas modeladas como orifícios circulares equivalentes (diâmetro de 0,18 m);
- Rede de drenagem com saída livre.

A Figura 27 exemplifica como foi desenhada na interface do software cada estrutura citada, para cada um dos três trechos trabalhados.

Figura 27. Interface do software SWMM.



Para a representação do alagamento, o acúmulo de água nas vias foi modelado como Unidade de Armazenamento com forma funcional, onde:

$$\text{Área} = C \cdot h$$

Sendo:

- C = área superficial do trecho (m^2);
- h = profundidade da lâmina.

Isso permitiu transformar diretamente o volume acumulado em lâmina d'água real.

Também foi necessário adotar um evento pluviométrico, ou uma *chuva de projeto*, com:

- Duração: 60 minutos;
- Período de retorno (TR): 25 anos;
- Distribuição temporal: 5 minutos.

A série temporal foi construída a partir da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) regional, mantendo o formato do hietograma e escalando as intensidades para TR25. Optou-se pela adoção desse TR em função do contexto urbano da área estudada – elevado grau de impermeabilização do solo, recorrência de alagamentos e significativa concentração de edificações e fluxo viário. Essa escolha busca proporcionar maior segurança hidráulica ao sistema de drenagem, reduzindo a probabilidade de extravasamentos frequentes e minimizando prejuízos à infraestrutura e à mobilidade urbana.

Além disso, trata-se de um critério intermediário que equilibra confiabilidade técnica e viabilidade econômica, sendo compatível com a importância e a vulnerabilidade da área analisada. Para tanto, foi utilizado como referência o *Atlas Pluviométrico do Brasil* para o município de João Pessoa/PB, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM (Pinto, 2023). O estudo apresenta a equação IDF ajustada com base na série histórica de precipitações máximas diárias da estação pluviométrica João Pessoa (código 82798 – INMET), válida para tempos de retorno de até 100 anos, permitindo associar intensidades de chuva às respectivas frequências de ocorrência.

Nesse estudo, não foi adotado apenas um valor fixo de chuva total (mm), pois o alagamento urbano não depende somente da quantidade de chuva, mas principalmente da intensidade com que ela ocorre ao longo do tempo. Por isso, foi utilizada uma *chuva de projeto* definida pelo IDF. Dessa forma, a quantidade total precipitada foi automaticamente considerada pelo produto entre intensidade e duração, permitindo representar de forma mais realista o comportamento do escoamento e a formação das lâminas d'água nos trechos analisados. Ressalta-se que o *Atlas Pluviométrico* estabelece, para a duração de 60 minutos, uma intensidade de precipitação da ordem de 80 mm, caracterizada como uma chuva forte em contexto urbano.

Em continuidade, para representar a realidade observada em campo – acúmulo excessivo de resíduos e sedimentos –, foi simulada condição de entupimento severo (75%) das grelhas, sendo essa condição adotada como cenário crítico de referência, implementada por meio da redução do coeficiente de descarga dos orifícios para:

$$C_d = 0,1625$$

Para cada trecho analisado, foram considerados três cenários: a situação atual (com TR25 + entupimento de 75%); a situação em caso de aplicação de pavimento permeável, considerando 50% da área impermeável; e a situação em caso de aplicação de canteiros pluviais, considerando 50% da área impermeável. Assim, a área tratada de cada trecho foi:

- T1 = 3224,65 m²;
- T2 = 1182,16 m²;
- T3 = 878,19 m².

Assim, tornou-se possível comparar o comportamento do escoamento na situação atual, em termos de volume acumulado e tempo de esvaziamento, com aquele observado após a aplicação de diferentes estratégias de SbN no mesmo trecho, avaliando sua eficácia na redução do alagamento sob cenário crítico de precipitação e entupimento das estruturas de captação.

5.3.3. Construção dos cenários e avaliação comparativa

A partir desses resultados, foram desenvolvidos cenários alternativos para os trechos analisados, com o objetivo de propor melhorias complementares ao sistema de drenagem existente. As propostas foram modeladas no *software SketchUp* (versão 2021) e posteriormente renderizadas com o auxílio de inteligência artificial, visando facilitar a visualização e a compreensão das intervenções sugeridas. Foram estruturados dois tipos de cenário: o cenário atual, que representa a configuração observada nos três trechos, e o cenário alternativo, que incorpora ajustes moderados e modificações estruturais por meio da implementação das SbN selecionadas.

Além da representação visual, realizou-se a comparação entre os cenários quanto ao volume de escoamento, à lâmina de alagamento e ao tempo de esvaziamento. Essa análise comparativa entre diferentes tipologias de intervenção permite identificar quais estratégias apresentam melhor desempenho em cada trecho estudado, contribuindo para um planejamento urbano mais integrado, preventivo e orientado por evidências técnicas.

Ressalta-se que a construção desses cenários não tem caráter preditivo, mas exploratório. A intenção é analisar alternativas plausíveis e estimular a discussão sobre soluções viáveis e contextualizadas à realidade local. Dessa forma, a abordagem possibilita avaliar potencialidades e limitações das intervenções propostas, podendo

oferecer subsídios técnicos e estratégicos para o fortalecimento de uma gestão urbana mais resiliente e sustentável.

06

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os principais resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados, evidenciando os principais aspectos observados no contexto estudado.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. INTERPRETAÇÃO DOS DOCUMENTOS PÚBLICOS

A Lei Orgânica de um município constitui a norma fundamental que regula a organização e o funcionamento municipal. Equivale, em âmbito local, a uma Constituição, definindo as diretrizes para a estrutura dos poderes, a administração pública, bem como os direitos e deveres dos cidadãos. A Lei Orgânica do município de João Pessoa nº 1 foi promulgada em 02 de abril de 1990, tendo sua versão mais recente estabelecida pela Emenda à Lei Orgânica nº 42/2024.

De acordo com o art. 6º da referida Lei, dentre as competências administrativas comuns entre município, União e Estado, destaca-se o inciso IX – “promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico”. Ainda, o art. 154º menciona sobre as responsabilidades do município acerca do saneamento básico:

Art. 154. O Município, em consonância com a sua política urbana e segundo o disposto em seu plano diretor, deverá promover programas de saneamento básico destinados a melhorar as condições sanitárias e ambientais das áreas urbanas e os níveis de saúde da população.

I – Ampliar progressivamente a responsabilidade local pela prestação de serviços de saneamento básico;

II – Executar programas de saneamento em áreas pobres, atendendo à população de baixa renda, com soluções adequadas e de baixo custo para o abastecimento de água e esgoto sanitário;

III – executar programas de educação sanitária e melhorar o nível de participação das comunidades na solução de seus problemas de saneamento (JOÃO PESSOA, 1990).

Observa-se que a lei não trata diretamente da drenagem urbana, mas entende-se que está incluída no âmbito do saneamento básico, uma vez que a Lei Federal nº 14.026/2020 – Novo Marco do Saneamento Básico – em seu art. 3º, define a drenagem e

o manejo de águas pluviais urbanas como componentes essenciais do saneamento. A ausência de dispositivos específicos sobre drenagem na Lei Orgânica Municipal evidencia uma lacuna normativa, considerando que esse tema é fundamental para o planejamento urbano sustentável e para a mitigação de problemas decorrentes do acúmulo de águas pluviais. A Lei Orgânica do município de Recife, por exemplo, menciona expressamente em seu artigo 124º a drenagem como parte integrante dos serviços de saneamento, evitando ambiguidades e reforçando a importância de tratar o tema de forma explícita na legislação municipal.

Destaca-se ainda que tanto a Lei Orgânica de Recife quanto a do município de Natal utilizam o termo “saneamento ambiental” em alguns de seus artigos. Freire (2017) explica que o saneamento ambiental compreende um conceito mais amplo, que engloba não apenas os serviços tradicionais de saneamento básico, mas também ações voltadas à preservação ambiental, controle da poluição, proteção de mananciais e demais medidas que promovem a saúde pública e a sustentabilidade de forma integrada. Dessa forma, evidencia-se a importância de que as legislações municipais de João Pessoa adotem uma visão mais abrangente do saneamento, reconhecendo-o como um instrumento essencial para o equilíbrio urbano e ambiental.

Por outro lado, ao comparar as três versões existentes dos Planos Diretores – com sua primeira publicada em 1992, seguida por uma atualização em 2008 e a mais recente em 2024 –, é possível observar um avanço significativo no que se refere à drenagem urbana. O Plano Diretor Municipal (PDM) constitui o principal instrumento de planejamento e ordenamento do território urbano, orientando o desenvolvimento físico, social e ambiental do município. Ele estabelece diretrizes para o uso e a ocupação do solo, a infraestrutura urbana, a mobilidade, a habitação e o saneamento básico.

Nesse contexto, pode-se afirmar que a primeira versão do documento, aprovada e publicada pela Lei Complementar nº 03, de 30 de dezembro de 1992, apresentava limitações quanto ao tratamento da temática da drenagem urbana. A única referência ao assunto encontra-se no artigo 7º, que define infraestrutura básica como:

Art. 7. Para os fins desta Lei são adotadas as seguintes definições:

XI – Infraestrutura Básica: os sistemas de abastecimento de água, coleta e destinação final de esgotos, drenagem de águas pluviais, energia elétrica, iluminação pública e vias pavimentadas (JOÃO PESSOA, 1992).

Observa-se que, à época, conceitos relacionados à sustentabilidade ainda não eram amplamente incorporados aos documentos públicos municipais. Entretanto, o artigo 95

menciona o termo “ecodesenvolvimento”, atribuindo à Secretaria de Planejamento a responsabilidade por promover iniciativas nessa direção. Embora o uso do termo indique uma preocupação inicial com questões ambientais, sua abordagem no documento é superficial e pouco desenvolvida.

Em 2008, por meio da Lei Complementar nº 54, o PMD foi atualizado, incorporando novos pontos ao texto inicial. Entre as alterações, destaca-se a inclusão do inciso XI no artigo 3º, que passou a mencionar “a garantia à cidade sustentável, à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental...”, representando a primeira referência direta à gestão sustentável no documento. Ainda, no artigo 7º, que trata da infraestrutura básica, foram acrescentados os equipamentos urbanos de escoamento de águas pluviais, bem como a definição de drenagem e manejo de águas pluviais, descrita como:

XXIII – O conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (JOÃO PESSOA, 2008).

A atualização também criou a Agência Municipal de Saneamento (AMUSA), responsável por exercer o poder regulatório e fiscalizatório sobre os serviços públicos de saneamento básico. Entre suas atribuições, incluíam-se os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais. Destaca-se que essa agência não é novamente citada na atualização do PMD de 2024.

Além dos avanços relacionados à drenagem urbana, o novo Plano incorporou algumas diretrizes ambientais importantes, como a determinação de “ordenar e controlar o uso do solo de forma a evitar a poluição e a degradação ambiental” (art. 3º, inciso XVI), e a criação de setores voltados à preservação e uso sustentável do território, entre eles:

XXXII – Setor de Amenização Ambiental (SAA): são porções do território com o objetivo de possibilitar o uso de áreas frágeis de forma sustentável, por meio de usos e atividades compatíveis, não poluentes, com ocupação de baixa densidade e alta permeabilidade do solo, favorecendo o microclima e priorizando os condomínios ecológicos e sustentáveis;

XXXIII – Setor de Proteção da Paisagem (SPP): possui a função de desacelerar a expansão urbana garantindo a preservação de paisagem singular e/ou de resquícios de Mata Atlântica, permitindo uma ocupação sustentável priorizando usos característicos da zona rural (JOÃO PESSOA, 2008).

Dessa forma, a revisão de 2008 representou um avanço expressivo em relação à versão anterior, tanto no reconhecimento da drenagem urbana como componente essencial do saneamento básico quanto na incorporação de uma visão ambiental

integrada. O Plano passou, assim, a constituir os primeiros passos de um instrumento estratégico de planejamento sustentável, voltado à promoção de cidades mais resilientes, inclusivas e ambientalmente equilibradas.

A última e mais recente atualização do PMD foi aprovada por meio da Lei Complementar nº 164, de 11 de janeiro de 2024. Essa versão trouxe avanços significativos, dedicando um capítulo exclusivo à infraestrutura de saneamento. Dentro dele, a Seção IV trata especificamente do manejo de águas pluviais, que o artigo 31 define como o conjunto de atividades relacionadas à drenagem urbana, ao transporte de águas pluviais, à detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias e à disposição final da água pluvial coletada.

O artigo 32 apresenta as diretrizes para o manejo de águas pluviais, abordando temas como a adoção de sistemas de drenagem sustentável, o planejamento dos pontos de lançamento de drenagem, o aproveitamento de águas pluviais e a preservação e recuperação das áreas de interesse para a drenagem, entre outros aspectos relevantes. Destacam-se, ainda, os últimos incisos do artigo, que reforçam a adoção de práticas sustentáveis:

VIII – A busca por alternativas de gestão que viabilizem a autossustentação econômica e financeira do sistema de drenagem urbana;

IX – A realização de estudos e a adoção de medidas que previnem e evitam danos às áreas urbanas e unidades de conservação e às áreas de interesse ambiental;

X – A adoção de medidas para a eliminação dos lançamentos clandestinos de efluentes líquidos e dos resíduos sólidos de qualquer natureza nos sistemas de drenagem pluvial;

XI – O incentivo à adoção de implantação de drenagem sustentável nos empreendimentos (JOÃO PESSOA, 2024).

Dessa forma, observa-se que o PDM de 2024 incorporou atualizações importantes voltadas à sustentabilidade urbana, com atenção especial à gestão das águas pluviais. O documento reconhece a importância da prevenção e do controle de inundações, bem como do mapeamento de áreas de risco e vulneráveis. Contudo, não especifica os métodos ou instrumentos adotados para a execução dessas ações, tampouco menciona a aplicação de infraestruturas verdes ou SbN como alternativas de mitigação e adaptação.

Ao se comparar com o Plano Diretor do Recife, percebe-se que ainda existem lacunas na abordagem da drenagem urbana em João Pessoa. O PDM de Recife, por exemplo, estabelece o Plano Municipal de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais como instrumento orientador das ações e da gestão do sistema, além de ressaltar a recuperação

da infraestrutura vegetal como medida para aumentar a resiliência urbana frente às mudanças climáticas. O documento também menciona o princípio do meio ambiente ecologicamente equilibrado e institui a Zona de Desenvolvimento Sustentável (ZDS), que incorpora estratégias alinhadas às Sbn, como a preservação de áreas permeáveis e a implementação de telhados verdes.

Desse modo, apesar do PDM de 2024 configurar um progresso ao incorporar diretrizes voltadas à sustentabilidade, ainda há espaço para aprimorar a abordagem da drenagem urbana em João Pessoa, sobretudo por meio da adoção de práticas ecológicas e de soluções inovadoras que fortaleçam o desenvolvimento sustentável e a resiliência do espaço urbano.

Retomando o ano de 2014, a prefeitura de João Pessoa, em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento e a Caixa Econômica Federal, instituiu o Plano de Ação João Pessoa Sustentável. Esse documento resulta da aplicação da metodologia da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (ICES) e tem como foco o enfrentamento de desafios em diferentes áreas, tais como desigualdade urbana, a mitigação das mudanças climáticas e a vulnerabilidade a desastres, entre outros. O objetivo central do projeto consistiu em articular a sustentabilidade ambiental e fiscal ao desenvolvimento urbano e ao fortalecimento da governança municipal.

O plano descreve o panorama do município em relação a determinados eixos da sustentabilidade ambiental, com base no conjunto de indicadores adotados pela metodologia ICES. No que se refere à drenagem urbana, o documento aponta que as principais dificuldades do sistema estão associadas aos lançamentos irregulares de esgotos na rede de drenagem, à ocupação de áreas adjacentes aos cursos d'água, ao transporte de sedimentos provenientes de vias não pavimentadas, bem como ao acúmulo de resíduos sólidos e entulhos no sistema, fatores que contribuem para a ocorrência de obstruções.

[...] é comum o alagamento de vias, provocando grande transtorno para o tráfego local. Por geralmente ocorrer em áreas de grande crescimento populacional e que apresentam aumento de ocupação, o problema tende a agravar-se em ritmo acelerado, indicando necessidade de ampliação dos sistemas existentes e de intensificação do uso de medidas não estruturais para a gestão das águas pluviais na cidade (JOÃO PESSOA, 2014).

Ademais, o documento aborda a vulnerabilidade do município frente a desastres naturais no contexto das mudanças climáticas. Ele aborda a atuação do poder público municipal diante desses eventos e afirma que ainda é pouco eficaz; entretanto, observa-

se um esforço no sentido de adaptação às novas condições impostas pelas mudanças climáticas. Diante dos riscos associados às inundações e das limitações da capacidade do sistema de drenagem local, são propostas ações de natureza estrutural e não estrutural, tais como a adequação de bacias e ribeiras e o estabelecimento de marcos legais para a regulação das áreas marginais.

Uma pesquisa realizada com a população de João Pessoa permitiu compreender a percepção dos moradores acerca das principais prioridades urbanas do município. Em uma escala de 1 a 5, em que 1 seria o menos importante, os resultados evidenciam a predominância de temas relacionados à segurança, que obteve a pontuação máxima (5), e à saúde (4,3), enquanto o esgotamento sanitário e a drenagem receberam avaliações significativamente inferiores (2,1).

Esse cenário revela como a população percebe e hierarquiza suas necessidades e problemas urbanos, evidenciando diferenças entre demandas imediatas e questões estruturais da cidade. Tal percepção indica, ainda, uma menor visibilidade e valorização dos serviços de saneamento e drenagem, frequentemente reconhecidos apenas em contextos críticos, como episódios de enchentes ou a ocorrência de problemas de saúde pública, o que reforça a necessidade de maior conscientização sobre sua relevância para a qualidade de vida urbana.

A Política Municipal de Saneamento Básico, instituída no ano seguinte, pela Lei Complementar Nº 93, de 30 de dezembro de 2015, reconhece a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas como componentes essenciais do saneamento, destacando que a expansão urbana desordenada, a impermeabilização do solo, a ocupação de áreas próximas aos cursos d'água e a inadequada manutenção do sistema contribuem para a ocorrência de alagamentos e inundações. O documento enfatiza a necessidade de integrar a drenagem ao planejamento urbano e às demais políticas públicas, combinando medidas estruturais e não estruturais, visando a ampliação e o aprimoramento dos sistemas existentes.

Ainda, como ato mais recente, no primeiro semestre de 2025, foi instituído, por meio da Lei Complementar nº 170, de 8 de janeiro de 2025, o novo Código de Meio Ambiente do município, o qual adequa e complementa o código anteriormente publicado em 2002. Entre os instrumentos dessa lei, foram incorporados três novos planos de grande relevância para a drenagem urbana: o Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (PDDMAPU), o Plano de Contingência de Riscos e o Plano de Ação

Climática, configurando importantes marcos para o desenvolvimento da drenagem urbana municipal.

No que se refere ao PDDMAPU, compete ao poder público municipal instituir uma comissão especial para apoiar sua elaboração e revisão periódica. O plano tem como objetivo ordenar a distribuição do escoamento superficial com base nas tendências de ocupação urbana, compatibilizando-as com a infraestrutura existente, de forma a evitar prejuízos econômicos e ambientais, além de mapear e controlar a ocupação das áreas suscetíveis a riscos de inundação no município (JOÃO PESSOA, 2025). O Código também incentiva a adoção de soluções sustentáveis, ao orientar que, nas edificações, os sistemas de drenagem de águas pluviais priorizem alternativas de reuso da água, desde que atendidas as normas técnicas e a legislação específica aplicável.

Até o momento, o PDDMAPU de João Pessoa ainda não foi publicado. Quanto ao Plano de Contingência, existe uma versão vigente, atualizada em 2024; contudo, seu acesso não é facilitado ao público, sendo necessário solicitá-lo diretamente à Defesa Civil. A única versão disponível online, datada de 2021, foi elaborada originalmente para atender a situações emergenciais relacionadas às obras do programa João Pessoa Sustentável. Seu objetivo era capacitar a equipe técnica para lidar com possíveis cenários acidentais que pudessem gerar impactos negativos durante a fase de operação do programa. Assim, trata-se de um instrumento com finalidade específica, distinto daquele previsto no novo Código Ambiental do município.

No que diz respeito ao Plano de Ação Climática (PAC), cuja última atualização ocorreu em 2023, o documento estabelece 37 medidas de adaptação e mitigação com o objetivo de alcançar a neutralização das emissões líquidas de carbono do município até 2050. O projeto teve início em 2021 e é estruturado a partir de cinco componentes principais: o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, a Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas, a Pegada Hídrica, o próprio Plano de Ação Climática e o respectivo Projeto de Lei, sendo o PAC oficialmente publicado em 2023.

Em relação ao enfrentamento de desastres associados a inundações e deslizamentos, o plano estabelece como meta, até 2030, a elaboração de projetos e a execução de obras de drenagem corretiva voltadas à mitigação dos problemas responsáveis por alagamentos, bem como a implantação de sistemas de alerta para desastres. Para 2050, o documento prevê a estabilização de todas as áreas suscetíveis a deslizamentos de massa que representem risco à população, além da redução da proporção de pessoas residentes em áreas de risco.

Entre os documentos analisados, o PAC destaca-se por ser o único a mencionar explicitamente as Soluções baseadas na Natureza, incorporando-as como estratégia transversal em diferentes eixos, tais como Qualidade Urbana e Habitação, Áreas Verdes e Proteção Costeira, Gerenciamento de Riscos Climáticos e Saneamento Ambiental e Saúde. No eixo de Qualidade Urbana, o plano propõe, até 2030, a requalificação de espaços públicos para ampliar seu uso pela população:

Implantar medidas para aumentar os espaços públicos mais acessíveis, seguros e atrativos para utilização pela população. [...] ampliação da arborização urbana e conservação/restauração do patrimônio cultural e ambiental, com criação de espaço para atividades ao ar livre. Incluir a adoção de Soluções baseadas na Natureza, como os jardins de chuva, para a melhoria da drenagem, e os telhados verdes, para a ampliação do conforto térmico (JOÃO PESSOA, 2023).

No âmbito da drenagem urbana, o plano propõe, a médio prazo, entre 2030 e 2040, o reordenamento do sistema de drenagem do município, priorizando a adoção de SbN nas obras de infraestrutura:

Ampliar o índice de permeabilidade do solo em áreas urbanas, desenvolvendo projetos de pavimentação alternativa ao asfalto. Desenvolver programas específicos de sensibilização sobre a importância de conservar os leitos dos rios, matas ciliares, áreas permeáveis e arborização urbana. Ampliar arborização em praças, ruas públicas e construções relacionadas à drenagem (JOÃO PESSOA, 2023).

Nesse contexto, a investigação dos documentos e legislações evidencia que, ao longo do tempo, João Pessoa apresentou avanços graduais na forma como a drenagem urbana passou a ser reconhecida e incorporada aos instrumentos de planejamento e gestão urbana. Inicialmente tratada de maneira implícita e pouco detalhada no âmbito do saneamento básico, a drenagem foi ganhando maior visibilidade sobretudo a partir das revisões do Plano Diretor, que passou a dedicar uma seção específica ao manejo de águas pluviais e a incorporar diretrizes voltadas à sustentabilidade, à prevenção de inundações e ao controle de áreas de risco. Os demais instrumentos também reforçam esse avanço ao reconhecer a drenagem como componente essencial do saneamento e ao propor a integração entre medidas estruturais, não estruturais e ações de adaptação às mudanças climáticas.

Apesar desse progresso normativo e conceitual, persistem lacunas importantes na efetiva implementação de estratégias de drenagem urbana mais sustentáveis e eficientes. Muitos planos previstos ainda não foram elaborados ou atualizados, como PDDMAPU, e, mesmo nos documentos mais recentes, observa-se a ausência de detalhamento

operacional e de instrumentos claros para a aplicação de soluções inovadoras, como infraestruturas verdes e SbN. Embora João Pessoa tenha avançado no reconhecimento da importância da drenagem urbana ao longo do tempo, ainda há amplo espaço para consolidar uma abordagem mais integrada, preventiva e sustentável, capaz de fortalecer a resiliência urbana, reduzir riscos e promover maior qualidade ambiental e de vida para a população.

Os resultados corroboram as conclusões de Pereira *et al.* (2019), que, ao analisar os aspectos normativos relacionados ao manejo de águas pluviais em João Pessoa, identificaram a fragilidade das políticas públicas voltadas ao setor. Os autores destacaram, à época, a inexistência de um Plano Diretor de Drenagem – que persiste até os dias atuais –, bem como a ausência de instrumentos legais capazes de incentivar a adoção de medidas sustentáveis para o enfrentamento dos problemas urbanos associados ao escoamento superficial.

De forma semelhante, Wanderley e Paz (2014) apontaram que a legislação municipal apresenta baixa eficiência no controle do escoamento superficial urbano, especialmente quando comparada à de grandes cidades como São Paulo e Curitiba. Os autores ressaltam a necessidade de avanço na legislação de drenagem em João Pessoa, com a incorporação de medidas mais eficazes de controle na fonte.

Por sua vez, Bezerra (2015) propõe a adoção de uma taxa de impermeabilidade limite dos lotes como instrumento estratégico para a gestão urbana, destacando seu potencial como ferramenta eficaz de controle da impermeabilização do solo, desde que fundamentada em critérios técnicos consistentes. O estudo conclui que a legislação de João Pessoa aborda a permeabilidade de maneira limitada e com baixo aprofundamento técnico, reforçando a necessidade de aprimoramento normativo.

Acrescenta-se que outras capitais do Nordeste, como Recife e Natal, abordam de maneira mais explícita, em seus PDMs, a relevância dos espaços verdes e da arborização urbana como elementos estruturantes do planejamento urbano. Esses componentes são reconhecidos não apenas como estratégias para promover uma drenagem mais sustentável, mas também como pilares fundamentais para o desenvolvimento urbano sustentável de forma integrada.

O Plano Diretor mais recente de Natal, aprovado em 2022, dedica o Capítulo II ao desenvolvimento socioeconômico sustentável, estabelecendo diretrizes voltadas ao uso racional dos recursos naturais, ao incentivo ao empreendedorismo com foco em soluções

criativas e inovadoras, bem como à adoção de estratégias como telhados e fachadas verdes, entre outras iniciativas voltadas à sustentabilidade urbana (NATAL, 2022).

De maneira semelhante, o PDM de Recife, em seu artigo 46, estimula o desenvolvimento do Programa de Premiação e Certificação em Sustentabilidade Ambiental, que reconhece boas práticas e concede o Selo de Sustentabilidade Ambiental a empreendimentos que adotem medidas sustentáveis (RECIFE, 2021). Além disso, o município investe em ações de renaturalização e melhoria das calhas fluviais, bem como na recuperação e qualificação dos sistemas de macro e microdrenagem, reforçando uma abordagem mais integrada entre planejamento urbano, infraestrutura hídrica e soluções ambientais.

Essas iniciativas evidenciam uma incorporação mais consistente de instrumentos normativos e incentivos concretos voltados à sustentabilidade e à resiliência urbana, servindo como referência para o aprimoramento das políticas de drenagem e gestão ambiental em João Pessoa.

Outro ponto relevante é a percepção social: a pesquisa junto à população, citada no Plano de Ação João Pessoa Sustentável, mostra que drenagem e saneamento recebem baixa prioridade frente a temas como segurança e saúde. Isso sugere que a drenagem urbana ainda é percebida como um problema episódico — associado apenas a períodos chuvosos ou a eventos extremos — e não como uma infraestrutura estratégica para a qualidade de vida urbana. Essa percepção pode influenciar diretamente o ritmo de formulação, priorização orçamentária e implementação de políticas públicas voltadas ao setor.

Diante desse cenário, torna-se fundamental investir em ações de sensibilização e educação ambiental, evidenciando a relação entre drenagem, saúde pública, mobilidade urbana, valorização imobiliária e redução de riscos. A inclusão do tema em campanhas institucionais, audiências públicas e processos participativos pode contribuir para ampliar sua visibilidade social. Além disso, a divulgação de dados sobre custos econômicos de alagamentos e impactos indiretos — como prejuízos ao comércio, interrupção de serviços e danos estruturais — pode fortalecer a compreensão da drenagem como investimento preventivo e não apenas como gasto corretivo.

A integração do tema às agendas de mudanças climáticas e resiliência urbana também representa uma estratégia relevante para reposicionar a drenagem como elemento central do planejamento sustentável, ampliando seu reconhecimento tanto pela população quanto pelos tomadores de decisão.

6.2. ENTREVISTAS COM OS GESTORES RESPONSÁVEIS

Diante da existência de um sistema complexo, no qual diversos órgãos atuam na gestão de alagamentos, optou-se por direcionar as entrevistas a três instituições públicas – SEMAM, SEINFRA e COMPDEC – por integrarem as diferentes etapas do processo, desde o planejamento das ações até o monitoramento e o acompanhamento das ocorrências registradas.

Entretanto, apenas a COMPDEC respondeu à solicitação e manifestou disponibilidade para a realização da entrevista. Nesse órgão, foram entrevistados dois participantes, cujas identidades foram preservadas por meio da adoção dos códigos E1 e E2. Os resultados desta etapa serão apresentados conforme os eixos temáticos que estruturaram os questionamentos.

Perfil do entrevistado

O participante E1 é coronel da Polícia Militar, atualmente afastado das atividades operacionais diárias, e ocupa o cargo há quase seis anos. Atua na Coordenadoria, que, em João Pessoa, possui status de secretaria, com vínculo direto ao gabinete do prefeito. Não possui experiência prévia em área semelhante ou em outro órgão da administração pública. O participante E2 é graduado em Engenharia Civil e atua na COMPDEC há um ano. Exerce a função de Diretor de Minimização de Desastres e também não possui experiência anterior em área semelhante ou em outro órgão público.

De forma sucinta, ambos definiram a atuação da COMPDEC como responsável pelo planejamento, articulação e coordenação de todas as ações de proteção e defesa civil, tanto em períodos de normalidade quanto de anormalidade, no município de João Pessoa. Para tanto, a equipe é composta por oito integrantes e dispõe de três maquinários, utilizados principalmente em operações de desassoreamento de rios.

E1 complementa que, ao assumir o cargo em 2021, havia cerca de 600 processos pendentes, e, ainda, os pontos críticos de alagamento somavam 111, distribuídos pelo município. Atualmente, esse número foi reduzido para 40 pontos críticos, que permanecem sob monitoramento constante. Ambos destacam que os principais impactos ambientais enfrentados em João Pessoa — e mais monitorados pela Defesa Civil — são os deslizamentos de terra, os transbordamentos de rios e as inundações.

A diminuição desses pontos indica um possível avanço na gestão, sobretudo no que se refere ao monitoramento e às ações de manutenção preventiva, como o desassoreamento dos rios. No entanto, a composição da equipe revela uma estrutura

reduzida para atender às demandas de um município de porte significativo, principalmente em situações extremas. Soma-se a isso a inexistência de uma equipe multidisciplinar, o que pode limitar a atuação integrada e a eficácia das ações desenvolvidas.

Ainda é importante destacar o benefício decorrente das formações distintas dos entrevistados, que podem influenciar tanto a condução da gestão quanto a interpretação dos problemas identificados. Ademais, o maior tempo de permanência de E1 no cargo possibilita uma análise comparativa da evolução da gestão ao longo dos anos, enquanto E2 contribui com uma perspectiva técnica mais recente, associada à sua formação específica.

Gerenciamento dos alagamentos

Os entrevistados afirmaram que a COMPDEC não possui atribuição para executar obras de infraestrutura, atuando principalmente na assistência à população em situações de desastre e na prevenção de tragédias. As intervenções que podem ser realizadas diretamente pelo órgão — inclusive sem a necessidade de autorização externa — restringem-se a ações mitigadoras, como o desassoreamento de rios, desde que tenham como prioridade a preservação da vida humana e animal.

Nesse sentido, diante de ocorrências de alagamentos e inundações, a atuação concentra-se na assistência à população afetada, por meio da distribuição de itens de higiene pessoal, colchões, água potável e alimentação, além da oferta de abrigo provisório, entre outras medidas que estejam ao alcance do poder público para minimizar os impactos da situação. Logo, o papel do órgão é predominantemente estratégico e emergencial, não estrutural. Isso evidencia que a gestão de alagamentos no município ainda opera majoritariamente na lógica de resposta e mitigação, e não de transformação estrutural do sistema.

Atualmente, o órgão dispõe de diversos canais de comunicação com a população, sendo o WhatsApp o principal meio de contato. Também estão disponíveis o número 199 (telefone de emergência da Defesa Civil no Brasil), o aplicativo João Pessoa na Palma da Mão — ferramenta para dispositivos móveis que permite ao cidadão acessar os serviços da Prefeitura de forma mais ágil — e a Central de Atendimento, por meio da qual o cidadão realiza solicitações via protocolo administrativo.

Os entrevistados destacaram que esses canais representam avanços implementados pela gestão atual, ressaltando que, anteriormente, o atendimento se

restringia ao telefone fixo institucional e a um número 0800. Assim, observa-se que essas iniciativas evidenciam esforços do município para aprimorar a capacidade de resposta às ocorrências e qualificar o atendimento às demandas da população.

No que se refere às ações em desenvolvimento, foi informado o desenvolvimento de uma ferramenta destinada a disponibilizar informações à população, como os principais pontos de alagamento, áreas com risco de desabamento e demais locais suscetíveis a desastres naturais. A plataforma, provisoriamente denominada *João Pessoa Alerta*, deverá divulgar também as ocorrências atendidas, bem como as vistorias e visitas técnicas realizadas, contribuindo para maior transparência e prevenção. A previsão de lançamento é para os primeiros meses de 2026.

Adicionalmente, foi destacada a disponibilização de um plantonista para atuar no Centro de Cooperação da Cidade (CCC), localizado no bairro do Altiplano. Esse profissional será responsável pela coleta de dados e pelo monitoramento contínuo, com o objetivo de prevenir desastres e reduzir a probabilidade de que a população seja surpreendida por eventos adversos.

No que se refere às estratégias adotadas para lidar com esses impactos, os entrevistados informaram que o município dispõe de um Plano de Contingência atualizado no período de 2024 a 2025, o qual estabelece diretrizes, fluxos e protocolos de atuação. Destacaram que, além das ações de assistência à população, o órgão atua de forma intensiva na retirada de sedimentos dos rios, como medida preventiva.

Segundo os entrevistados, já são perceptíveis benefícios decorrentes dessas intervenções, a exemplo da intensa chuva ocorrida em agosto de 2025. De acordo com eles, nesse episódio houve transbordamento em apenas um trecho do Rio Jaguaribe, atribuído à baixa capacidade da calha, o que é considerado um avanço, tendo em vista que, em eventos anteriores, o transbordamento era registrado em diversos trechos do rio.

O órgão atua de forma sistêmica, em articulação com diferentes setores da administração pública. Em nível municipal, há atuação conjunta com diversos órgãos, a citar a SEINFRA; a Secretaria de Segurança Urbana e Cidadania (SEMUSB); a Secretaria de Educação e Cultura (SEDEC), responsável pela disponibilização de abrigos quando necessário; a Secretaria de Desenvolvimento Social (SEDES); a Secretaria de Planejamento (SEPLAN); e a Secretaria de Habitação Social (SEMHAB). Também há articulação com o Corpo de Bombeiros Militar, em nível estadual, não sendo, até o momento, necessário o acionamento de instâncias federais.

Quanto ao envolvimento da população, E1 e E2 afirmaram que há uma boa relação institucional, favorecendo a participação em ações colaborativas com a Defesa Civil. Além disso, existe um canal de comunicação via *WhatsApp* com a imprensa local, a fim de assegurar maior celeridade na divulgação de avisos e informações urgentes. Assim, além das notas oficiais publicadas formalmente, há um meio de comunicação que possibilita divulgação mais rápida e com menor burocracia.

Em relação à disponibilização de dados, atualmente não há um meio oficial estruturado para esse fim. A expectativa é que essa função seja incorporada à nova plataforma em desenvolvimento. No momento, as informações são fornecidas mediante solicitação dos interessados. Ressalta-se que não são registradas as lâminas de alagamento nem as alturas das cheias dos rios. Encontra-se em desenvolvimento um projeto para instalação de réguas e sensores ao longo dos rios que atravessam a cidade, bem como de sensores de movimento nos principais taludes com risco de deslizamento.

Os entrevistados também apontaram dificuldades no registro histórico de dados, uma vez que as informações anteriores a 2021 foram perdidas. Essa perda de dados históricos e a ausência de registros de níveis de cheia demonstram uma limitação técnica importante. Sem dados hidrológicos estruturados, a gestão tende a assumir um caráter predominantemente reativo, comprometendo a eficiência do planejamento preventivo e dificultando a realização de estudos técnicos e pesquisas que subsidiem a tomada de decisões.

Por fim, há consenso entre os entrevistados de que o principal desafio atual no gerenciamento desses eventos está relacionado à conscientização da população quanto ao descarte inadequado de resíduos sólidos. Foi mencionada, como exemplo, a retirada frequente de pneus dos cursos d'água. Destaca-se que episódios de alagamento decorrentes do acúmulo de lixo nas redes de drenagem são recorrentes. Além disso, há casos de ligações irregulares de esgoto às redes de drenagem pluvial, o que agrava a poluição das águas lançadas nos corpos hídricos receptores.

Logo, o discurso evidencia que a dimensão comportamental e educacional é vista como tão relevante quanto a infraestrutura física.

Soluções convencionais

Em relação à infraestrutura convencional, os participantes defenderam que ela é eficiente até determinado limite, mas não necessariamente eficaz frente a eventos mais

severos. Segundo eles, em episódios de precipitação média, a infraestrutura existente consegue drenar a água de forma satisfatória, especialmente quando as redes estão desobstruídas. Entretanto, em situações de chuvas intensas, o sistema não se mostra eficaz, em razão do subdimensionamento, sobretudo em bairros com redes de drenagem mais antigas.

Há consenso entre os entrevistados de que a principal limitação desse modelo reside na ausência de manutenção adequada e contínua. Diversas áreas — especialmente os bairros mais antigos — possuem sistemas obsoletos, que não suportam os volumes de precipitação atualmente registrados. Além disso, os recursos financeiros destinados a essa finalidade são limitados e, em geral, direcionados apenas para situações emergenciais.

De acordo com os participantes, o foco da gestão atual tem sido o calçamento de ruas, o que concentra parcela significativa do orçamento municipal. Assim, não há recursos suficientes destinados à drenagem urbana e ao redimensionamento das redes existentes. Ressaltam, inclusive, que não é permitido utilizar recursos orçamentários previstos para pavimentação em intervenções de drenagem. Como exemplo, citam o bairro das Indústrias, que vem passando por intenso processo de impermeabilização em decorrência do projeto de pavimentação, o que tem contribuído para o aumento de casos de acúmulo de água.

Acrescentam que o subdimensionamento das redes constitui o desafio mais complexo a ser enfrentado, uma vez que se trata de um sistema antigo, concebido para uma configuração urbana distinta da atual. O crescimento da cidade e a expansão das áreas impermeáveis têm agravado esse cenário. Ainda assim, informam que intervenções de redimensionamento vêm sendo realizadas em alguns pontos críticos.

Segundo os entrevistados, o trabalho atual concentra-se na manutenção permanente das redes, por meio de ações de desobstrução e retirada de resíduos e sedimentos. Citam como exemplos a Rua Sérgio Guerra, no bairro dos Bancários, e a Avenida Sanhauá, nas proximidades da estação ferroviária, locais que historicamente registram episódios de alagamento. Embora ainda existam ocorrências nessas áreas, observou-se redução no tempo de permanência da água acumulada, atribuída às ações de manutenção.

Por fim, afirmam que, em grande parte do município, a infraestrutura convencional seria suficiente para lidar com episódios de chuva de intensidade média. Contudo, a falta de educação ambiental por parte da população compromete o

desempenho do sistema, uma vez que as manutenções frequentemente se concentram na retirada de resíduos sólidos das tubulações.

Observa-se a existência de um conflito entre o processo de expansão urbana — especialmente no que se refere à pavimentação — e a capacidade do sistema de drenagem. Ambos os entrevistados reconhecem que a infraestrutura convencional, de forma isolada, não é suficiente para responder às demandas atuais, evidenciando a necessidade de soluções complementares e abrindo espaço para a adoção de novas estratégias.

Soluções Baseadas na Natureza

E1 e E2 afirmaram possuir conhecimento sobre os conceitos de SbN e IV. Segundo eles, tais abordagens já são empregadas nos Parques Lineares Parahyba, os quais foram projetados, entre outras funções, para atuar como áreas inundáveis em episódios de chuvas intensas, a exemplo do evento ocorrido em agosto de 2025.

Os entrevistados concordam que essas estratégias são capazes de contribuir para a redução dos impactos associados às inundações, especialmente por meio da implantação de parques alagáveis. Informaram ainda que estão previstas intervenções no Complexo Beira-Rio com a adoção dessas soluções, incluindo a criação de áreas inundáveis. Nesse contexto, destacaram que, após a remoção de famílias residentes às margens dos rios, as áreas anteriormente ocupadas poderão ser convertidas em espaços com função de amortecimento de cheias.

Contudo, ressaltaram que a limitação de recursos financeiros constitui um entrave para a ampliação dessas iniciativas, especialmente no que se refere à adoção de modelos ainda pouco difundidos no município. Acrescentaram que a elevada taxa de ocupação urbana dificulta a implantação de projetos que demandem grandes extensões territoriais. Como alternativas, defendem a instalação de coletores suspensos — principalmente em áreas comerciais — e o fortalecimento de ações de educação ambiental, com vistas à conscientização da população quanto ao descarte adequado de resíduos sólidos.

Os entrevistados afirmaram não ter conhecimento de outras tipologias implementadas em João Pessoa, além dos parques alagáveis. Destacaram que as principais dificuldades para a ampliação dessas soluções estão relacionadas aos custos de implantação — uma vez que não há dotação orçamentária específica para essa finalidade — e à aceitação social. Nesse sentido, enfatizaram a necessidade de um trabalho

articulado entre o poder público e a sociedade, considerando que o êxito e a legitimidade dessas iniciativas dependem do apoio e da colaboração da população.

Nesse contexto, um dos pontos críticos evidenciados nas entrevistas é o conflito entre políticas de pavimentação e capacidade de drenagem. Quando o orçamento prioriza o calçamento das vias sem exigir melhorias na rede de drenagem, ocorre aumento da impermeabilização do solo e, como consequência, maior geração de escoamento superficial. Esse descompasso evidencia um problema estrutural: a drenagem urbana ainda não está devidamente integrada ao planejamento urbano e ao orçamento municipal.

Além disso, o reconhecimento do subdimensionamento das redes, especialmente em bairros antigos, confirma que a infraestrutura convencional foi projetada para uma realidade urbana distinta da atual. A manutenção constante tem reduzido o tempo de permanência da água em alguns pontos, mas não resolve a limitação estrutural do sistema.

Somado a isso, os entrevistados enfatizam fortemente a questão do descarte inadequado de resíduos sólidos como principal desafio, comprovando que o problema não é apenas hidráulico, mas também social e educacional.

Quanto à percepção sobre SbN, é positiva, mas limitada. Os entrevistados associam principalmente essas soluções aos parques alagáveis, demonstrando que o conceito está parcialmente incorporado, mas ainda restrito a intervenções de maior escala. Não há, por exemplo, menção a tipologias descentralizadas, como jardim de chuva, o que sugere que a abordagem ainda não está integrada ao cotidiano da gestão urbana.

Embora exista reconhecimento conceitual da importância dessas medidas, sua efetiva implementação depende de diversos fatores, como a institucionalização por meio de normas específicas e a devida previsão orçamentária.

As considerações de Silveira *et al.* (2025) acerca da adoção de medidas sustentáveis pela gestão pública brasileira no manejo de águas pluviais urbanas indicam que as limitações observadas não se restringem a um contexto específico, mas se repetem em diferentes regiões do país, como Sul e Sudeste. Embora se observe avanço na incorporação das SbN como alternativa complementar às estratégias tradicionais, persistem entraves relacionados à sua implementação efetiva em áreas urbanas.

Entre os principais desafios destaca-se a ausência de uma abordagem verdadeiramente integrada nos documentos orientadores, desconsiderando a complexidade do ambiente urbano e as especificidades técnicas de cada tipologia adotada. Tal lacuna compromete o desempenho e a eficácia dessas intervenções. Diante disso, os autores defendem maior comprometimento institucional com o desenvolvimento de

metodologias, diretrizes técnicas e inovações tecnológicas capazes de ampliar a eficiência e a aplicabilidade das SbN em diferentes realidades urbanas.

Já o estudo de Rodrigues (2021), ao analisar as oportunidades e os desafios da implantação de SbN no contexto urbano para mitigação de impactos hidrológicos, enfatiza que o êxito dessas estratégias está diretamente associado à articulação institucional e ao suporte técnico-científico das universidades. A pesquisa evidencia que fragilidades na administração pública — sobretudo quanto à integração entre diferentes secretarias e à ausência de mecanismos consistentes de monitoramento e avaliação das medidas implantadas — configuram obstáculos relevantes à consolidação dessas soluções. Ademais, destaca-se o papel estratégico das instituições de ensino na mensuração de resultados, na avaliação da efetividade das intervenções e na difusão do conhecimento junto à sociedade.

Como encaminhamento, o estudo sugere a implementação experimental de soluções verdes em menor escala, com o envolvimento ampliado de diferentes pastas governamentais, como forma de reduzir resistências institucionais e aprimorar os processos de planejamento e execução.

Em síntese, os resultados das entrevistas indicam que o município tem avançado na organização institucional e na capacidade de resposta a eventos críticos, especialmente no âmbito emergencial e na manutenção preventiva. Contudo, persistem desafios estruturais relacionados ao subdimensionamento da rede, à limitação de recursos, à ausência de dados sistematizados e à necessidade de maior integração entre planejamento urbano e drenagem. Assim, evidencia-se a importância de fortalecer uma abordagem mais preventiva, técnica e integrada, que combine infraestrutura convencional SbN e ações de educação ambiental para ampliar a resiliência urbana.

6.3. CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Os resultados aqui apresentados estão organizados conforme a estrutura apresentada no fluxograma da Figura 26, seguindo as quatro etapas: diagnóstico do sistema atual; identificação de variáveis; construção dos cenários; e avaliação comparativa.

6.3.1. Diagnóstico do sistema atual

O Guia propõe que três etapas sejam realizadas para apresentar a situação atual das localidades analisadas: (i) a compreensão da situação ambiental atual, a partir da

análise de indicadores; (ii) o conhecimento das tipologias de SbN e dos serviços ambientais por elas prestados; e (iii) a seleção das tipologias mais compatíveis com a realidade municipal. A partir do cumprimento dessas etapas, tornou-se possível identificar as tipologias de SbN mais adequadas para aplicação nos trechos selecionados neste estudo.

6.3.1.1. Compreensão da situação ambiental atual

O mapeamento dos indicadores ambientais é essencial para subsidiar o planejamento urbano e orientar os processos de tomada de decisão, uma vez que permite identificar fragilidades, potencialidades e demandas específicas do território. Assim, para cada indicador analisado, foram elaborados dois mapas: o primeiro representa o indicador em sua forma bruta, refletindo a condição atual dos trechos estudados; e o segundo corresponde ao resultado da classificação desse indicador em intervalos qualitativos, de acordo com a prioridade e com o potencial de implantação da SbN que será selecionada.

Áreas com baixa cobertura vegetal

O primeiro indicador analisado refere-se às áreas de pouca presença de vegetação, que podem influenciar a qualidade da água escoada. A relevância desse indicador está associada ao processo de ocupação e adensamento construtivo, que tende a ampliar a extensão de superfícies impermeáveis, reduzindo a infiltração da água da chuva no solo.

Como consequência, a precipitação passa a ser interceptada e rapidamente direcionada aos sistemas de drenagem urbana, que, em geral, descarregam diretamente nos corpos hídricos urbanos. Esse escoamento superficial transporta elevadas cargas de poluentes acumulados nas superfícies urbanas, comprometendo significativamente a qualidade da água que chega aos rios das cidades. Assim, quanto maior a porcentagem de áreas impermeabilizadas, maior tende a ser a degradação da qualidade das águas pluviais escoadas.

A análise desse indicador evidencia a forte relação entre o padrão de ocupação urbana. O mapa de uso e ocupação do solo da Figura 18 aponta o alto nível de área urbanizada presente no bairro da Torre. Além disso, também demonstra a degradação dos processos hidrológicos naturais. Não se trata apenas de um problema quantitativo — associado ao aumento do volume e da velocidade do escoamento —, mas também qualitativo, uma vez que a água pluvial passa a atuar como vetor de contaminantes acumulados nas superfícies urbanas.

Conforme demonstrado por Silva (2000), o bairro da Torre passou por intensas transformações na paisagem urbana, com a substituição de tipologias residenciais tradicionais por edificações mais adensadas e a diversificação de usos. O estudo resgata o processo de formação do bairro, desde sua origem residencial até a consolidação como área mista, destacando mudanças na estrutura fundiária e no padrão construtivo. Esse processo, embora analisado sob a ótica morfológica e socioespacial, indica uma tendência de aumento da ocupação do solo, potencialmente associada à redução de áreas permeáveis intra-lote.

Nesse contexto, o bairro da Torre destaca-se pelo seu elevado grau de adensamento construtivo. De acordo com Coutinho (2004), esse processo remonta à expansão da cidade em direção à orla marítima, cujo traçado foi implementado na década de 1930, estruturando uma malha urbana que favorecia a ventilação e a conexão com vias já consolidadas. Aquino e Morais (2019) acrescentam que, por sediar um dos primeiros conjuntos habitacionais de João Pessoa, o bairro manteve, historicamente, forte predominância residencial.

As autoras também destacam que mudanças significativas nos usos do solo passaram a ocorrer a partir da implantação da Avenida Eptácio Pessoa, na década de 1970, período em que a cidade intensificou sua expansão em direção ao litoral. A partir desse momento, a Torre consolidou-se como importante subpolo comercial e de serviços, abrigando estabelecimentos voltados ao atendimento da população crescente das áreas adjacentes.

Conforme apresentado na Figura 28, verifica-se que quase toda a sua extensão está ocupada por edificações de uso comercial e residencial, além de áreas pavimentadas para circulação, reforçando um modelo altamente impermeável. Observa-se também a presença do rio Jaguaribe na porção sul, acompanhado por remanescentes da Mata do Buraquinho.

Figura 28. Áreas vegetadas observadas no bairro da Torre, em João Pessoa/PB.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Ainda assim, as áreas permeáveis são escassas, restringindo-se principalmente a praças públicas e a espaços privados, conforme constatado em imagens do Google Earth de 2024 a 2025 (Figura 29). Esses elementos não são suficientes para compensar o desequilíbrio hidrológico gerado pela ocupação consolidada. Esse contexto evidencia a necessidade de incorporar mais elementos vegetados ao tecido urbano, especialmente para benefícios coletivos.

Essas transformações seguem em andamento e refletem a dinâmica demográfica do bairro, evidenciada pela redução aproximada de 4% na população residente entre 2016 e 2017 (Lucena, 2017). Esse dado sugere um processo de reconfiguração funcional do território, no qual o uso estritamente residencial vem cedendo espaço a atividades comerciais e de serviços. Atualmente, a Torre consolida-se como um importante polo urbano, destacando-se pela concentração de centros médicos, mercados, estabelecimentos comerciais e empreendimentos ligados aos setores automobilístico e da construção civil (Lucena, 2017).

Verifica-se que, embora ainda existam áreas não edificadas, o bairro apresenta alta densidade de residências e edificações, o que implica a necessidade de áreas destinadas a estacionamento e intensifica a impermeabilização do solo.

Figura 29. Imagens da Praça Pedro Gondim; Praça Tiradentes; terreno privado e estacionamento, respectivamente.



Fonte: Google Earth (2025).

Considerando sua área total aproximada de 216 hectares, apenas cerca de 21 hectares correspondem a superfícies permeáveis (Figura 30), percentual insuficiente para contribuir de maneira efetiva para a mitigação de alagamentos recorrentes e da elevação das temperaturas urbanas. Assim, estima-se que o bairro possua taxa de áreas ocupadas superior a 60%, evidenciando a necessidade de ampliação de áreas vegetadas.

Figura 30. Áreas com maior e menor prioridade de implantação de áreas vegetadas



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Esse cenário sugere que o bairro já ultrapassou um limiar crítico de impermeabilização, no qual os serviços ecossistêmicos urbanos tornam-se insuficientes para mitigar alagamentos recorrentes e o aumento das temperaturas. Portanto, mais do que preservar as áreas ainda existentes, torna-se fundamental promover a requalificação do espaço urbano por meio da ampliação estratégica de áreas vegetadas e da implementação de SbN, capazes de restabelecer parcialmente as funções hidrológicas e melhorar a qualidade ambiental local.

O fato de apenas vinte e um hectares corresponderem a áreas permeáveis revela uma proporção limitada de superfícies capazes de promover infiltração, regulação térmica e retenção de poluentes. Santos *et al.* (2016), em seu estudo, analisam os principais impactos causados pelo processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Os autores observaram diversas intervenções mal planejadas, acompanhadas de ações como remoção da mata ciliar, ocupação das margens e realização de aterros.

Essas transformações, ao comprometerem a função ecológica das áreas ribeirinhas e reduzirem a capacidade natural de infiltração e amortecimento de cheias, contribuem diretamente para o aumento do escoamento superficial e da vulnerabilidade a eventos de inundação. Tal situação converge com os resultados da presente pesquisa, que apontam a insuficiência de áreas permeáveis como um dos fatores estruturais associados à sobrecarga do sistema de drenagem urbana. A redução das superfícies naturais, somada à ocupação desordenada e à ausência de estratégias integradas de planejamento hidrológico, reforça a necessidade de incorporar critérios mais rigorosos de controle da impermeabilização e de recuperação ambiental no planejamento urbano, especialmente em áreas inseridas em bacias hidrográficas sensíveis.

Densidade de alagamentos

A análise da densidade de alagamentos é fundamental para orientar a priorização de áreas que demandam intervenções em manejo de águas pluviais, como a implementação de SbN. Áreas com recorrência desses eventos tendem a apresentar maior vulnerabilidade hidrológica, devendo, portanto, ser tratadas como prioritárias no planejamento urbano. Nesse contexto, o indicador relaciona-se diretamente à proteção dos recursos hídricos e à mitigação dos impactos associados a eventos hidrológicos intensos. Para subsidiar essa avaliação, foram espacializados os pontos de alagamento registrados pela Defesa Civil municipal, a partir dos quais foram elaborados mapas de

densidade de ocorrências, permitindo identificar as áreas mais críticas e, conseqüentemente, mais adequadas para a implantação de SbN.

Essa análise é importante para o planejamento urbano porque ajuda a identificar as áreas mais vulneráveis e a direcionar as intervenções de forma mais eficiente. Essa leitura evita ações isoladas e permite priorizar locais onde os benefícios sociais e ambientais podem ser maiores.

No bairro da Torre, observou-se elevada concentração de trechos afetados, especialmente nos cruzamentos situados no entorno do Mercado Público da Torre, nas vias Barão de Mamanguape, Caetano Filgueiras, Carneiro da Cunha e Feliciano Dourado (Figura 31). Também foram identificados pontos críticos nos cruzamentos da Rua Juarez Távora com a Rua Santa Júlia e da Avenida Rui Barbosa com a Rua Manoel Deodato. De acordo com a Defesa Civil, a principal causa provável desses alagamentos está associada ao subdimensionamento do sistema de drenagem existente.

Figura 31. Pontos com histórico de alagamento no bairro da Torre, em João Pessoa/PB.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A concentração de ocorrências no entorno do Mercado da Torre evidencia a relação entre centralidade urbana, elevada impermeabilização e sobrecarga do sistema de drenagem. A recorrência dos alagamentos em cruzamentos estratégicos reforça que o problema não é apenas hidráulico, mas também funcional, pois afeta diretamente a

mobilidade, o comércio local e a dinâmica cotidiana do bairro. Quando eventos de alagamento comprometem eixos viários importantes, os impactos extrapolam a escala local e passam a afetar o sistema urbano como um todo.

Azevêdo (2020) destaca os transtornos dos alagamentos registrados nas imediações do Mercado da Torre, ressaltando os prejuízos causados tanto aos comerciantes quanto aos consumidores. Segundo a autora, os episódios recorrentes comprometem o funcionamento das atividades comerciais e geram transtornos à circulação de pessoas. Os comerciantes apontaram a insuficiência de investimentos em infraestrutura de drenagem, bem como a necessidade de maior conscientização da população quanto ao descarte adequado de resíduos sólidos nas vias públicas.

Os resultados reforçam as conclusões de Queiroga *et al.* (2024), que identificaram forte correlação entre o crescimento urbano e a ocupação de áreas suscetíveis à inundação em João Pessoa. Os autores destacam que a bacia do rio Jaguaribe deve ser tratada como área prioritária para intervenções voltadas à redução de impactos hidrológicos, devido à elevada sobreposição entre áreas urbanizadas e zonas naturalmente vulneráveis.

Da mesma forma, Miguel e Felix (2016) apontam a necessidade de políticas públicas específicas para enfrentar os problemas de alagamentos e inundações. Os autores defendem a integração de medidas estruturais e não estruturais, como a implantação de calçadas ecológicas para ampliar a infiltração da água no solo e projetos de arborização urbana eficientes, considerando que as árvores contribuem para a interceptação das chuvas, o aumento da infiltração e a melhoria do microclima urbano.

Lima e Filgueira (2018) também argumentam que o crescimento urbano da cidade não foi acompanhado pela infraestrutura adequada, destacando a ineficiência do sistema de microdrenagem, a ausência de manutenção sistemática e a carência de políticas voltadas à educação e sensibilização da população.

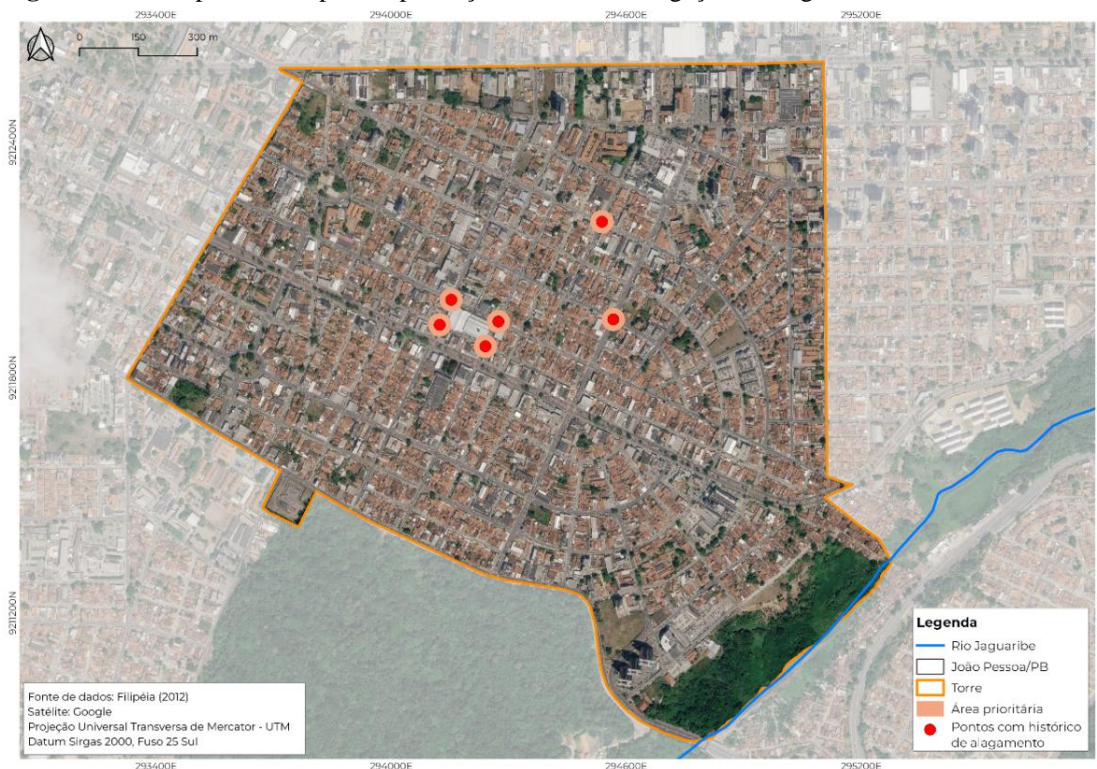
Barbosa (2015) destaca que a ocupação urbana sobre superfícies tabulares, planícies fluviais e áreas de encosta interfere diretamente na dinâmica geomorfológica local, ao modificar processos naturais como infiltração, escoamento superficial e estabilidade das vertentes. Em áreas de planície e baixa altitude, essas transformações tendem a intensificar a ocorrência de alagamentos e inundações, enquanto nas encostas podem favorecer processos erosivos e movimentos de massa. Nesse sentido, os problemas de alagamento não estão associados apenas às limitações da infraestrutura de drenagem existente, mas também às características físicas do relevo.

No caso do bairro da Torre, observa-se uma elevada suscetibilidade à ocorrência de alagamentos em função de sua topografia e da presença de declividades relativamente baixas. A reduzida inclinação do terreno dificulta o escoamento superficial eficiente, retardando a drenagem natural das águas pluviais e aumentando o tempo de permanência da lâmina d'água nas vias e áreas urbanizadas. Somado a isso, o intenso processo de urbanização e o elevado grau de impermeabilização do solo reduzem significativamente a capacidade de infiltração, ampliando o volume de escoamento superficial que converge para as áreas mais baixas do bairro.

Em síntese, os estudos convergem ao indicar que os problemas de drenagem urbana em João Pessoa não decorrem apenas de fatores naturais, mas sobretudo de um processo de urbanização dissociado do planejamento hidrológico. Assim, evidencia-se a urgência na formulação e implementação de políticas públicas específicas para drenagem urbana, aliadas a medidas educativas voltadas à conscientização sobre o descarte adequado de resíduos sólidos e à preservação dos sistemas de drenagem existentes, de modo a promover uma gestão mais preventiva e integrada.

Em continuidade, foram delimitadas as áreas de maior prioridade para a implantação de SbN destinadas à mitigação desses impactos. Para isso, definiu-se um buffer de 20 metros no entorno dos pontos críticos de alagamento, representando sua área de influência direta (Figura 32). Como esses pontos estão situados, em sua maioria, em cruzamentos de avenidas, os alagamentos comprometem significativamente o tráfego de veículos, gerando transtornos à mobilidade urbana e impactos na dinâmica cotidiana do bairro.

Figura 32. Áreas prioritárias para implantação de SbN na mitigação de alagamentos no bairro Torre.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O subdimensionamento da rede confirma que a infraestrutura convencional não acompanha o atual padrão de ocupação e impermeabilização. A definição de áreas prioritárias de intervenção permite associar dados empíricos de ocorrências a critérios espaciais objetivos, favorecendo a implementação direcionada de SbN. A adoção de SbN nesses trechos pode atuar de forma complementar à infraestrutura existente, promovendo retenção, infiltração e retardamento do escoamento antes que ele atinja os pontos de sobrecarga.

Em estudo realizado em um bairro da área central de João Pessoa, Carvalho *et al.* (2025) destacam o potencial de incorporar a infraestrutura verde, por meio de SbN, para promover maior resiliência ambiental e social e reforçar a centralidade urbana do local. Os autores apontam que intervenções como jardins de chuva, biovaletas e pavimentos permeáveis contribuem para a mitigação de alagamentos e para a redução das ilhas de calor, tornando o bairro mais funcional, atrativo e confortável para seus usuários. Adicionalmente, a introdução de vegetação associada à criação de espaços de convivência favorece a interação social, fortalece a identidade local e contribui para a construção de um ambiente urbano mais saudável e sustentável.

6.3.1.2. Conhecimento das tipologias de SbN e dos serviços ambientais

Foram selecionadas algumas SbN com o objetivo de aprofundar sua conceituação e exemplificá-la por meio da análise de casos implementados em diferentes regiões. Embora o Quadro 7 apresente informações preliminares sobre tipologias aplicáveis à escala local, estas serão descritas e analisadas quanto à sua definição e funcionalidade, com vistas ao aprofundamento conceitual. Os serviços ambientais aqui empregados baseiam-se na Avaliação Ecológica do Milênio (AEM)⁶, utilizada pelo Guia, que os classifica em quatro categorias: provisão, regulação, culturais e de suporte (Figura 33).

Figura 33. Categorias de serviços ambientais.



Fonte: AEM (2003).

⁶ Programa internacional voltado a fornecer informações científicas que subsidiem a tomada de decisões e a conscientização pública sobre os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas e no bem-estar humano (AEM, 2005).

Ruas Verdes

Também denominadas *caminhos verdes*, essas ruas caracterizam-se pela elevada presença de arborização ao longo de sua extensão (Figura 34). De modo geral, a circulação viária é mais restrita, priorizando o deslocamento de pedestres e ciclistas, com ausência ou limitação do tráfego de veículos pesados. A arborização deve dar preferência à vegetação nativa, que promova a biodiversidade urbana, respeitando as condições e especificidades de cada local (Herzog; Rosa, 2010). Essa tipologia desempenha as quatro categorias de serviço ambiental mencionadas na Figura 33: provisão (oferta de frutos, raízes e água); regulação (redução do escoamento superficial, diminuição da perda de solo e melhoria da qualidade do ar); cultural (recreação, promoção da saúde física e mental, valorização dos imóveis, etc.); e suporte (manutenção da diversidade genética).

Figura 34. Áreas verdes estratégicas, em via pública.



Fonte: Simões (2022).

Além do adensamento arbóreo, as ruas verdes podem incorporar outros elementos de infraestrutura verde, tais como canteiros pluviais, pavimentos permeáveis, biovaletas e travessias de pedestres seguras e devidamente sinalizadas, entre outros dispositivos voltados à qualificação do espaço urbano. No que se refere ao manejo de águas pluviais, essas intervenções contribuem para a redução do escoamento superficial durante eventos de chuva, além de diminuir a carga de poluição difusa proveniente de superfícies impermeabilizadas (Herzog; Rosa, 2010).

A maior parte dos benefícios associados às ruas verdes decorre dos serviços ecossistêmicos prestados pela arborização, tais como a melhoria da qualidade do ar, a

captura e o sequestro de carbono, o sombreamento, o aumento da umidade relativa do ar por meio da evapotranspiração, o incremento da capacidade de infiltração das águas pluviais, a mitigação das ilhas de calor urbano e a atenuação dos níveis de ruído (Horn *et al.*, 2024).

Adicionalmente, as ruas verdes proporcionam benefícios complementares, como a conexão de corredores ecológicos para a microfauna entre fragmentos de vegetação, parques e praças; a amenização do microclima urbano; o estímulo à mobilidade ativa e de baixo impacto ambiental; a valorização dos espaços urbanos; e o fortalecimento de ações de educação ambiental (Horn *et al.*, 2024).

Agricultura Urbana

Consideradas uma tipologia de SbN, as *hortas comunitárias* ou *hortas urbanas* baseiam-se em conhecimentos tradicionais e contribuem para o fortalecimento da conexão das pessoas com o alimento, principalmente em contextos de maior vulnerabilidade social (Figura 35). No ambiente urbano, as práticas agrícolas associadas a essas iniciativas favorecem o aumento da biodiversidade, a melhoria do microclima, a conectividade da paisagem e a redução do risco de enchentes, além de contribuírem para a diminuição da sobrecarga dos sistemas de drenagem pluvial e da poluição difusa das águas (Mesquita, 2019).

Figura 35. Terrenos baldios públicos usados para cultivo de hortas e pequenas lavouras.



Fonte: Gueto (2019).

O principal benefício das hortas urbanas consiste na transformação de áreas verdes em espaços produtivos, ao mesmo tempo em que promovem o resgate da relação do cidadão com a produção e o consumo de alimentos. Essas iniciativas podem ser implantadas em espaços residuais, áreas não ocupadas, bem como em fachadas e coberturas verdes, apresentando diferentes escalas e configurações. Podem assumir caráter comunitário ou privado, sendo recomendável a adoção de práticas de cultivo sem o uso de agrotóxicos. Ademais, as hortas urbanas atuam nos processos de purificação da água — por meio de filtração e absorção biológica —, bem como na detenção, condução e infiltração das águas pluviais (Souza *et al.*, 2023).

Ela desempenha todas as categorias de serviço ambiental: provisão (oferta de frutos, raízes e água); regulação (redução do escoamento superficial, diminuição da perda de solo e melhoria da qualidade do ar); cultural (promoção da saúde física e mental, convívio social e cultural e diminuição da vulnerabilidade social); e suporte (manutenção da diversidade genética).

O Segundo Diálogo sobre SbN apresenta como estudo de caso a cidade de Lisboa, em Portugal. O estudo indica que a capital portuguesa perdeu cerca de um terço de seus residentes em decorrência de um processo de expansão urbana descontrolado, o que contribuiu para a degradação da qualidade de vida. Entre os principais desafios identificados estavam o agravamento do efeito de ilha de calor urbana, a ocorrência de inundações, a poluição atmosférica e a distribuição desigual de áreas verdes (Herzog e Rozado, 2020).

Como resposta a esse cenário, Lisboa passou a investir na regeneração urbana integrada a uma estratégia mais ampla de valorização territorial, voltada ao fortalecimento do potencial turístico e da atratividade da cidade. Foi estruturado um plano de desenvolvimento ecológico direcionado a áreas específicas, com ênfase na preservação do patrimônio natural, florestal, agrícola e cultural. No processo de requalificação de vazios urbanos, foram implantados 16 lotes de hortas comunitárias, como a Quinta da Granja, os Jardins de Campolide e o Parque Hortícola de Chelas — considerado o maior parque de horticultura projetado na Europa. Além de promoverem biodiversidade e inclusão social, essas iniciativas incorporam práticas voltadas à eficiência no uso da água e da energia.

Outro eixo relevante foi o programa “Uma praça em cada bairro”, que buscou melhorar o conforto bioclimático e ampliar a biodiversidade urbana por meio da substituição de infraestruturas predominantemente cinzentas por áreas verdes,

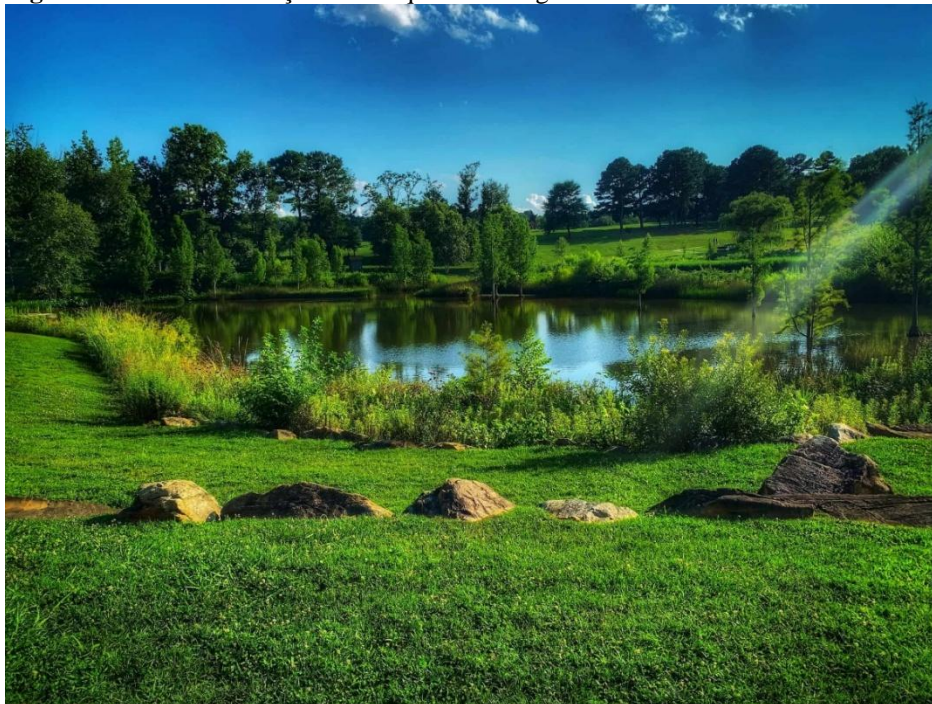
pavimentos mais permeáveis e arborização viária, inclusive em importantes avenidas centrais. Complementarmente, foram implantados nove corredores verdes, contribuindo tanto para a adaptação quanto para a mitigação das mudanças climáticas, além de favorecer a retenção natural da água e o restabelecimento de processos do ciclo hidrológico urbano.

Como resultado dessas ações, uma antiga zona industrial degradada foi convertida em aproximadamente 110 hectares de áreas verdes, por meio de um processo de requalificação baseado em princípios de urbanização sustentável. Esse caso evidencia como as SbN podem atuar de forma sistêmica, integrando diversas dimensões. As intervenções não se limitaram à ampliação de áreas verdes, mas buscaram reestruturar a lógica de ocupação e o funcionamento da cidade, enfrentando problemas climáticos, hidrológicos e socioespaciais. A criação de corredores verdes e a adoção de soluções permeáveis, por exemplo, demonstram uma mudança de paradigma, ao substituir estratégias puramente estruturais por abordagens que imitam processos naturais.

Bacia de retenção

Também chamadas de *lagoas pluviais*, essas estruturas destinam-se ao armazenamento temporário de águas de chuva, mantendo uma lâmina de água permanente. Essa característica as distingue das bacias de detenção, que se esvaziam por completo (Figura 36). São amplamente empregadas em áreas rurais para fins agropecuários e, no contexto da drenagem urbana, contribuem para a redução do pico de escoamento, adequando-o à capacidade do corpo receptor (Lima *et al.*, 2006).

Figura 36. Bacia de retenção em Parque de Portugal.



Fonte: Mathidro, 2010.

No contexto da drenagem urbana, a implantação dessas bacias, além de reduzir o pico de escoamento — ao reter a água durante eventos chuvosos mais intensos e liberá-la gradualmente para minimizar enchentes e impactos a jusante —, apresenta outras vantagens. Entre elas, destacam-se a diminuição da carga de poluentes no escoamento, por meio da retenção e filtração de contaminantes, o controle da erosão, a valorização paisagística, a criação de áreas de lazer e recreação, bem como a recarga de aquíferos pela promoção da infiltração da água (Matias, 2006).

Ela desempenha as categorias de serviço ambiental de regulação (manejo de água de chuva, redução do escoamento superficial, mitigação de eventos hídricos extremos e melhoria da qualidade do ar) e culturais (recreação, promoção da saúde física e mental e convívio social e cultural). As principais desvantagens incluem a necessidade de grandes áreas de terreno e os altos custos de manutenção.

Interseção viária

São ilhas de distribuição de trânsito viário com áreas vegetadas em seu interior (Figura 37). Suas funções vão além da organização viária, além de serem utilizadas para diminuir a velocidade de circulação de veículos e dar mais segurança a pedestres e ciclistas, podem ser aproveitadas para benefícios ambientais (coletando águas das chuvas, para o plantio de espécies nativas, proporcionando habitat para a microfauna, controlando

a erosão do solo, amenizando a temperatura), conforto psicológico (presença de natureza reduz o estresse) e estética e identidade (melhorando o aspecto visual da paisagem, contribuindo para o paisagismo rodoviário e a identidade regional) (Herzog; Rosa, 2010).

Para essa estrutura, destaca-se uma categoria de serviço ambiental: regulação, atuando na redução do escoamento superficial, no aumento da drenagem natural, na diminuição da sobrecarga do sistema de drenagens convencionais, no aumento da área filtrante, na descompactação do solo e na manutenção da fertilidade do solo.

Figura 37. Interseção viária vegetada.



Fonte: Portal do Trânsito (2024).

Pavimento Permeável

Também denominados *pavimentos porosos* ou *drenantes*, esses dispositivos constituem uma solução eficaz para a redução da impermeabilização das superfícies urbanas, uma vez que possibilitam a infiltração das águas pluviais no solo (Figura 38). Seu funcionamento baseia-se no controle do volume de água que passaria a escoar superficialmente, permitindo a percolação da água da chuva através de sua estrutura, o que contribui para a diminuição do escoamento superficial tanto no local de implantação quanto em áreas adjacentes (Frois, 2024).

Essa SbN desempenha duas categorias de serviço ambiental mencionadas na Figura 33: regulação (redução do escoamento superficial, diminuição da sobrecarga do sistema de drenagem convencional, aumento da área filtrante, mitigação de eventos hídricos extremos, etc.) e suporte (manutenção da diversidade genética).

Figura 38. Tipos de pavimentos permeáveis.



Fonte: Aguiar (2022).

O principal benefício dos pavimentos permeáveis está associado à gestão das águas pluviais, atuando nos processos de filtração e infiltração no solo, com consequente redução do escoamento superficial e da ocorrência de alagamentos. Essas soluções podem ser aplicadas em diferentes espaços urbanos, como calçadas, ciclovias, vias de baixo tráfego, estacionamentos, pátios, parques e praças (Herzog; Rosa, 2010).

Entre as principais tipologias de pavimentos permeáveis, destacam-se o asfalto poroso — composto por revestimento contínuo de asfalto ou concreto permeável —, os blocos intertravados ou modulares, formados por blocos de concreto ou pedras com juntas preenchidas por material granular ou vegetação, bem como o uso de materiais tradicionais, como paralelepípedos, quando associados a soluções que favoreçam a infiltração (Frois, 2024).

Canteiro Pluvial

São uma modalidade de jardins de chuva, mas de pequena escala, geralmente implantados em cotas mais baixas do terreno, podendo ser integrados a vias públicas ou edificações, com a finalidade de receber e tratar o escoamento superficial proveniente de áreas impermeabilizadas (Herzog; Rosa, 2010). Essas estruturas são projetadas para promover o manejo descentralizado das águas pluviais, por meio de processos como

infiltração, filtração e retenção temporária do volume escoado (Figura 39). Exerce três categorias de serviço ambiental: regulação (redução do escoamento superficial, aumento da drenagem natural, mitigação de eventos hídricos extremos, etc.); cultural (experiência natural, valorização dos imóveis e melhoria estética das cidades); e suporte (manutenção da diversidade genética).

Figura 39. Canteiro pluvial utilizado em via asfaltada para auxiliar no escoamento superficial.



Fonte: Martin (2011).

No contexto da drenagem urbana sustentável, esses canteiros desempenham papel fundamental ao captar e retardar o escoamento das águas pluviais, favorecendo sua infiltração no solo e reduzindo a carga hidráulica direcionada aos sistemas convencionais de drenagem, o que contribui para a mitigação de alagamentos e enchentes. Além disso, esses dispositivos auxiliam na remoção de nutrientes e poluentes por processos físicos e biológicos, promovem a recarga do lençol freático e favorecem o incremento da biodiversidade urbana. Destacam-se ainda seus benefícios microclimáticos, como a moderação das ilhas de calor, o aumento da evapotranspiração e a contribuição para a captura de carbono, fortalecendo a resiliência dos ambientes urbanos (Oliveira, 2023).

O Segundo Diálogo sobre SbN também apresenta experiências brasileiras, entre elas o caso de Benevides, no Pará. Benevides é uma cidade industrial, integrante da Região Metropolitana de Belém, e abriga uma iniciativa de caráter privado voltada ao tratamento de efluentes industriais e sanitários da fábrica de cosméticos *Natura*. A solução adotada consistiu na implantação de um jardim filtrante, denominado *Ecoparque*

Natura, projetado para responder simultaneamente a múltiplas demandas ambientais no mesmo espaço (Figura 40).

Figura 40. Jardins filtrantes da fábrica de cosméticos na região metropolitana de Belém/PA.



Fonte: Herzog e Rozado, 2020.

O projeto foi desenvolvido em 2012 e implementado em 2013, mantendo-se eficiente desde então, com capacidade para tratar diariamente cerca de 132 m³ de efluentes sanitários. O sistema conta com manutenção semanal, especialmente devido ao rápido crescimento da vegetação em condições climáticas favoráveis. Após o tratamento, os efluentes são conduzidos a um curso d'água próximo.

Essa estação de tratamento inovadora integra o processo de depuração das águas à estética de um jardim, conciliando funcionalidade ambiental e qualidade paisagística. Além de promover a melhoria da qualidade da água, o espaço proporciona um ambiente agradável para descanso e contemplação, contribuindo também para o aumento da biodiversidade local. Em cinco anos de operação, as análises indicaram que os parâmetros de qualidade da água tratada superaram os usualmente alcançados por estações convencionais de tratamento de esgoto, evidenciando o potencial das SbN como alternativa eficiente e multifuncional (Herzog e Rozado, 2020).

O caso de Benevides demonstra o potencial das SbN também como alternativa eficiente para o tratamento de efluentes em áreas industriais. Ao associar a depuração da água à qualificação paisagística, o projeto evidencia a multifuncionalidade dessas soluções, que aliam desempenho técnico, valorização ambiental e promoção da biodiversidade. Além disso, os resultados superiores aos sistemas convencionais reforçam a viabilidade das SbN como estratégia sustentável e competitiva no setor privado.

6.3.1.3. Seleção dos tipos de SbN apropriados à realidade local

A Matriz de Correlação foi elaborada a partir do agrupamento das tipologias aplicáveis à escala local, considerando seu potencial de contribuir para o aprimoramento de funções ambientais essenciais à manutenção da qualidade de vida, tais como a proteção dos recursos hídricos, o bem-estar da população, a biodiversidade e o equilíbrio ambiental (Quadro 8). Conforme mencionado anteriormente, foi adotada uma escala de avaliação para identificar o potencial de cada SbN na provisão desses serviços ambientais, na qual (-) indica não aplicável, (+) corresponde a menor potencial e (++) a maior potencial.

Quadro 8. Matriz de correlação entre soluções baseadas na natureza e serviços ambientais.

Funções e serviços ambientais x SbN (escala local)	Proteção dos Recursos Hídricos			Equilíbrio Ambiental	
	Manutenção da vazão hídrica	Mitigação de eventos hídricos	Melhoria da qualidade da água	Redução do efeito de ilhas de calor	Melhoria da qualidade do ar
Ruas Verdes	+	+	++	++	+
Agricultura Urbana	+	+	+	+	+
Bacia de Retenção	++	++	++	+	++
Canteiro Pluvial	+	++	+	+	+
Pavimento Permeável	++	++	++	+	-
Interseção Viária	+	+	+	+	+
Funções e serviços ambientais x SbN (escala local)	Bem-estar humano		Biodiversidade		
	Recreação, saúde física e mental	Diminuição da vulnerabilidade social	Manutenção de habitat	Manutenção da diversidade genética	
Ruas Verdes	+	+	+	++	
Agricultura Urbana	++	+	-	-	
Bacia de retenção	+	+	-	-	
Canteiro Pluvial	+	+	-	-	
Pavimento Permeável	-	-	-	-	
Interseção Viária	+	-	-	-	

Fonte: Baseado em IPT/SP (2020). Adaptado pela autora (2025).

A matriz de correlação sistematiza os serviços ambientais associados a cada tipologia de SbN, permitindo avaliar seus benefícios e limitações de forma integrada. As ruas verdes, por exemplo, apresentam múltiplos benefícios, especialmente no que se refere à melhoria da qualidade da água e à mitigação das ilhas de calor, em função de sua principal característica, a elevada arborização. Entretanto, essa tipologia não se mostra a mais adequada para aplicação em trechos com elevado grau de adensamento e intensa ocupação do espaço, uma vez que a circulação viária nesses locais é mais restrita, o que

pode comprometer o tráfego de determinados veículos. Situação semelhante ocorre com as bacias de retenção, cuja implantação demanda grandes áreas disponíveis, o que limita sua viabilidade no contexto do trecho analisado nesse estudo.

Diante desse cenário e considerando os trechos analisados — caracterizados pelo elevado grau de adensamento construtivo, elevado grau de impermeabilização e topografia predominantemente plana —, bem como o objetivo do estudo, que é propor medidas complementares à infraestrutura de drenagem existente, optou-se por avaliar a aplicação de duas tipologias de SbN: sistemas de pavimentação permeável e canteiros pluviais.

Os autores abordados na revisão de literatura do capítulo três defendem e estudam diversos exemplos de SbN aplicadas para gestão de águas pluviais, mas dão ênfase a telhados verdes, paredes verdes e pavimentos permeáveis. Vários autores discutiram políticas de incentivo à implementação de telhados e paredes verdes (Alves *et al.*, 2020; Berland *et al.*, 2017; Escobedo *et al.*, 2019). Alguns incentivos identificados incluíram redução de impostos, isenção de alvarás de construção e certificação de sustentabilidade.

Embora seja um modelo bem fundamentado e pertinente, os alagamentos observados na área estão associados principalmente ao subdimensionamento da rede de drenagem, ou seja, trata-se de problemas concentrados no nível da rua.

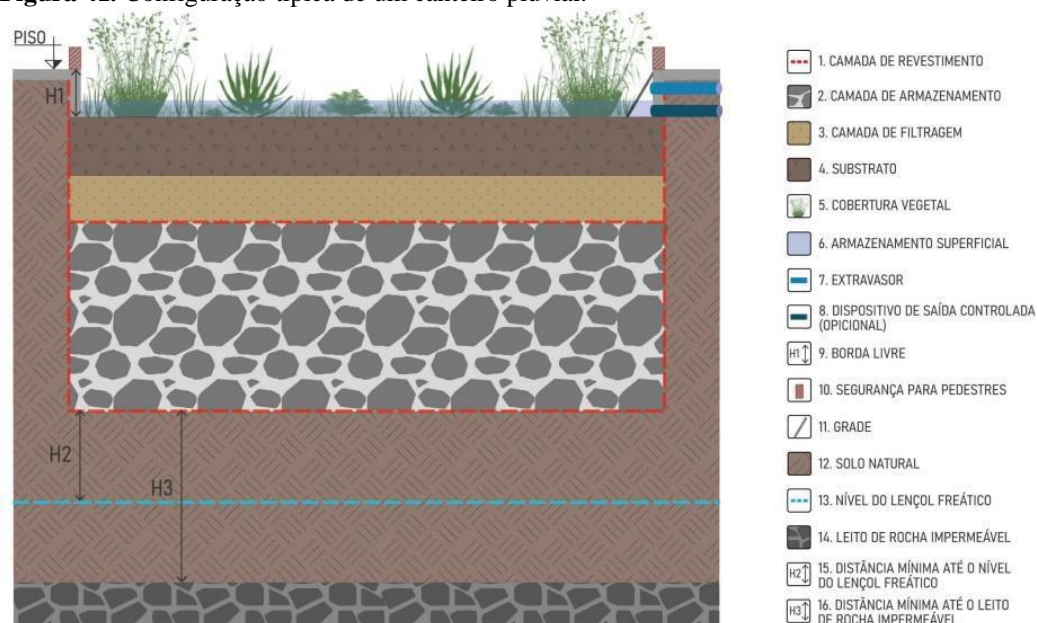
Telhados e paredes verdes atuam na retenção e no retardamento do escoamento na escala do lote ou da edificação, contribuindo para a redução do volume lançado na rede. Em um ponto crítico já consolidado e altamente impermeabilizado, a intervenção isolada em uma edificação tende a ter impacto limitado na mitigação imediata do problema.

A escolha dessas tipologias fundamenta-se em sua maior adequação a áreas urbanas consolidadas e na possibilidade de integração à infraestrutura existente, sem demandar grandes extensões territoriais. As medidas selecionadas atuam diretamente na escala do problema — o nível da rua — interceptando o escoamento superficial antes que ele sobrecarregue a rede de drenagem (Maruyama; Franco, 2016). Além disso, podem ser implantadas em espaços públicos estratégicos e mostram-se compatíveis com áreas densamente ocupadas (Vasconcellos *et al.*, 2023).

Outro aspecto relevante é a viabilidade de sua modelagem no SWMM, o que permite demonstrar seu potencial na redução do escoamento superficial e na melhoria do desempenho do sistema de drenagem. Ademais, essas soluções também contribuem para a provisão de múltiplos serviços ambientais, conforme apresentado no Quadro 8.

Nesse contexto, os canteiros pluviais, como mencionado anteriormente, são uma variante de jardins de chuva, mas de menor escala. São estruturas em forma de trincheira, com vegetação e camadas de solo nas quais o escoamento superficial é armazenado e infiltrado (Silveira *et al.*, 2025). Consiste em uma intervenção de microdrenagem dimensionada para um escoamento laminar. Essa técnica possui um perfil de solo modificado para aumentar a porosidade, com uma configuração típica (Figura 41) com alguns componentes principais como camada de solo, camada de drenagem, vegetação e canal de entrada/saída de água (Silveira *et al.*, 2025).

Figura 41. Configuração típica de um canteiro pluvial.



Fonte: Silveira *et al.*, 2025.

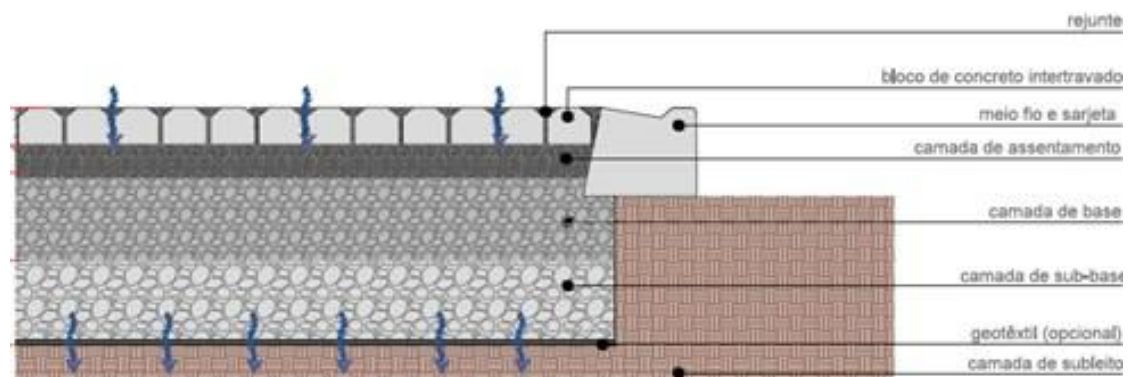
De modo geral, em projetos padrão, a profundidade da lâmina de acumulação situa-se entre 10 e 30 cm, podendo armazenar aproximadamente 4.000 litros apenas na superfície. Além disso, considerando a porosidade do solo drenante — que normalmente varia entre 20% e 40% —, é possível reter cerca de 3.000 litros adicionais no interior do sistema. Assim, um canteiro pluvial com área entre 15 e 25 m² apresenta capacidade total de armazenamento que, em média, varia de 3.000 a 8.000 litros, a depender das características construtivas e do solo (Vasconcellos *et al.*, 2023).

O pavimento permeável baseia-se na infiltração imediata da água da chuva para o interior de sua estrutura, podendo ocorrer de forma distribuída — por meio de revestimentos porosos — ou de maneira localizada, com o uso de drenos laterais ou bocas de lobo (Suzuki *et al.*, 2014).

Esse tipo de pavimento compreende toda a sua estrutura, desde a camada de revestimento até a sub-base. O revestimento corresponde apenas à superfície visível, enquanto a sub-base inclui tanto a função estrutural quanto a camada reservatória responsável pelo armazenamento temporário da água. Assim, um pavimento pode ser considerado permeável mesmo quando apresenta revestimento superficial impermeável, desde que possua uma sub-base com capacidade de infiltração e armazenamento (Maruyama e Franco, 2016).

Um exemplo é o pavimento de revestimento modular, no qual a infiltração ocorre pelas juntas entre as peças (Figura 42). Esse sistema é composto por blocos pré-fabricados de concreto convencional ou por blocos vazados, cujos espaços podem ser preenchidos com material granular, como areia, ou com cobertura vegetal rasteira, como grama.

Figura 42. Seção de pavimento modular.



Fonte: Maruyama e Franco, 2016.

O pavimento com revestimento modular, como o piso intertravado, é composto por estruturas rígidas que apresentam cerca de 30% de vazios, geralmente preenchidos com materiais permeáveis, como pedrisco. Sua execução ocorre sobre uma camada de pedra britada, enquanto a camada superficial pode ser constituída por tijolos, placas de granito ou blocos de concreto pré-moldado. Nesse tipo de sistema, o concreto não é poroso; a infiltração da água ocorre pelas juntas existentes entre os blocos (Tomaz, 2011).

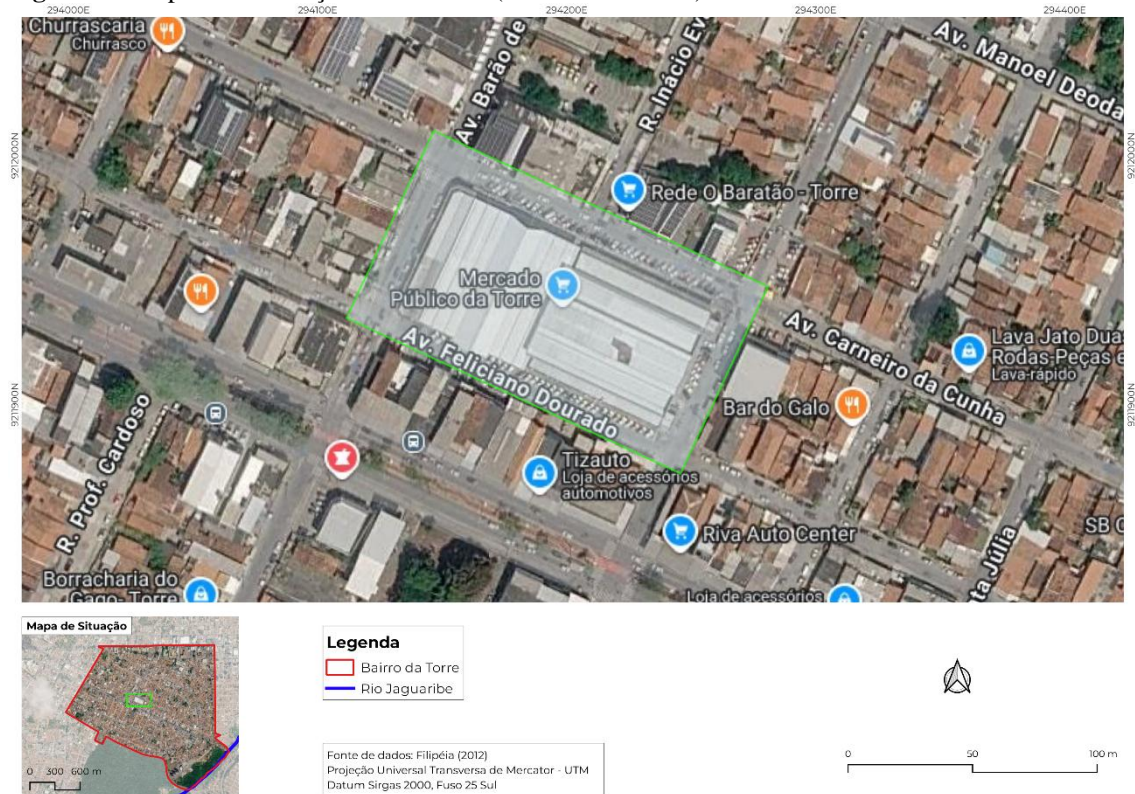
Em projetos de infraestrutura verde, recomenda-se o uso de blocos de concreto devido à maior regularidade da superfície e ao bom desempenho hidráulico. Esse tipo de revestimento apresenta coeficiente de escoamento em torno de 0,03, o que significa que permite a infiltração de aproximadamente 97% da água incidente. Para as juntas, recomenda-se o uso de pedrisco com diâmetro entre 2 mm e 6,3 mm, podendo-se adotar juntas mais largas a fim de ampliar a capacidade de infiltração no solo (Maruyama e Franco, 2016).

6.3.2. Identificação de variáveis

As simulações hidrológico-hidráulicas realizadas no SWMM consideraram três situações para cada trecho analisado: situação atual (sem SbN), aplicação de pavimento permeável e aplicação de canteiro pluvial.

O Trecho 1 (Figura 43) apresentou o maior volume acumulado entre os três trechos, reflexo de sua maior área contribuinte (7165,9 m²). Na situação atual, o volume máximo foi de 2,23 m³ e a lâmina máxima (ou altura máxima) de 0,06 m, enquanto o tempo de esvaziamento foi de 1h37 min. É importante mencionar que a lâmina máxima de 6 cm, embora não represente alagamento profundo, evidencia acúmulo superficial significativo quando se consideram a recorrência do evento e a condição de entupimento.

Figura 43. Mapa de localização do Trecho 1 (Mercado da Torre).



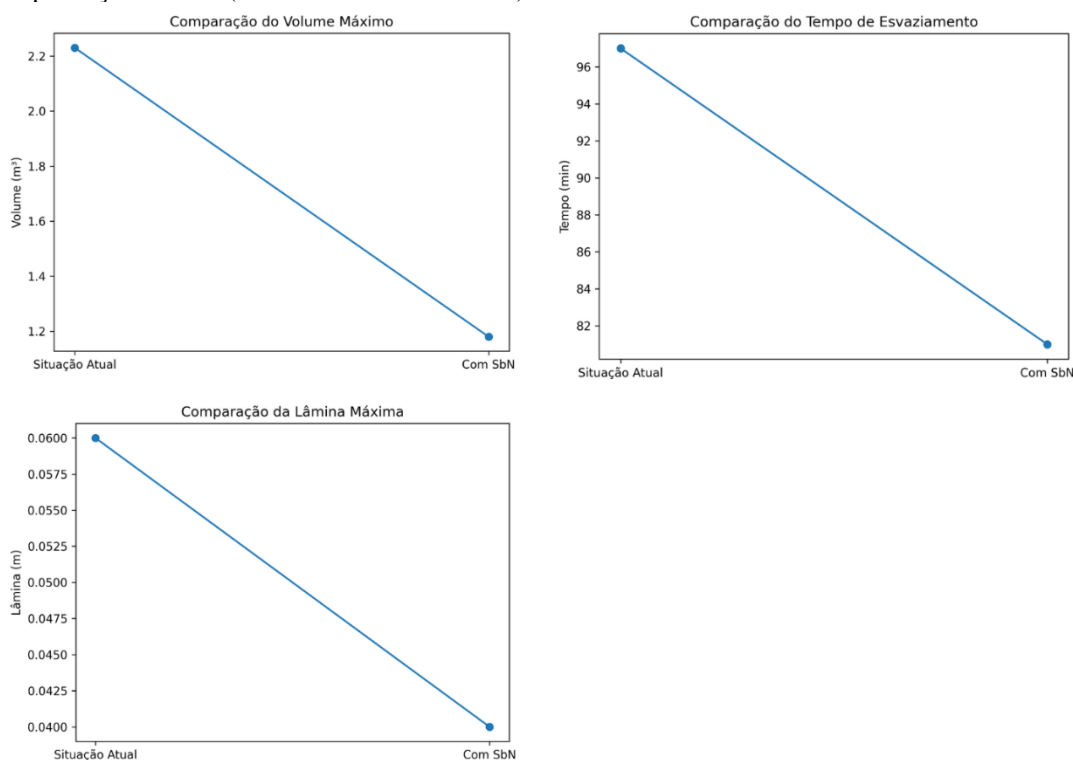
Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Com a implementação de SbN em 50% da área contribuinte, verifica-se uma redução expressiva no volume acumulado no ponto analisado. O volume máximo reduziu de 2,23 m³ para 1,18 m³ e a altura máxima atingiu 0,04 m. Esses resultados demonstram que a descentralização dos processos de armazenamento e infiltração promove diminuição significativa do aporte hidráulico direcionado à zona crítica. No que se refere ao tempo de esvaziamento, observou-se uma redução de 16 minutos, com um tempo de esvaziamento de 1h21 min, evidenciando que a adoção das SbN pode auxiliar no aumento

da eficiência do sistema ao reduzir o armazenamento concentrado e acelerar a dissipação do escoamento acumulado.

Os gráficos apresentados na Figura 44 ilustram a comparação dos resultados obtidos para o Trecho 1 na condição atual e após a implantação das SbN em 50% da área contribuinte, evidenciando melhorias no desempenho do sistema. Observa-se que o volume máximo acumulado foi reduzido em aproximadamente 47%, enquanto a lâmina máxima apresentou diminuição de 33%. O tempo de esvaziamento, por sua vez, passou de 97 para 81 minutos, representando uma redução de cerca de 16%. De modo geral, os resultados indicam que as intervenções propostas foram eficazes na mitigação do acúmulo de água e no aprimoramento do comportamento hidráulico do trecho analisado.

Figura 44. Comparação dos Indicadores Hidrológicos do Trecho 1: Situação Atual e Cenário com Implantação de SbN (50% da Área Contribuinte).



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Durante a visita realizada no local, foi possível observar de maneira detalhada as condições das grelhas e dos sistemas de bocas de lobo, constatando-se a presença significativa de acúmulo de resíduos sólidos. Verificou-se que o material compromete parcialmente o escoamento adequado das águas pluviais, podendo reduzir a eficiência do sistema e favorecer pontos de obstrução.

A Figura 45 apresenta alguns registros fotográficos recentes, organizados de modo a ilustrar a situação atual encontrada no local, evidenciando as condições observadas nas estruturas de drenagem.

Figura 45. Registros fotográficos da situação atual das grelhas e bocas de lobo no Mercado da Torre.





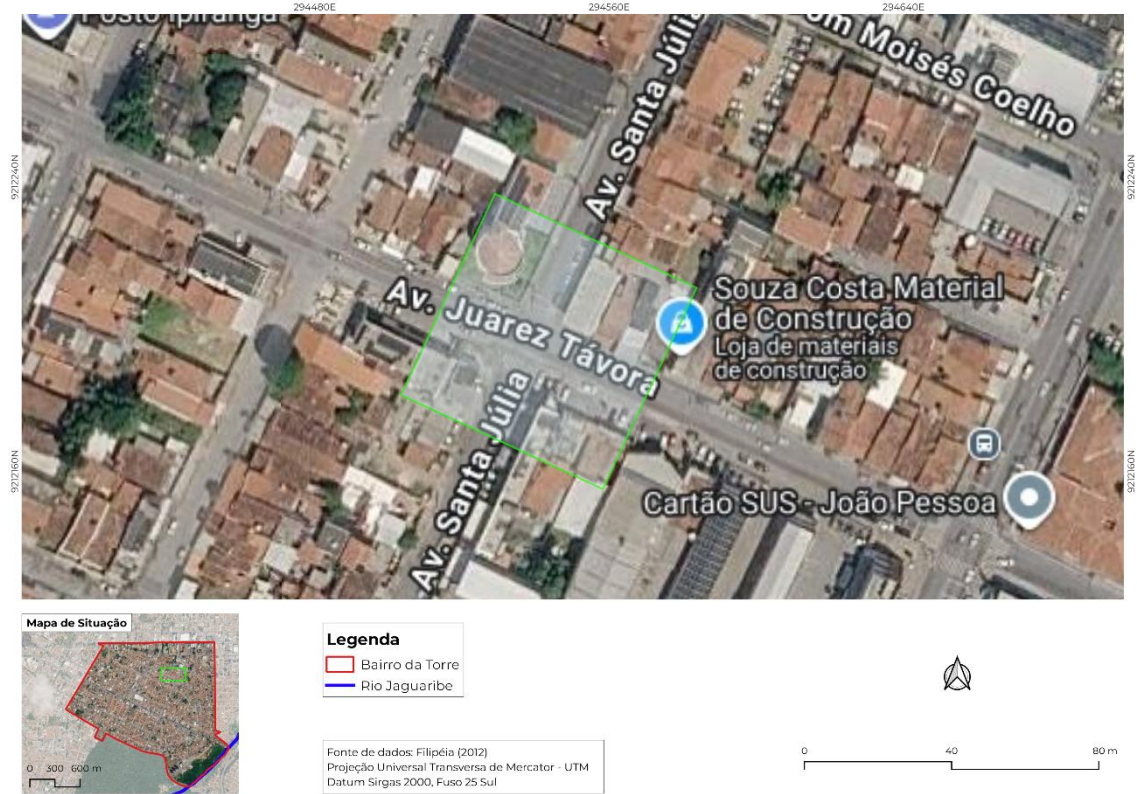
Fonte: Acervo da autora (2025).

A situação observada evidencia fragilidades na manutenção preventiva do sistema de drenagem. O acúmulo significativo de resíduos sólidos nas grelhas indica ausência ou insuficiência de limpeza periódica, o que pode comprometer progressivamente a eficiência hidráulica do sistema. A obstrução parcial do escoamento das águas pluviais tende a aumentar o tempo de permanência da água na superfície, favorecendo a ocorrência de alagamentos pontuais, sobrecarga das tubulações e possíveis danos estruturais ao pavimento e às edificações adjacentes.

Os registros reforçam visualmente a gravidade da situação, sugerindo a necessidade de ações integradas que envolvam não apenas manutenção corretiva, mas também medidas de gestão e educação ambiental, a fim de reduzir o descarte inadequado de lixo.

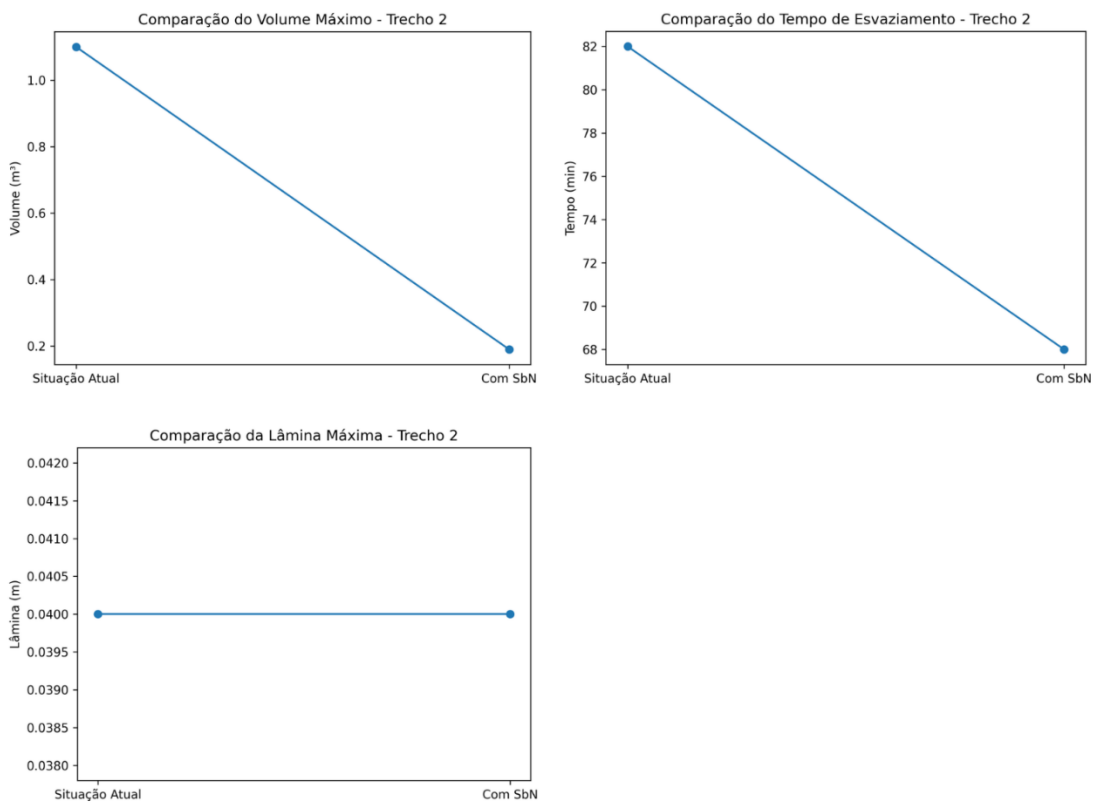
O Trecho 2 (Figura 46) apresentou maior eficiência que o cenário anterior, mostrando uma elevada sensibilidade à aplicação de SbN. Na condição atual, o volume máximo registrado foi de $1,10 \text{ m}^3$; com a implementação das SbN, observou-se uma redução para $0,19 \text{ m}^3$, demonstrando impacto na diminuição do acúmulo de água (Figura 47). Quanto ao tempo de esvaziamento, houve redução de 14 minutos, passando de 1h22min na situação atual para 1h08min com a aplicação das SbN, o que reforça a melhoria no desempenho hidráulico do sistema. A lâmina máxima permaneceu em $0,04 \text{ m}$, não apresentando variação percentual, o que sugere que o pico de altura da água continua condicionado à capacidade hidráulica das estruturas de entrada.

Figura 46. Mapa de localização do Trecho 2 (Cruzamento entre Avs. Juarez Távora e Santa Júlia).



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 47. Comparação dos Indicadores Hidrológicos do Trecho 2: Situação Atual e Cenário com Implantação de SbN (50% da Área Contribuinte).



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A redução superior a 80% do volume acumulado confirma a eficiência da estratégia nesse trecho. Já o tempo de esvaziamento foi reduzido de 82 para 68 minutos, correspondendo a uma redução de cerca de 17%, demonstrando melhora no desempenho do sistema quanto à dissipação do volume acumulado.

Por outro lado, a manutenção da lâmina máxima em 0,04 m indica que o pico de água permaneceu inalterado, pois ainda está condicionado à capacidade hidráulica das estruturas de entrada, que continuam parcialmente obstruídas conforme a simulação adotada. Ainda assim, a expressiva diminuição do volume total acumulado evidencia uma mitigação significativa do armazenamento superficial prolongado. Embora as SbN sejam eficientes na redução do volume total e do tempo de permanência da água, intervenções complementares — como manutenção constante e ampliação da capacidade de captação — podem ser necessárias para reduzir também os picos de lâmina.

Durante a visita realizada no local, observou-se que, diferentemente do Trecho 1, este trecho não apresenta acúmulo significativo de resíduos sólidos nas grelhas. No entanto, foi constatada a presença de grande quantidade de sedimentos transportados pelo escoamento superficial, os quais se depositaram na entrada do conduto responsável por direcionar a água ao sistema interno de drenagem (Figura 48). Esse acúmulo de material sedimentar chega a obstruir quase totalmente a seção de entrada da tubulação, comprometendo o adequado escoamento das águas pluviais.

Figura 48. Registros fotográficos da situação atual das grelhas no trecho Juarez Távora × Santa Júlia.





Fonte: Acervo da autora (2025).

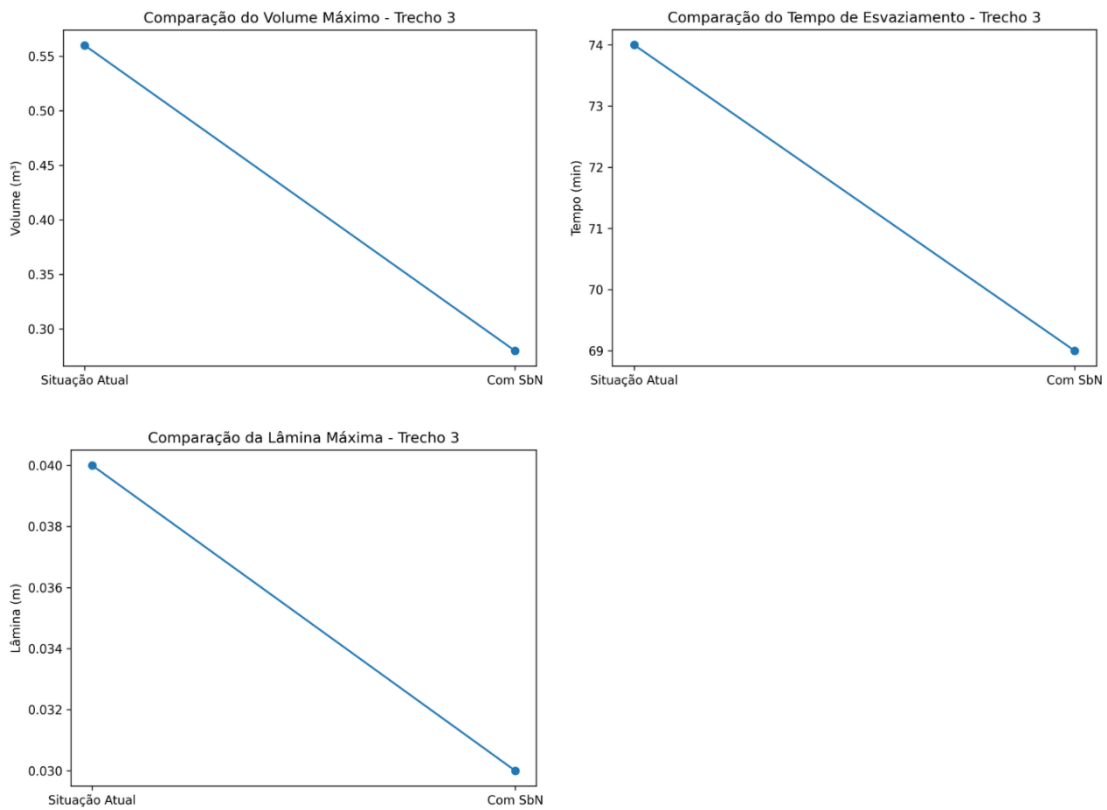
O Trecho 3 (Figura 49) apresentou os menores volumes acumulados, o que é compatível com sua menor área contribuinte. Em condições normais, o volume máximo foi de $0,56 \text{ m}^3$, uma vez que, com a aplicação das SbN, esse volume reduziu para $0,28 \text{ m}^3$ (Figura 50). O pico de lâmina, que era de $0,04 \text{ m}$, reduziu para $0,03 \text{ m}$, enquanto que o tempo de esvaziamento reduziu em cinco minutos, passando de $1\text{h}14\text{min}$ na situação atual para $1\text{h}09\text{min}$ com a aplicação das SbN, o que reforça a melhoria no desempenho hidráulico do sistema.

Figura 49. Mapa de localização do Trecho 3 (Cruzamento entre Avs. Rui Barbosa e Manoel Deodato).



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 50. Comparação dos Indicadores Hidrológicos do Trecho 3: Situação Atual e Cenário com Implantação de SbN (50% da Área Contribuinte).



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Com a aplicação das SbN, verificou-se uma redução aproximada de 50% no volume máximo acumulado, enquanto a altura máxima apresentou diminuição de 25%. Já o tempo de esvaziamento foi reduzido de 74 para 69 minutos, o que equivale a uma diminuição de aproximadamente 6,8%. Esses resultados indicam que, embora o impacto sobre o tempo de drenagem tenha sido mais moderado, houve melhora significativa na redução do volume acumulado e da altura da lâmina, contribuindo para a mitigação dos alagamentos no trecho analisado.

Embora a diminuição do volume acumulado tenha sido expressiva, o impacto no tempo total de esvaziamento foi mais moderado, indicando que o comportamento hidráulico do trecho não depende apenas da geração de escoamento superficial, mas também da capacidade operacional da rede de drenagem existente.

As imagens registradas no local também indicam a presença de acúmulo de sedimentos carregados pelo escoamento superficial, que se depositaram na entrada do conduto responsável pelo direcionamento da água ao sistema de drenagem (Figura 51). Esse material chega a obstruir a seção de entrada da tubulação, comprometendo o escoamento adequado das águas pluviais e reduzindo a eficiência hidráulica do sistema.

Figura 51. Registros fotográficos da situação atual das grelhas no trecho Rui Barbosa × Manoel Deodato.

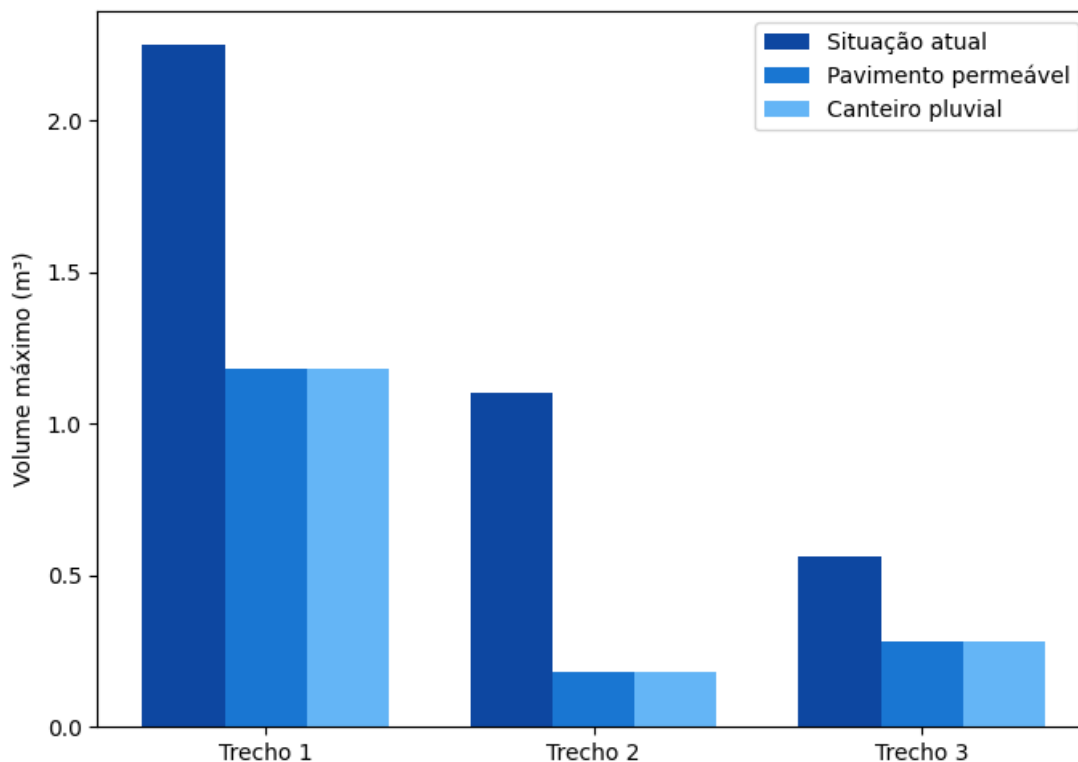




Fonte: Acervo da autora (2025).

O gráfico apresentado na Figura 52 completa a análise comparativa entre os três trechos estudados, destacando a redução do volume máximo em cada uma das situações avaliadas. Verifica-se que o Trecho 1 mostrou uma redução do volume máximo de aproximadamente 47 %. Contudo, no Trecho 2, a redução foi ainda mais significativa, correspondendo a 82,7%, o que sugere maior sensibilidade às intervenções, possivelmente em função de sua menor escala e da maior proporção de contribuição direta ao ponto crítico analisado. Já no Trecho 3, a redução de volume foi de 50%.

Figura 52. Comparação do Volume Máximo por Trecho.



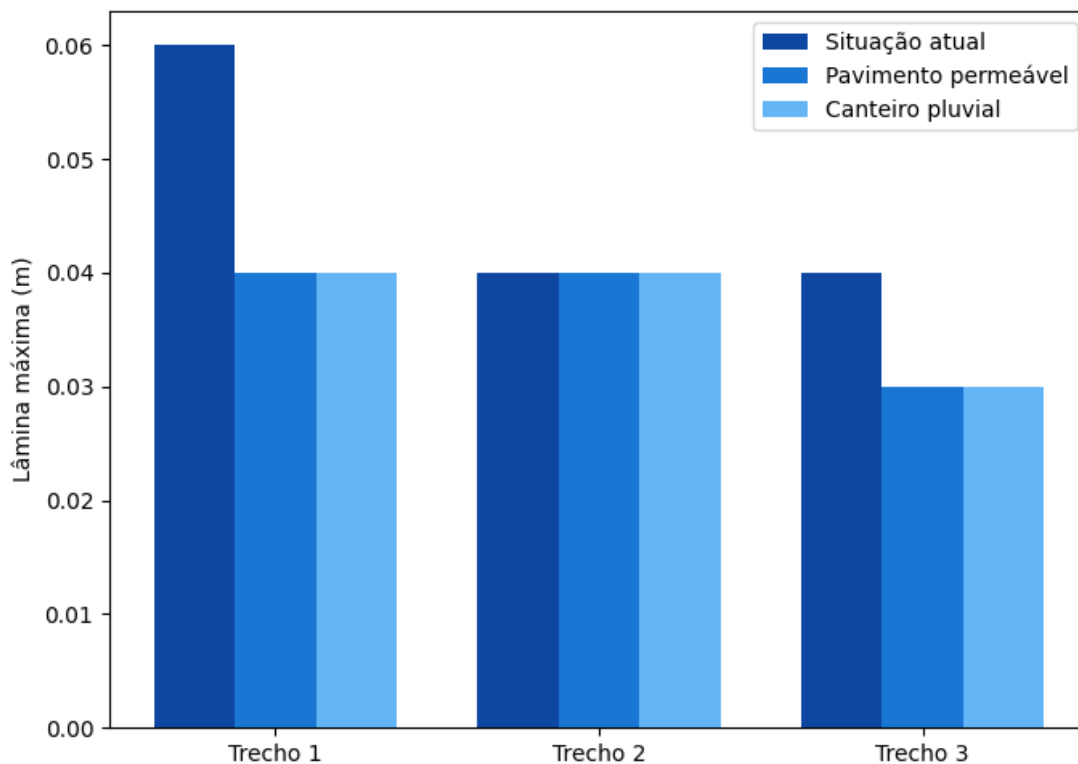
Fonte: Elaborada pela autora (2025).

As reduções mais expressivas no volume máximo acumulado indicam que as intervenções aplicadas atuaram de forma eficiente na retenção e infiltração da água na fonte, diminuindo o volume que alcança os pontos críticos. Como essas soluções promovem armazenamento temporário e retardamento do escoamento superficial, elas reduzem significativamente o aporte hidráulico concentrado na rede. O Trecho 2, por exemplo, apresentou a maior redução percentual, possivelmente por possuir menor área contribuinte ou maior proporção relativa de área tratada, tornando a intervenção mais eficaz em termos proporcionais.

Pode-se concluir que a eficiência relativa das SbN selecionadas está fortemente condicionada a fatores como a área contribuinte total, o percentual efetivamente tratado, a capacidade da rede de drenagem existente e as condições operacionais das estruturas de entrada.

Já em relação às lâminas máximas ou alturas máximas, quando comparadas, observa-se que o Trecho 1 apresentou a maior redução em relação aos outros trechos, de 33%. No Trecho 2, não houve alteração na lâmina máxima, enquanto que no Trecho 3 a diminuição correspondeu a 25% (Figura 53).

Figura 53. Comparação da Lâmina Máxima por Trecho.

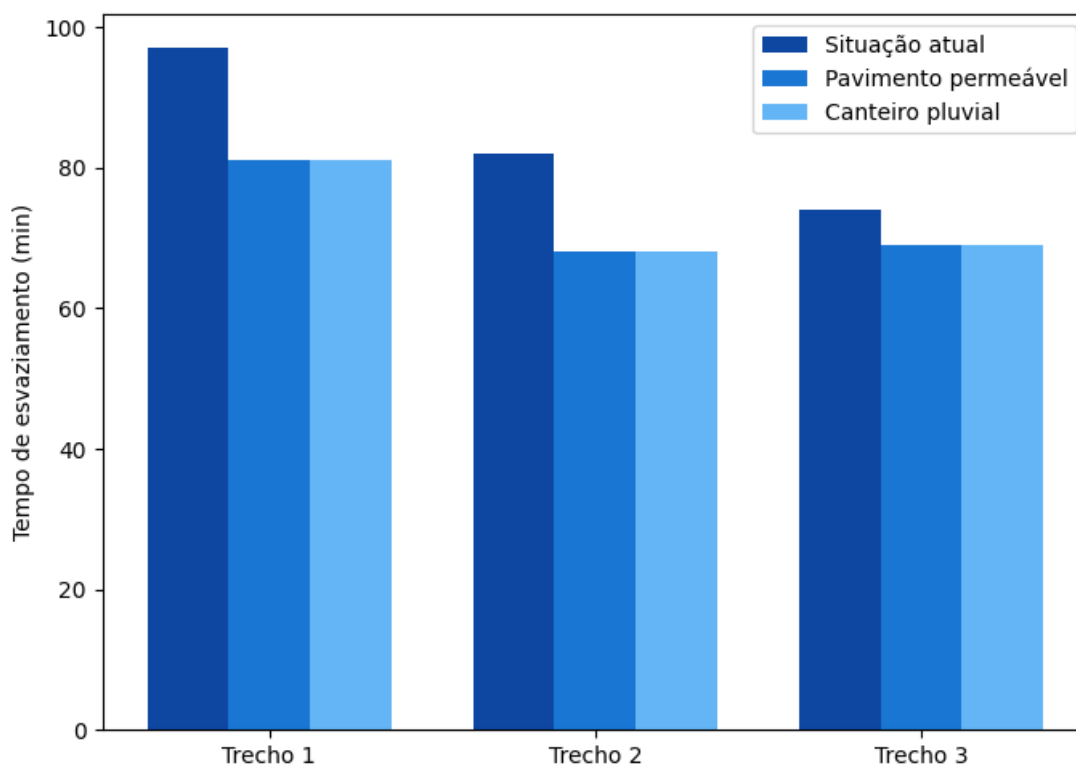


Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Os resultados mais discretos podem estar associados à limitação hidráulica das estruturas de entrada do local (bocas de lobo e galerias). Mesmo com menor volume total, o pico instantâneo de escoamento pode continuar condicionado à capacidade de captação da rede. Se houver subdimensionamento ou obstrução parcial, a lâmina máxima tende a permanecer semelhante, ainda que o volume total acumulado seja menor.

E ainda, em relação ao tempo de esvaziamento, as reduções foram moderadas, porém relevantes (Figura 54). O Trecho 2 mostrou a maior redução, de 17%, quando comparado com a situação normal, enquanto que o Trecho 3 mostrou a menor redução (6,8%). Esses dados indicam que, embora o impacto no tempo tenha sido menos expressivo que no volume acumulado, as intervenções contribuíram para acelerar a dissipação da água nos três trechos analisados.

Figura 54. Comparação de Tempo de Esvaziamento por Trecho.



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Entende-se que o escoamento final ainda depende da capacidade estrutural da rede existente. Ou seja, as SbN podem diminuir o volume gerado e amortecer o pico, mas não alteram diretamente o diâmetro das tubulações nem a declividade dos condutos. Assim, a drenagem continua limitada pela infraestrutura instalada, o que explica por que o tempo não foi reduzido na mesma proporção que o volume.

De forma geral, os resultados podem ser explicados por três fatores principais: a descentralização do armazenamento da água, que reduz o volume acumulado nos pontos críticos; as limitações estruturais da rede de drenagem, que ainda mantêm picos de lâmina em alguns trechos; e a dependência da capacidade hidráulica instalada, que influencia diretamente o tempo necessário para o esvaziamento completo da água acumulada.

O comprometimento do funcionamento das grelhas aumenta a formação de lâmina d'água na superfície. Isso acontece porque a redução da capacidade de captação faz com que a água que chega pelo escoamento superficial seja maior do que a quantidade que a rede consegue conduzir. Em contexto urbano altamente impermeabilizado, tal limitação operacional agrava o acúmulo temporário de água nas vias, elevando o volume armazenado e prolongando sua permanência.

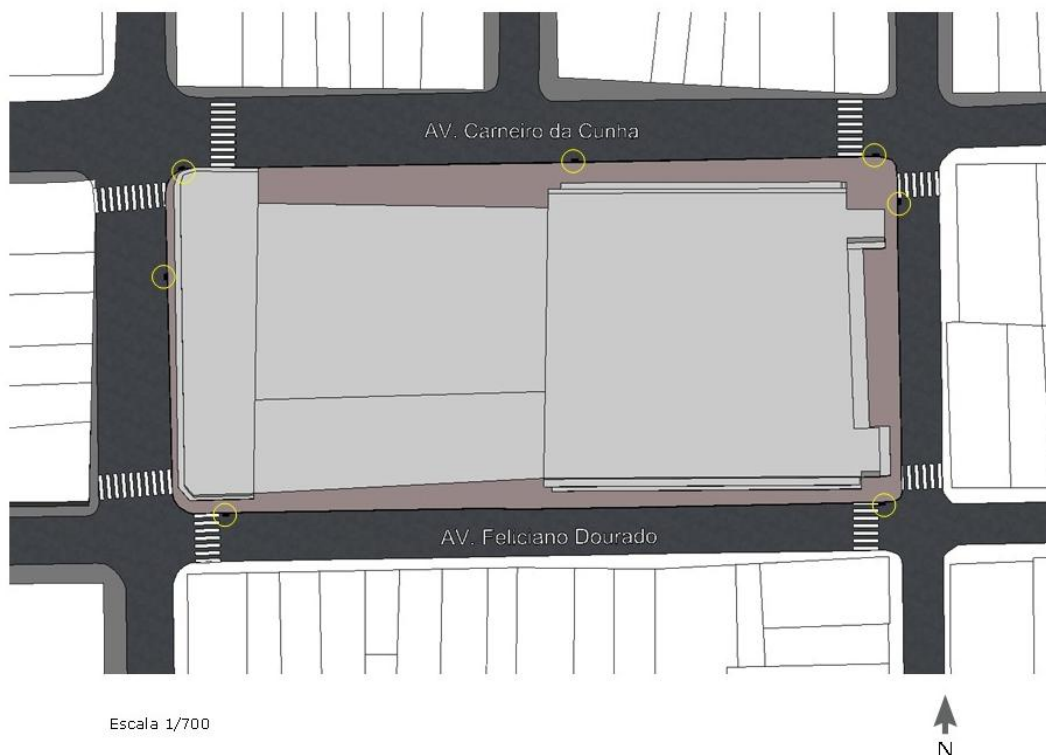
Nesse sentido, a partir da modelagem realizada para os três trechos com recorrência de alagamentos, observa-se que os processos de impermeabilização

decorrentes da ocupação urbana intensificam significativamente a geração de escoamento superficial e ampliam a vulnerabilidade hidráulica do sistema de microdrenagem. Os resultados reforçam que as SbN são eficazes na mitigação do escoamento superficial, mas funcionam de forma complementar à infraestrutura convencional, não substituindo intervenções estruturais quando a rede apresenta limitações físicas ou operacionais.

6.3.3. Construção dos cenários

Nesse contexto, buscando apresentar os resultados de forma visual, bem como demonstrar a estratégia adotada para cada trecho analisado, foram elaboradas simulações gráficas dos cenários propostos. Inicialmente, o Trecho 1, ou Mercado da Torre, é circundado por quatro vias principais e dispõe, atualmente, de sete bocas de lobo responsáveis pela captação das águas pluviais, destacadas em círculos amarelos na imagem (Figura 55).

Figura 55. Representação gráfica do Mercado da Torre, vista de cima (os círculos amarelos localizam as bocas de lobo).



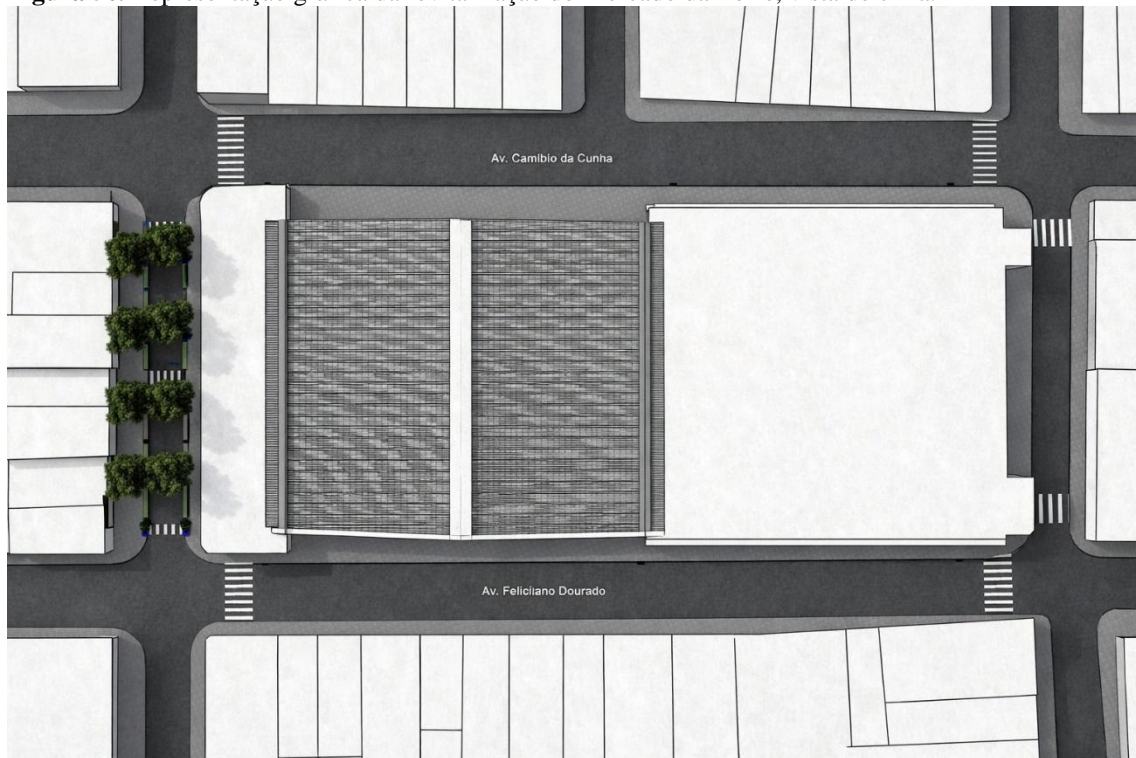
Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Dessa forma, a Figura 56 apresenta a proposta reconfigurada para o entorno do Mercado da Torre, incorporando a aplicação de pavimento permeável e a implantação de canteiros pluviais. Considerando que, na modelagem realizada no SWMM, a intervenção correspondeu a 50% da área total com aumento de permeabilidade, optou-se por substituir

o revestimento das calçadas externas ao redor do mercado por pavimento permeável do tipo piso intertravado. Essa estratégia tem como finalidade favorecer a infiltração e o armazenamento temporário da água pluvial, reduzindo o volume direcionado à rede convencional de drenagem e, conseqüentemente, sua sobrecarga.

Adicionalmente, propôs-se a revitalização da Avenida Barão de Mamanguape, adjacente ao mercado, integrando as intervenções de drenagem à qualificação do espaço urbano e à melhoria das condições de circulação e paisagismo no local.

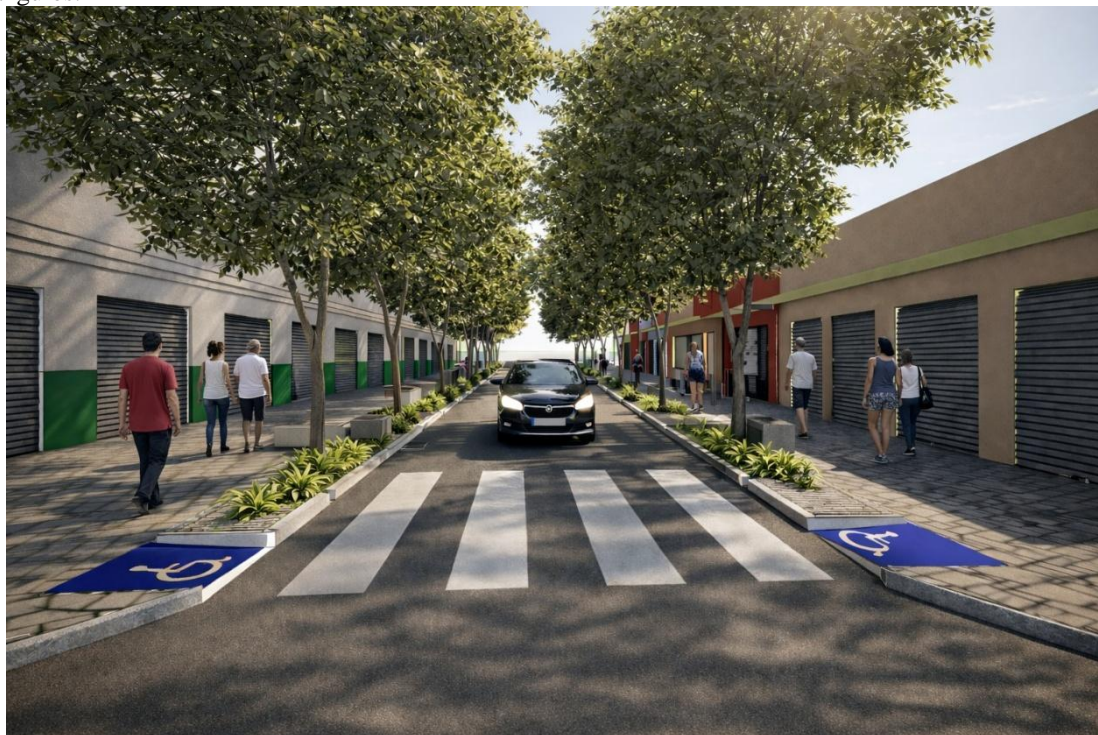
Figura 56. Representação gráfica da revitalização do Mercado da Torre, vista de cima.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Na área externa, voltada para a Avenida Barão de Mamanguape, as calçadas foram ampliadas para possibilitar a inserção de canteiros pluviais, associados à arborização urbana. A intervenção foi concebida para ambos os lados da via, que passou de duas faixas de rolamento para apenas uma, permitindo a ampliação das áreas destinadas à infraestrutura verde e potencializando seus benefícios ambientais (Figura 57).

Figura 57. Representação gráfica da revitalização da Avenida Barão de Mamanguape, em diferentes ângulos.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Para o Trecho 2, a proposta consiste na substituição do revestimento das calçadas por pavimento permeável do tipo piso intertravado. Conforme evidenciado na Figura 58, trata-se de uma área com espaço físico reduzido, o que limita a aplicação de intervenções mais diversificadas. Diante dessa restrição, optou-se por concentrar a estratégia na

implantação do pavimento permeável ao longo de toda a extensão das calçadas das duas vias que se cruzam, priorizando uma solução tecnicamente viável e compatível com a configuração urbana existente.

Figura 58. Situação atual do cruzamento entre as Avs. Juárez Távora com Santa Júlia.



Fonte: Google Earth (2025).

Figura 59. Representação gráfica do cruzamento entre as Avs. Juárez Távora com Santa Júlia.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

A Figura 59 ilustra a configuração proposta para as calçadas após a substituição do revestimento convencional pelo pavimento permeável. Ressalta-se que a proposta não contempla alterações no sistema de drenagem existente; a intenção é incorporar estruturas complementares que atuem de forma integrada ao sistema atual, contribuindo para seu melhor desempenho sem a necessidade de intervenções estruturais na rede instalada.

Para o Trecho 3 (Figura 60), propôs-se a substituição do revestimento das calçadas ao longo de toda a extensão das vias por pavimento permeável do tipo piso intertravado, de forma semelhante ao adotado no Trecho 2. No entanto, por se tratar de um trecho com maior disponibilidade de espaço, foi possível incorporar também a implantação de canteiros pluviais em duas esquinas estratégicas, conforme ilustrado na Figura 61.

Ressalta-se que as intervenções propostas não envolvem modificações na rede de drenagem existente, tendo como objetivo a inclusão de estruturas complementares que atuem de maneira integrada ao sistema atual, contribuindo para seu melhor desempenho. A proposta busca, ainda, valorizar a arborização já presente no local, potencializando seus benefícios por meio da integração com outras soluções sustentáveis voltadas ao manejo das águas pluviais.

Figura 60. Situação atual do cruzamento entre as Avs. Rui Barbosa e Manoel Deodato.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Figura 61. Representação gráfica do cruzamento entre as Avs. Rui Barbosa e Manoel Deodato.



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

De modo geral, as simulações gráficas elaboradas para os três trechos permitem visualizar de forma integrada como as intervenções propostas — pavimentos permeáveis e canteiros pluviais — podem ser inseridas no contexto urbano existente sem a necessidade de alterações estruturais na rede de drenagem. Cada cenário foi concebido considerando as especificidades espaciais e funcionais de cada local, buscando compatibilizar desempenho hidráulico, viabilidade técnica e qualificação do espaço urbano. A partir dessas proposições, torna-se fundamental avaliar criticamente as potencialidades e limitações de cada alternativa, discutindo, no tópico a seguir, as vantagens e desvantagens associadas a cada cenário proposto.

6.3.4. Avaliação Comparativa

Para sistematizar e facilitar a análise das propostas elaboradas para os três trechos estudados, apresenta-se um quadro comparativo sintetizando as principais vantagens e desvantagens que cada cenário pode trazer, sob as dimensões ambiental, social e econômica (Quadro 9), tomando como base os estudos analisados na revisão de literatura do capítulo 3, citados na Tabela 2. Essa organização permite visualizar de forma integrada os potenciais benefícios e limitações das intervenções propostas, contribuindo para uma

avaliação mais abrangente e fundamentada das alternativas adotadas no contexto do planejamento urbano sustentável.

Quadro 9. Avaliação Comparativa: benefícios e limitações dos cenários propostos.

Trecho	Dimensão	Benefícios	Limitações
Trecho 1 (*PP + **CP + revitalização)	Ambiental	Redução expressiva do volume; aumento da infiltração; melhoria da qualidade da água; mitigação de ilhas de calor; aumento da biodiversidade.	Necessidade de manutenção contínua; risco de colmatagem (aterramento).
	Social	Melhoria da caminhabilidade; redução de alagamentos em área comercial estratégica; valorização do espaço público.	Possível resistência à redução viária; impactos temporários da obra.
	Econômica	Redução de prejuízos ao comércio; potencial valorização imobiliária; menor custo emergencial.	Alto investimento inicial; necessidade de orçamento para manutenção.
Trecho 2 (*PP)	Ambiental	Redução significativa do volume; solução compatível com a área consolidada.	Benefícios ambientais limitados (sem vegetação).
	Social	Baixo impacto na configuração urbana; fácil aceitação.	Pouca requalificação paisagística.
	Econômica	Fácil replicabilidade.	Manutenção necessária; retorno indireto menor.
Trecho 3 (*PP + **CP)	Ambiental	Redução de 50% do volume; redução da lâmina; integração com arborização.	Eficiência moderada no tempo de esvaziamento; dependência da manutenção.
	Social	Melhoria estética; valorização urbana.	Possível conflito com estacionamento.
	Econômica	Redução de danos recorrentes.	Não elimina limitações estruturais da rede.

*PP (pavimento permeável); **CP (canteiro pluvial).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A avaliação comparativa dos três cenários evidencia que a adoção de SbN pode apresentar benefícios distintos conforme a escala da intervenção e as características morfológicas de cada trecho. No Trecho 1, a combinação entre pavimento permeável, canteiros pluviais e reconfiguração viária demonstrou maior potencial multifuncional, associando benefícios hidrológicos, ambientais e sociais. Trata-se de uma intervenção capaz de reduzir o volume acumulado e, simultaneamente, promover melhorias urbanas.

No Trecho 2, a limitação espacial condicionou a adoção exclusiva do pavimento permeável, resultando em uma solução tecnicamente eficaz na redução do volume escoado, porém com menor impacto paisagístico e ambiental ampliado. Ainda assim, destacam-se sua viabilidade técnica e replicabilidade em áreas consolidadas.

Já no Trecho 3, a solução híbrida — pavimento permeável associado a canteiros pontuais — pode proporcionar desempenho intermediário, conciliando redução hidráulica, melhoria estética e aproveitamento da arborização existente. Embora não elimine as limitações estruturais da rede convencional, a intervenção pode demonstrar potencial para reduzir impactos recorrentes sem demandar obras de grande porte.

Nesse contexto, entende-se que a recuperação — ainda que parcial — das funções hidrológicas naturais, especialmente a infiltração da água no solo e o armazenamento distribuído, pode constituir uma estratégia eficaz para mitigar os impactos decorrentes da impermeabilização urbana. Nessa perspectiva, o estudo converge com Seddon *et al.* (2020), que defendem a urgência de readaptar os ambientes urbanos, preparando-os para enfrentar os impactos das mudanças climáticas. Segundo os autores, a redução desses impactos, aliada à proteção da biodiversidade e à promoção do bem-estar humano, depende de investimentos estratégicos e tecnicamente viáveis, como as SbN, capazes de integrar benefícios ambientais, sociais e econômicos no contexto urbano.

Os resultados obtidos nesta pesquisa convergem com as conclusões de Azevedo (2019), que realizou o dimensionamento e a avaliação do desempenho hidrológico de jardins de chuva aplicados ao manejo de águas pluviais em uma área específica do *Campus I* da UFPB. O estudo evidenciou que dispositivos de biorretenção são técnica e hidrológicamente viáveis para a mitigação do escoamento superficial em áreas urbanas impermeabilizadas, desde que adequadamente dimensionados. Nesse sentido, tais achados dialogam diretamente com a presente investigação ao reforçar que a implementação de SbN deve estar fundamentada em dados e características locais confiáveis, evitando a simples reprodução de modelos desenvolvidos em contextos distintos.

Contudo, a eficiência hidráulica não se traduz automaticamente em melhorias proporcionais na lâmina máxima ou no tempo de esvaziamento, uma vez que tais parâmetros permanecem condicionados à capacidade estrutural da rede instalada. Isso evidencia um limite técnico intrínseco às intervenções baseadas exclusivamente na ampliação da permeabilidade superficial. Ou seja, a adoção das estratégias pode atuar na diminuição do volume excedente e no amortecimento do pico de escoamento, mas não

elimina as limitações estruturais da rede de drenagem existente. Assim, configuram-se como medidas complementares, e não substitutivas, às intervenções físicas no sistema convencional.

Nesse sentido, Wanderley e Paz (2014) destacam a necessidade de aprimoramento da legislação de drenagem em João Pessoa, com a incorporação de mecanismos mais eficazes de controle na fonte. Os autores argumentam que a combinação de áreas permeáveis com reservatórios de retenção pode reduzir impactos hidrológicos e, ao mesmo tempo, representar alternativa economicamente vantajosa quando comparada a cenários de elevada impermeabilização, o que corrobora este estudo. Ressaltam ainda que a legislação municipal apresenta limitações no controle do escoamento superficial urbano, especialmente quando comparada à de cidades como São Paulo e Curitiba.

Essas constatações evidenciam que intervenções pontuais ou isoladas não são suficientes. É necessária uma abordagem integrada, que envolva revisão e fortalecimento da legislação, investimentos em educação ambiental e reintrodução qualificada de elementos naturais em áreas densamente urbanizadas.

Do ponto de vista ambiental, os cenários que incorporam vegetação apresentam maior potencial sistêmico, ao agregarem serviços ecossistêmicos adicionais, como melhoria da qualidade do ar e incremento da biodiversidade urbana. Socialmente, intervenções que promovem requalificação do espaço público tendem a gerar maior aceitação e valorização coletiva, embora possam enfrentar resistência inicial quando implicam reconfiguração viária. No âmbito econômico, embora seja esperado que o custo inicial venha a ser significativo, essas soluções apresentam potencial de redução de despesas associadas a danos recorrentes, manutenção emergencial e perdas comerciais. Ainda assim, sua efetividade depende de manutenção contínua e de políticas públicas integradas.

Corroborando essa perspectiva, Vasconcelos e Barbassa (2021) sistematizam estratégias para superar barreiras e ampliar a adoção da gestão sustentável das águas pluviais urbanas em países em desenvolvimento. Os autores identificam oito estratégias de solução e agrupam as principais barreiras em seis categorias: problemas municipais, visão estratégica, leis e regulamentações, recursos financeiros, engajamento comunitário e conhecimento técnico em drenagem urbana.

No âmbito institucional, por exemplo, destacam-se entraves como a falta de coordenação entre órgãos e a insuficiência de equipes técnicas capacitadas. Já no campo normativo, sobressaem a ausência de legislação específica, a aplicação restrita a novos

empreendimentos e a escassez de incentivos. Tais fatores comprometem a priorização da drenagem sustentável nas políticas públicas.

Diante desse cenário, os autores defendem que estratégias como geração de informação, capacitação técnica, aprimoramento legislativo, engajamento comunitário, financiamento e fiscalização devem ser implementadas de forma articulada, uma vez que são interdependentes. Assim, a superação efetiva das barreiras e a consolidação da gestão sustentável das águas pluviais exigem a adoção simultânea de múltiplas estratégias, estruturadas em uma abordagem sistêmica e integrada. Esses resultados também corroboram a revisão de literatura do capítulo três, que associa o aumento da impermeabilização à intensificação do escoamento superficial e aponta que estratégias descentralizadas de infiltração e retenção constituem instrumentos tecnicamente eficazes para mitigação de alagamentos urbanos.

Contudo, sua efetividade está condicionada à adequada manutenção das estruturas de captação, reforçando que a gestão da drenagem urbana deve combinar medidas estruturais, operacionais e soluções baseadas na natureza. A implementação isolada de SbN não substitui intervenções estruturais em sistemas que apresentam déficits significativos, mas se configura como uma estratégia relevante de mitigação quando integrada a um planejamento urbano orientado pela resiliência. Assim, a definição da tipologia mais adequada deve considerar não apenas o desempenho hidráulico, mas também os condicionantes espaciais, institucionais e socioeconômicos específicos de cada contexto urbano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar de que forma a drenagem urbana sustentável é contemplada nos instrumentos legais do município de João Pessoa/PB e analisar o potencial de aplicação de Soluções Baseadas na Natureza como estratégia complementar para mitigar os impactos dos alagamentos urbanos.

A partir da análise documental, verificou-se que, embora o município disponha de instrumentos relevantes — como Plano Diretor, Política Municipal de Saneamento Básico e Plano de Ação Climática —, a drenagem urbana ainda é majoritariamente tratada sob a lógica convencional, centrada na infraestrutura cinza. Observa-se a ausência de uma política específica voltada à drenagem urbana sustentável, bem como lacunas na incorporação de estruturas ecológicas como estratégia estruturante no planejamento municipal. Assim, confirma-se a predominância de uma abordagem ainda influenciada pelo modelo higienista, focado no rápido escoamento das águas pluviais.

As entrevistas realizadas com gestores públicos evidenciaram que há reconhecimento institucional quanto às limitações da infraestrutura convencional, especialmente diante do aumento da impermeabilização do solo e da intensificação de eventos extremos de precipitação. Contudo, também foram identificadas barreiras significativas para a implementação de SbN, como ausência de legislação específica, restrições orçamentárias, limitações técnicas e baixa integração intersetorial. Ainda assim, os entrevistados demonstraram percepção positiva quanto ao potencial dessas soluções, reconhecendo a necessidade de estratégias complementares e integradas.

No âmbito empírico, a modelagem realizada no SWMM demonstrou que a aplicação de pavimentos permeáveis e canteiros pluviais, considerando 50% da área impermeável dos trechos analisados, promoveu redução significativa do volume acumulado e da lâmina máxima de alagamento sob cenário crítico (TR 25 anos e 75% de obstrução das grelhas). Embora o tempo de esvaziamento não tenha sido drasticamente alterado, os resultados indicam que as SbN atuam de forma eficaz na amortização do pico de escoamento e na redistribuição do volume excedente.

Esses resultados corroboram a hipótese central do estudo: a recuperação parcial das funções hidrológicas naturais — especialmente infiltração e armazenamento distribuído — representa uma estratégia eficiente para compensar os impactos da impermeabilização urbana. Entretanto, também ficou evidente que as SbN não substituem integralmente a infraestrutura convencional, devendo ser concebidas como soluções complementares e integradas a um sistema híbrido de drenagem.

Dessa forma, conclui-se que a incorporação das SbN no planejamento urbano de João Pessoa é tecnicamente viável e ambientalmente necessária. Contudo, sua efetiva implementação depende de avanços institucionais, como:

- Atualização da legislação municipal com diretrizes específicas para drenagem sustentável;
- Integração entre políticas de saneamento, meio ambiente e planejamento urbano;
- Capacitação técnica dos gestores públicos;
- Incentivos econômicos e fiscais para adoção de infraestrutura verde;
- Ampliação da educação ambiental e do engajamento comunitário.

Além disso, destaca-se que a transição para um modelo de drenagem urbana sustentável exige mudança paradigmática: sair da lógica exclusivamente reativa e corretiva para uma abordagem preventiva, sistêmica e baseada nos processos naturais.

RECOMENDAÇÕES

Como limitações do estudo, reconhece-se que a modelagem foi aplicada a trechos específicos do bairro da Torre e sob condições controladas de simulação, não abrangendo toda a complexidade da rede de drenagem urbana do município. Ademais, foram analisadas apenas duas tipologias de SbN, havendo potencial para investigações futuras envolvendo combinações múltiplas de soluções em outras escalas.

Para pesquisas futuras, recomenda-se:

- Avaliar a aplicação de SbN em diferentes bairros com distintas características socioespaciais;
- Integrar análises de custo-benefício comparando infraestrutura cinza e soluções híbridas;

- Desenvolver indicadores específicos de desempenho hidrológico e socioambiental para João Pessoa;
- Realizar entrevistas com outros representantes do poder público, de modo a ampliar a compreensão integrada entre diferentes setores da gestão municipal;
- Investigar a percepção da população sobre intervenções baseadas na natureza.

Por fim, este estudo reforça que enfrentar os alagamentos urbanos em João Pessoa não é apenas uma questão técnica, mas também política, institucional e cultural. Reintroduzir a natureza na cidade, por meio de Soluções Baseadas na Natureza, representa não apenas uma estratégia de adaptação climática, mas uma oportunidade de promover cidades mais resilientes, saudáveis e socialmente justas, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e às demandas contemporâneas de enfrentamento da crise climática.

REFERÊNCIAS

AFONSO, M. H. F.; SOUZA, J. V. de; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 47-62, 2011. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v5i2.424>.

ALMAAITAH, T.; APPLEBY, M.; ROSENBLAT, H.; DRAKE, J.; JOKSIMOVIC, D. The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: a systematic literature review. **Blue-Green Systems**, v. 3, n. 1, p. 223–248, 2021.

ALVES, A.; VOJINOVIC, Z.; KAPELAN, Z.; SANCHEZ, A.; GERSONIUS, B. Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. **Science of The Total Environment**, v. 703, p. 134980, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134980>.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J. e AMARAL, R. (orgs). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

ANDRADE, M. N. M. M.; JERONIMO, C. E. M. Diagnóstico da arborização do espaço urbano da Cidade de João Pessoa, PB. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 194-208, 2015. DOI: 105902/2236130817785.

ARNBJERG-NIELSEN, K.; WILLEMS, P.; OLSSON, J.; BEECHAM, S.; PATHIRANA, A.; BÜLOW GREGERSEN, I.; MADSEN, H.; NGUYEN, V.T. Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review. **Water Science and Technology**, v. 68, n. 1, p. 16–28, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2013.251>. Acesso em: 01 jul. 2025.

AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO (AEM). Avaliação Ecosistêmica do Milênio. [S.l.]: Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Disponível em: <http://www.maweb.org>. Acesso em: 01 jul. 2025.

_____. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC: Island Press, 2003. 245 p.

AZEVEDO, F. S. *Biorretenção: tecnologia alternativa para manejo de águas pluviais urbanas aplicada a João Pessoa, PB*. 2019. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18164?locale=pt_BR> Acesso em: 09 set. 2025.

AZEVEDO, B. M. L. de. *Índice de vulnerabilidade a desastres relacionados com fenômenos naturais no município de João Pessoa, Paraíba, Brasil*. 2020. 126 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

BARBOSA, T. S. *Geomorfologia urbana e mapeamento geomorfológico do município de João Pessoa – PB*, Brasil. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8148?locale=pt_BR> Acesso em: 09 set. 2025.

BARBOSA, T. S.; BARBOSA, M. E. F. Aspectos geomorfológicos e mapeamento das unidades de relevo do município de João Pessoa, PB. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 20, n.1, p. 143–155, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499418072>.

BARBOSA, T. S.; FURRIER, M. A geomorfologia antropogênica e a relação do uso da terra com o risco geológico no município de João Pessoa – PB. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n.1, p.169-184, 2017.

BARBOSA, C. de A.; MORAIS, M. T. A. O Papel da interface público/privada na vida urbana: o Bairro da Torre, João Pessoa/PB, Brasil. In: Seminário Internacional de Investigación en Urbanismo. "XI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Santiago de Chile, Junio 2019". Barcelona: DUOT, 2019.

BATISTA, G. S.; ROCHA, E. G.; DE LACERDA, M. C.; BARROS FILHO, M. N. M.; CALHEIROS, C. S. C. Applications of floating treatment wetlands for remediation of rainwater and polluted waters: a systematic review and bibliometric analysis. **Wetlands Ecology and Management**, v. 33, n. 27, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-025-10042-7>.

BENEDICT, M.; MCMAHON, E. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington, D.C.: Island Press, 2006.

BERLAND, A.; SHIFLETT, S. A.; SHUSTER, W. D.; GARMESTANI, A. S.; GODDARD, H. C.; HERRMANN, D.L.; HOPTON, M. E. The role of trees in urban stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, v. 162, p. 167–177, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>.

BEZERRA, M. L. F. D. Taxa de (im)permeabilidade urbana intra-lote: um olhar sob a legislação. **Revista Campo do Saber**, v. 1, n. 2, p. 26-42, 2015.

BOEHM, S.; SCHUMER, C. 10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023. 24 mar. 2023.

BONZI, R. S. Emerald Necklace: infraestrutura urbana projetada como paisagem. **Revista LABVERDE**, v. 9, p. 106-127, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i9p106-127>.

BORGES, I. N. S. C.; TANIGUCHI, G.; FEIGES, M. F.; VIERO, D. C. Relatório do Diagnóstico Técnico P2b. PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. TECHNUM consultoria, 2021. 622 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Resolução nº 245, de 17 de março de 2025**. Aprova a Norma de Referência nº 12/2025, que dispõe sobre a estruturação dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 17 mar. 2025.

_____. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Altera o marco legal do saneamento básico e dispõe sobre normas de referência para o setor de saneamento básico, direitos e

deveres relacionados à prestação de serviços públicos de água potável e esgotamento sanitário e dá outras providências. *Diário Oficial da União: Poder Executivo*, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Seção 1, p. 1.

_____. **Ministério das Relações Exteriores**. Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2018. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/135-agenda-de-desenvolvimento-2015>. Acesso em: 10 jul. 2025.

BROWDER, G.; OZMENT, S.; BESCOS, I. R.; GARTNER, T.; LANGE, G. Integrating Green and Gray: Creating Next Generation Infrastructure. Washington, DC: World Bank and World Resources Institute. World Bank and World Resources Institute. 2019. DOI: <https://doi.org/10.46830/wrirpt.18.00028>

BRUGHA, R.; VARVASOVSKY, Z. Stakeholder analysis: a review. **Health policy and planning**, v. 15, n. 3, p. 239-246, 2000.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. **Engineering Sciences**, v. 8, n. 2, p. 1–9, 1 jun. 2020.

CARVALHO, G. L. L.; LIRA, A. H. C. de; OLIVEIRA, J. X. A. de; SILVEIRA, J. A. R. da. Estratégias integradas de Soluções baseadas na Natureza como potencializadoras de centralidades. **Revista Projetar**, v. 10, n. 1, p. 81-97, 2025.

CERVO, A. L. BERVIAN, P. A. Metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHAN, F. K. S.; GRIFFITHS, J. A.; HIGGITT, D.; XU, S.; ZHU, F.; TANG, Y.; XU, Y.; THORNE, C. R. “Sponge City” in China - A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. **Land Use Policy**, v. 76, p. 772–778, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005> Acesso em: 01 jul. 2025.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN: Gland, Switzerland, 97, 2016. Disponível em: https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_93FD38C8836B.P001/REF Acesso em: 23 jul, 2025.

CORBETT, J. Ian McHarg, Overlay Maps and the Evaluation of Social and Environmental Costs of Land Use Change. CSISS Classics. 2001. Disponível em: <http://www.csiss.org/classics/content/23>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

COSTA, S.; PETERS, R.; MARTINS, R.; POSTMES, L.; KEIZER, J.J.; ROEBELING, P. Effectiveness of Nature-Based Solutions on Pluvial Flood Hazard Mitigation: The Case Study of the City of Eindhoven (The Netherlands). **Resources**, v. 10, n. 24, p. 1-14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources10030024>.

COUTINHO, M. A. F. (2004). Evolução urbana e qualidade de vida: o caso da avenida Epitácio Pessoa. João Pessoa: UFPB.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPCÃO, R. dos S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Revista**

Saúde Debate, v. 43, n. 3, p. 94 – 108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>.

DAVIES, C. *et al.* Green Infrastructure Planning Guide. [S.l.]. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265012095>. Acesso em: 15 ago. 2025.

DEPIETRI, Y.; MCPHEARSON, T. Integrating the grey, green, and blue in cities: Nature-based solutions for climate change adaptation and risk reduction. Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: **Linkages between science, policy and practice**, v. 36, p. 91-109, 2017.

DIFFENBAUGH, N. S.; BURKE, M. Global warming has increased global economic inequality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 20, p. 9808–9813, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>

DONG, X.; GUO, H.; ZENG, S. Enhancing future resilience in urban drainage system: Green versus grey infrastructure. **Water Research**, v. 124, p. 280–289, nov. 2017.

DUSHKOVA, D.; HAASE, D. Not simply green: Nature-based solutions as a concept and practical approach for sustainability studies and planning agendas in cities. **Land**, v. 9, n. 1, 2020.

EC (European Commission). Horizon 2020 expert group on Nature-based solutions and re-naturing cities. Final Report: Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities. Brussels: Publications Office of the European Union, 2015. E-book. 74 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.2777/479582>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

ECKART, K.; MCPHEE, Z.; BOLISSETTI, T. Performance and implementation of low impact development – A review. **Science of the Total Environment**, v. 607, p. 413–432, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>.

ELLIOTT, A. H.; TROWSDALE, S. A. A review of models for low impact urban stormwater drainage. **Environmental Modelling & Software**, Special section: Advanced Technology for Environmental Modelling. v. 22, n. 3, p. 394–405, 1 mar. 2007.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. Processo de Análise Sistêmica. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil, v. 10, n. 4, 2010.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PINTO, H. D. M. Processo de investigação e Análise bibliométrica: Avaliação da Qualidade dos Serviços Bancários. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 17, p. 325-349, 2013.

EPA. Storm Water Management Model Quality Assurance Report: Dynamic Wave Flow Routing. U.S. Environmental Protection Agency: Division of Water Supply and Water Resources Lewis A. Rossman, Cincinnati, OH 45268, 2006. Disponível em: <https://swmm5.org/2025/01/18/markdown-version-of-the-storm-water-management-model-quality-assurance-report-dynamic-wave-flow-routing-2006/?utm_source=chatgpt.com> Acesso em: 01 jan. 2026.

ESCOBEDO, F. J.; GIANNICO, V.; JIM, C. Y.; SANESI, G.; LAFORTEZZA, R. Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 37, p. 3–12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011>. Acesso em: 01 jul. 2025.

EVERS, H.; INCAU, B.; CACCIA, L.; CORRÊA, F. Soluções baseadas na natureza para adaptação em cidades: o que são e por que implementá-las. Programa de Cidades, WRI Brasil, v. 2, 2022. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-para-adaptacao-em-cidades-o-que-sao-e-por-que-implementa-las> Acesso em: 10 dez. 2024.

FERRAREZI, A. M.; FRANCISCO, A. M. Morfologia urbana das áreas de fundo de vale do córrego do Veado em Presidente prudente, SP. **Colloquium Humanarum**, v. 10, n. esp., p. 361-368, 2013.

FERREIRA, J. S. W. A cidade para poucos: breve história da propriedade urbana no Brasil. Simpósio Interfaces das representações urbanas em tempos de globalização, v. 1, 2005.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and Urban Planning**, v. 1, n. 4, p. 67 – 78, 2006.

FRAGA, R. G. *Soluções baseadas na Natureza: elementos para a tradução do conceito às políticas públicas brasileiras*. 2020. 177 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/40877> Acesso em: 28 jul. 2025.

FREIRE, A. L. Saneamento básico: conceito jurídico e serviços públicos. Enciclopédia jurídica da PUC-SP. NERY JUNIOR, N.; ABOUD, G.; FREIRE, A. L. (org). 1. ed. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/325/edicao-1/saneamento-basico:-conceito-juridico-e-servicos-publicos> acesso em: 22 nov. 2025.

FREITAS, G. S.; MARTINS, A. M. A.; FELLOWS, M. F. M.; SANTOS, S. Cidades doentes: a influência do clima urbano na saúde humana e no bem-estar. In: CONGRESSO NACIONAL ON-LINE DE INTEGRAÇÃO EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE – CONSAMEI, 1, 2023. Anais [...]. [S. l.]: Consamei, 2023. DOI: 10.51189/consamei/26720.

FROIS, M. R. *Soluções baseadas na Natureza aplicadas ao controle de alagamentos: o caso do Parque do Povo de Presidente Prudente (SP)*. 2024. 151 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), São Paulo, 2024.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Mata Atlântica: a casa da maioria dos brasileiros. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/nossas-causas/mata-atlantica/> Acesso em: 04 set. 2025.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org.). Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIL, A. C.; VERGARA, S. C. Tipo de pesquisa. Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul, 2015.

G1 PB (João Pessoa). **João Pessoa registra maior volume de chuva do ano:** cidade tem alagamentos e transtornos. G1, João Pessoa, PB, 2025. Paraíba, p.1. Disponível em: <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2025/08/15/joao-pessoa-registra-maior-volume-de-chuva-do-ano-cidade-tem-alagamentos-e-transtornos.ghtml> acesso em 01 set. 2025.

GOMES, H. P.; SILANS, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; SILVA, G. S. EPA SWMM 5.0 - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana – Manual do usuário, 2012.

HERZOG, C. P.; ROZADO, C. A. Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza: contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2020. Disponível em: <<https://oppla.eu/sites/default/files/docs/Portuguese-EU-Brazil-NBS-dialogue-low.pdf>> Acesso em: 22 jul. 2025.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. Revista LABVERDE, v. 1, n. 1, p. 91-115, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115>

HOEGH-GULDBERG, O. D.; JACOB, M.; TAYLOR, M. Impacts of 1.5° C of Global Warming on Natural and Human Systems. In: Global Warming of 1.5°C. Masson-Delmotte, V. P.; Zhai, H. O.; Pörtner, D. (eds.). In Press. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf> Acesso em: 25 fev. 2026.

HORN, L.; TORNELLO, V. T.; ARIOLI, M. S.; CORRÊA, F.; AZEREDO, L. **Acelerando Soluções Baseadas na Natureza em Cidades Brasileiras:** Lições aprendidas na estruturação de projetos em estágio de ideação. Nota Prática: São Paulo: WRI Brasil, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.46830/wriprn.23.00103>.

HUSSAIN, M.; IMITIYAZ, I. Urbanization Concepts, Dimensions and Factors. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 9, p. 23513–23523, 2018. DOI: 10.24327/IJRSR.2018.0901.1483.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo Demográfico 2022 (atualizado em 22/12/2023). Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

_____. *Área urbanizada:* IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente, Áreas Urbanizadas do Brasil 2019.

_____. *Esgotamento sanitário por rede geral, rede pluvial ou fossa ligada à rede:* IBGE, Censo Demográfico 2022.

_____. *População exposta ao risco:* População em Áreas de Risco no Brasil – 2010. IBGE, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes>>

ambientais/estudos-ambientais/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto> Acesso em: 01 ago. 2025.

_____. *População estimada*: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/joaopessoa.html>> Acesso em: 04 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. Organizadores: Luiz André Rodrigues dos Santos, Danielle Barros Ferreira, Mozar de Araújo Salvador. INMET, Brasília/DF, Brasil, 2022. 27p. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>> Acesso em: 01 ago. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT/SP). **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde**. Organizadora: Maria Lucia Solera. IPT/SP, São Paulo/SP, Brasil, 2020. 79 p. Disponível em: <<https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/08/Guia-para-infraestrutura-verde.pdf>> Acesso em: 01 ago. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo sobre o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2025. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/04/Estudo-estudo-sobre-o-setor-de-drenagem-e-manejo-de-aguas-pluviais-urbanas-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2026.

IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas). Resumo para Formuladores de Políticas. Em: Mudanças Climáticas 2023: Relatório de Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe de Redação Principal, H. Lee e J. Romero (orgs.)]. IPCC, Genebra, Suíça, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

JOÃO PESSOA (PB). Lei Orgânica do Município de João Pessoa. Lei nº 1, de 2 de abril de 1990. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do município. João Pessoa: Prefeitura Municipal, 1990. Disponível em: <https://sapl.joaopessoa.pb.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/1990/14101/lei_organica_2025-01.pdf> Acesso em: 25 nov. 2025.

_____. Plano de Ação Climática. João Pessoa: Prefeitura Municipal de João Pessoa; Banco Interamericano de Desenvolvimento; *WayCarbon*; ICLEI (Governos Locais pela Sustentabilidade, 2023. Disponível em: <https://jpsustentavel.joaopessoa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2023/10/SUMARIO_JOAO_PESSOA_web-1.pdf> Acesso em: 25 nov. 2025.

_____. Plano de Ação João Pessoa Sustentável. João Pessoa: Prefeitura Municipal de João Pessoa; Banco Interamericano de Desenvolvimento; Caixa Econômica Federal, 2014. Disponível em: <<https://webimages.iadb.org/PDF/Joao+Pessoa+Action+Plan.pdf>> Acesso em: 25 nov. 2025.

_____. Plano Diretor do Município de João Pessoa. Lei nº 3, de 30 de dezembro de 1992. Dispõe sobre o Plano Diretor do município. João Pessoa: Prefeitura Municipal, 1992.

Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-joao-pessoa-pb>> Acesso em: 25 nov. 2025.

_____. Plano Diretor do Município de João Pessoa. Lei nº 054, de 23 de dezembro de 2008. Dispõe sobre o Plano Diretor do município. João Pessoa: Prefeitura Municipal, 2008. Disponível em: <https://sapl.joaopessoa.pb.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2008/14202/lei_complementar_54-2008.pdf> Acesso em: 25 nov. 2025.

_____. Plano Diretor do Município de João Pessoa. Lei nº 164, de 11 de janeiro de 2024. Dispõe sobre o Plano Diretor do município. João Pessoa: Prefeitura Municipal, 2024. Disponível em: <https://planodiretor.joaopessoa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/2024_Diario_444_SUPLEMENTO.pdf> Acesso em: 25 nov. 2025.

_____. Lei Complementar nº 170, de 8 de janeiro de 2025. Institui o Código de Meio Ambiente do Município de João Pessoa e dá outras providências. João Pessoa: Prefeitura Municipal de João Pessoa, 2025. Disponível em: <https://sapl.joaopessoa.pb.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2025/22011/lc_170_-_08.01.25_-_institui_codigo_de_meio_ambiente_do_municipio_de_joao_pessoa.pdf> Acesso em: 25 nov. 2025.

JUNIOR, E. B. L.; DE OLIVEIRA, G. S.; DOS SANTOS, A. C. O.; SCHNEKENBERG, G. F. Análise documental como percurso metodológico na pesquisa qualitativa. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 44, 2021.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F. Identificação dos riscos. Emergência, Novo Hamburgo, Ed.25, p.48-52, 2011.

LAKATOS, E. M. e MARCONI, M. A. Fundamentos da Metodologia Científica. 5a. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LASHFORD, C.; RUBINATO, M.; CAI, Y.; HOU, J.; ABOLFATHI, S.; COUPE, S.; CHARLESWORTH, S.; TAIT, S. SuDS & Sponge Cities: A Comparative Analysis of the Implementation of Pluvial Flood Management in the UK and China. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 213, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11010213>. Acesso em: 01 jul. 2025.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Belo Horizonte: UFMG, 1999.

LEITE, C. H. P.; MOITA NETO, J. M.; BEZERRA, A. K. L. Novo marco legal do saneamento básico: alterações e perspectivas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 1041-1047, 2022.

LIBERALESSO, T.; CRUZ, C. O.; SILVA, C. M.; MANSO, M. Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. **Land Use Policy**, v. 96, p. 104693, 1 jul. 2020.

LIMA, P. P. S. *Potencial de expansão e de preservação ambiental no processo de urbanização da zona sul de João Pessoa – PB*. 2025. 206 f. Tese (Doutorado em

Geografia) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

LIMA, L. C.; FILGUEIRA, H. J. A. A microdrenagem urbana e o risco de desastres por alagamento na cidade de João Pessoa, Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES – END, 1., 2018. Anais [...]. [S. 1.]: END, 2018. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/79/END107.pdf>> Acesso em: 09 set. 2025.

LIMA, H. M.; SILVA, E. S.; RAMINHOS, C. Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 1, p. 97 – 109, 2006.

LUCENA, E. V. P. (2017). Bairro da Torre - Diagnóstico e Proposta para um Planejamento Urbano (mais) Sustentável. João Pessoa: UFPB.

MACIEL, A. L. T.; DAMKE, E. J. GESTÃO SUSTENTÁVEL DE EVENTOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA POR MEIO DA METODOLOGIA PROKNOW-C. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 11, n. 1, p. 257–285, 2021. Disponível em: <<https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/2376>>. Acesso em: 01 jul. 2025.

MAIA, D. S. Notas sobre a urbanização da cidade de João Pessoa: do processo e do seu reverso. **Revista Paraibana de Geografia**, v. 3, p. 59-77, 2001.

MAILHOT, A.; DUCHESNE, S. Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change. **J. Water Resour. Plan. Manag.** v. 136, p. 201–208, 2010.

MAIOR, M. M. S.; CÂNDIDO, G. A. Vulnerabilidade socioeconômica: um estudo transversal para o município de João Pessoa - PB. **Revista Principia**. Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, v. 24, 2014.

MAPBIOMAS – Destaques do Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil (áreas urbanizadas). Coleção 9, p. 26, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/12/Factsheet-Areas-Urbanizadas_C9_25.11.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026.

MARUYAMA, C. M.; FRANCO, M. A. R. Pavimentos permeáveis e infraestrutura verde. **Cidades Verdes**, v.04, n.09, pp. 73-86, 2016.

MARQUES, T. H. N.; RIZZI, D.; FERRAZ, V.; HERZOG, C. P. Soluções baseadas na natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e do Peru. **Revista LABVERDE**, v. 11, n. 1, p. 12–49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189419>.

MAROPO, V. L. B., MORAIS, E. E., NUNES, A. C., SILVEIRA, J. A. R. Planejamento urbano sustentável: um estudo para implantação de infraestrutura verde no Bairro Bancários, João Pessoa – PB, Brasil. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, e20180005, 2019. DOI: 10.1590/2175-3369.011.002.AO09.

MARTÍN MUÑOZ, S.; ELLIOTT, S.; SCHOELYNCK, J.; STAES, J. Urban Stormwater Management Using Nature-Based Solutions: A Review and Conceptual Model of

Floodable Parks. **Land**, v. 13, n. 11, p. 1858, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13111858>.

MATIAS, M. G. B. *Bacias de retenção: estudo de métodos de dimensionamento* – Portugal. 2006. 237 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

MESQUITA, A. M. C. Paisagens produtivas como estratégia de sustentabilidade e segurança alimentar nas cidades. **Revista de Morfologia Urbana**, v. 7, n. 2, p. e00120, 2019.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A.Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, 2016. DOI: 10.1126/sciadv.1500323.

MICHEL, J. A.; REGINATTO, G.; MAZUTTI, J.; BRANDLI, L. L.; KALIL, R. M. L. Selection of Best Practices for Climate Change Adaptation with Focus on Rainwater Management. *In*: LEAL FILHO, W.; BORGES DE BRITO, P. R.; FRANKENBERGER, F. (Orgs.). **International Business, Trade and Institutional Sustainability**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 915–932.

MIGUEL, J. G. S.; FELIX, D. B. Riscos de inundação na cidade de João Pessoa-PB. *In*: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE – SGAB, 5., 2016. Anais [...]. [S. l.]: SGAB, 2016. Disponível em: <https://itr.ufrj.br/sigabi/wp-content/uploads/5_sigabi/Sumarizado/102.pdf> Acesso em: 09 set. 2025

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Serviços ambientais. Disponível em: <<https://mma.gov.br/biodiversidade/economia-dos-ecossistemas-e-da-biodiversidade/servi%C3%A7os-ecossist%C3%A4micos.html#servi%C3%A7os-ambientais>>. Acesso em: 04 fev. 2026.

MOREIRA, E. R. F. O Espaço Natural Paraibano. João Pessoa: DGEOC, p. 1-12, 2006.

NATAL (RN). Plano Diretor do Município de Natal. Lei nº 208, de 07 de março de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor do município. Natal: Prefeitura Municipal, 2022. Disponível em: <https://www.natal.rn.gov.br/semut/legislacao/complementar/complementar208_2022.pdf> Acesso em: 25 nov. 2025.

NGUYEN, T. T.; NGO, H. H.; GUO, W.; WANG, X. C.; REN, N.; LI, G.; DING, J.; LIANG, H. Implementation of a specific urban water management - Sponge City. **The Science of the Total Environment**, v. 652, p. 147–162, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168>. Acesso em: 01 jul. 2025.

O'DONNELL, E. C.; THORNE, C. R. Drivers of future urban flood risk. **Philos Trans A Math Phys Eng Sci**. v. 378, n. 2168, p. 20190216, 2020. Disponível em: 10.1098/rsta.2019.0216. Acesso em: 01 jul. 2025.

OLIVEIRA, M. F. de. Metodologia Científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. Manual (pós-graduação). Catalão: UFG, 2011. 72 p.

OLIVEIRA, M. *Soluções baseadas na Natureza como elemento integrador entre projetos de drenagem urbana e plano do clima na cidade de São Paulo*. 2023. 125 p. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2023.

ONU BRASIL. 17 objetivos para transformar nosso mundo. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ONU (Organização das Nações Unidas). Povos resilientes, planeta resiliente: um futuro digno de escolha. In: GPS/ONU & Painel de Alto Nível do Secretário Geral das Nações Unidas sobre sustentabilidade global. 2018.

PLANO MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. Prefeitura Municipal de João Pessoa. Plano diretor de João Pessoa: A cidade que eu quero. P2b. Relatório do Diagnóstico Técnico. Fase II. Out de 2021. 622 folhas. Disponível em: <https://planodiretor.joaopessoa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/115_2021.10.08_P2b_DIAGNOSTICO-TECNICO.pdf>. Acesso em: 04 set. 2025.

PEREIRA, L. C. O.; VIANA, E. M.; BRAGA, C. F. C. Estudo das legislações sobre drenagem urbana nas capitais do Nordeste brasileiro: análise da obrigatoriedade de medidas de controle de escoamento na fonte. In: I Congresso Internacional de Meio Ambiente e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2019, Campina Grande - PB. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande - PB: Realize, 2019. v. 1.

PEREIRA, G. M.; JUNIOR, A. M. S.; VIEIRA, A. H. Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 77–94, 24 fev. 2022.

PEREGRINO, P. S. A. A influência do padrão de adensamento nas características de um escoamento urbano: uma aplicação à região do Altiplano Cabo Branco em João Pessoa-PB. 2014.

PINTO, E. J. de A. *Atlas Pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias): estação pluviométrica João Pessoa, código 82798 (INMET), município de João Pessoa/PB*. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), 2023. 1 recurso eletrônico. ISBN 978-65-5664-430-1.

PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente). *Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022*. Nairobi: UNEP, 2022. 3 p. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Prefeitura Municipal de Aracruz (2022). Secretaria de Comunicação: Projeto das obras de macrodrenagem da Grande Bela Vista é apresentado à população. Disponível em:

<<https://aracruz.es.gov.br/noticias/11225-projeto-das-obras-de-macrodrenagem-da-grande-bela-vista-e-apresentado-a-populacao>> Acesso em: 22 jul. 2025.

Prefeitura Municipal de São Paulo (2012). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Gerenciamento do Sistema de Drenagem Urbana, 1. São Paulo: SMDU. ISBN 978-85-66381-01-6. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivo_s/manual-drenagem_v1.pdf>. Acesso em 22 jul. 2025.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2ª edição. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

QIAO, X.; KRISTOFFERSSON, A.; RANDRUP, T. B. Challenges to implementing urban sustainable stormwater management from a governance perspective: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 943–952, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.049>. Acesso em: 01 jul. 2025.

QUEIROGA, A. A.; FILGUEIRA, H. J. A.; CUNICO, C. Correlação entre crescimento urbano e áreas sujeitas a inundação no município de João Pessoa – PB. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 25, n. 98, p. 284–298, 2024.

RAFAEL, R. A.; ARANHA, T. R. B. T.; MENESES, L. F.; SARAIVA, A. G. S. Caracterização da evolução urbana do município de João Pessoa/PB entre os anos de 1990 e 2006, com base em imagens orbitais de média resolução. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 819-826, 2009.

RAPOSO, C. L. de L.; BORGES, T. H. M.; LOPES, V. K. G.; PEREIRA, C. R. O. Estudo de caso do trecho entre a Avenida Rio de Janeiro e Rio Madeira para avaliação do manejo de águas pluviais para os sistemas de microdrenagem. **Revista FT**, v. 27, n. 122, p. 34, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7981540.

RECIFE (PE). Plano Diretor do Município de Recife. Lei nº 2, de 23 de abril de 2021. Dispõe sobre o Plano Diretor do município. Recife: Prefeitura Municipal, 2021. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pe/r/recife/lei-complementar/2021/1/2/lei-complementar-n-2-2021-institui-o-plano-diretor-do-municipio-do-recife-revogando-a-lei-municipal-n-17511-de-29-de-dezembro-de-2008>> Acesso em: 25 nov. 2025.

Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (RECESA). Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: níveis 2 e 3. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: ReCESA, 2007. 52 p. Disponível em: <https://www.boletimdosaneamento.com.br/wp-content/uploads/2023/12/recesa_tecnicas_compensatorias_para_o_controle_de_cheias_2007-2.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2025.

REINA, D. R. M.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; REINA, D. Seleção e Análise do Perfil da Produção Científica sobre o tema Seleção de Projetos. **Revista de Gestão**, v. 21, n. 1, p. 3–25, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5700/rege516>.

RIBEIRO, C. C. B. Aplicabilidade do modelo SWMM no planejamento da drenagem de bacias urbanas brasileiras. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 07, n. 12, p. 100 – 112, 2018. ISSN:2448-0959.

RIBEIRO, A.; SILVA, R. TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM URBANA PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES: REVISÃO DE LITERATURA COM FOCO NA PREVENÇÃO DE TRAGÉDIAS URBANAS. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, 30 set. 2024.

RODRIGUES, M. S. C. *Oportunidades e desafios para a utilização de Soluções baseadas na Natureza no combate a inundações urbanas na cidade de São Paulo/SP – Brasil*. 2021. 114 p. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2021.

RODRIGUES, M. S. C.; QUARESMA, C. C.; PEREIRA, R. K. Desafios à adoção de soluções baseadas na natureza no combate às inundações urbanas na cidade de São Paulo, SP, Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR (ENANPUR), 20., 2023, Belém. Anais [...]. Belém: ANPUR, 2023. p. 01-15.

SÃO PAULO. Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas (CGE). Classificação dos alagamentos. São Paulo: CGE, 2015. Disponível em: <https://www.cgesp.net/v3/alagamentos-classificacao.jsp>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SANTOS, J. A. *Análise dos riscos ambientais relacionados às enchentes e aos deslizamentos na favela São José, João Pessoa – PB*. (Dissertação de Mestrado.) João Pessoa – PB: Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2007.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. S.; VITAL, S. R. O.; GIRÃO, O.; WANDERLEY, L. S. A. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Jaguaribe, cidade de João Pessoa/PB. **Revista Regne**, v. 2, n. especial, p. 1024-1033, 2016.

SANTOS, C. L.; WANDERLEY, L. S.; VITAL, S. R. O.; GIRÃO, O. Análise da suscetibilidade à ocorrência de enchentes e alagamento na bacia do alto/médio curso do rio Jaguaribe, João Pessoa/PB, a partir de características morfométricas extraídas de dados SRTM. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 1, n. 1, p. 37-49, 2015.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. Prefeitura Municipal de João Pessoa – PMJP. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica. João Pessoa, 2010, p. 96.

_____. Prefeitura Municipal de João Pessoa – PMJP. João Pessoa amplia áreas verdes nos espaços urbanos e segue investindo em locais de lazer. João Pessoa, 2024. Disponível em: <<https://www.joaopessoa.pb.gov.br/noticias/joaopessoa-amplia-areas-verdes-nos-espacos-urbanos-e-segue-investindo-em-locais-de-lazer/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

SEDDON, N.; CHAUSSON, A.; BERRY, P.; GIRARDIN, C. A. J.; SMITH, A.; TURNER, B. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 375, n. 1794, p. 20190120, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SEDDON, N.; SMITH, A.; SMITH, P.; KEY, I.; CHAUSSON, A.; GIRARDIN, C.; JO, C.; SRIVASTAVA, S.; TURNER, B. Getting the message right on nature-based solutions to climate change. **Global Change Biology**, v. 27, n. 8, p. 1518-1546, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. Prefeitura Municipal de João Pessoa – PMJP. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica**. João Pessoa, 2010, p. 96.

SILVA, L. M. T. Forma urbana e cotidiana na evolução de João Pessoa. **Revista Saeculum**, n. 3, p. 161-186, 1997.

SILVA, N. T. *As chuvas no município de João Pessoa: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental*. 2018. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SILVA, L. M. T. Mata Atlântica nas escolas: educação e conservação ambiental. João Pessoa: F&A, 2015. p.91.

SILVA, J. V. A.; OLIVEIRA, L. R.; SILVA, N. C. F.; MOURA, C. M. S.; VITAL, S. R. O. Mapeamento da evolução histórica do uso e ocupação do solo no município de João Pessoa, Paraíba, de 1985 a 2022. **Revista Geopauta**, v. 8, e15608, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22481/rg.v8.e2024.e15608.pt>.

SILVA, R. C. N. da. *As singularidades do bairro na realização da cidade: um estudo sobre as transformações na paisagem urbana do bairro da Torre na cidade de João Pessoa – PB*. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001074115>> Acesso em: 01 jan. 2026.

SILVA, T. C.; CARVALHO, M. B. M.; GADELHA, C. L. M.; SILVA JÚNIOR, W. R. Diagnóstico e hierarquização de problemas de drenagem urbana da zona costeira sul do estado da Paraíba. **Eng. sanit. ambiente**, v. 13, n° 2, p. 144-152, 2008.

SILVEIRA, G. B.; RODRIGUES, L. H. R.; DORNELLES, F. Uso de Soluções baseadas na Natureza (SbN) pela Gestão Pública Brasileira no Manejo de Águas Pluviais Urbanas. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 17, e20240012. DOI: 10.1590/2175-3369.017.e20240012.

SNIS. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019. 30 nov. 2020 [atualizado em 14 dez. 2020]. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019>. Acesso em: 04 set. 2025.

SOLERA, M. L.; MACHADO, A. R.; SOUZA, C. A.; VELASCO, G. D. N.; LONGO, M. H. C.; IKEMATSU, P.; AMARAL, R. D. A. M. Infraestrutura verde: alternativa para a criação de cidades resilientes e sustentáveis. Redução do risco de desastres e resiliência no meio rural e urbano. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-49.pdf> Acesso em: 10 jul. 2025.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. Correlações entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa – PB. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. VII Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia. VI Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas. VI Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos. Goiânia-GO. p. 1-7, 2014.

SOUZA, A. O.; FEITOZA, M. C.; BORSATTO, R. S.; COFFANI-NUNES, J. V.; NASCIMENTO, A. P. B. Hortas urbanas: contribuição de pequenos espaços verdes para drenagem sustentável. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2023. Disponível em: <<https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2023/02/41-1492-artigo-ANGELICAOLIVEIRADESOUZA.pdf>> Acesso em: 02 fev. 2026.

SOUZA, S. A. S de; BORNE, I.; CRUZ, R. S.; SILVEIRA, J. A. R. da; OLIVEIRA, J. X. A. de; LIMA, L. E. O. de. Revisão Sistemática da Contribuição dos Espaços Verdes para a Promoção da Qualidade de Vida através do Método Proknow-C. **Revista de Gestão - RGSA**, v. 12, pág. e010020, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n12-136.

SOUZA, S. A. S. de; BORNE, I.; CRUZ, R. S.; TEIXEIRA, V. B. F.; SILVEIRA, J. A. R. da. Análise dos espaços verdes urbanos por sensoriamento remoto em um bairro de João Pessoa/PB. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 3, n. 12, 2025. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/5527>. Acesso em: 1 ago. 2025.

SOUZA, L. H. de F. *Modelo hidrodinâmico para análise de escoamento superficial em microdrenagem: uma contribuição à geomorfologia urbana*. 2024. 254 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.5509>.

SUAREZ, G.; BELLO, O.; CAMPBELL, J. *Avaliação dos efeitos e impactos das inundações no Rio Grande do Sul*. 2024. Nota Técnica do Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID; 3039. <https://doi.org/10.18235/0013254>. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/pt/publications/portuguese/viewer/Avaliac%C3%A3o-dos-efeitos-e-impactos-das-inundac%C3%B5es-no-Rio-Grande-do-Sul.pdf>> Acesso em: 11 jul. 2025.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH, F. I. K. J. Drenagem subsuperficial de pavimentos. Conceitos e dimensionamento. **Oficina de Textos**. São Paulo, 2014. 1º edição.

SCHWARTZ, P. A arte da visão de longo prazo: planejando o futuro em um mundo de incertezas. São Paulo: Best Seller, 2000.

TOMAZ, P. Curso de manejo de águas pluviais. Capítul15 – pavimento modular. 2011. Disponível em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo15_pavimento.pdf>. Acesso em 01/01/26.

TOSCAN NETO, A.; DESTRO, C. A. M. Urban drainage network simulation using EPA SWMM for SuDS measures planning: a case study in Brazil. **Revista DELOS**, v. 17, n. 61, p. 01 – 16, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n61-018.

UE (União Europeia). 2024. Regulation European Union (EU) 1991/2024 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation EU 2022/869. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj/eng>> Acesso em: 28 jul. 2025.

UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza). The UICN Programme 2013–2016. Adopted by the UICN World Conservation Congress, September 2012.

_____. WCC-2016-Res-069-EM, Defining Nature-based Solutions, Hawaii, 2016.

_____. Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza: Un marco sencillo para la verificación, diseño y ampliación del uso de las Sbn. 2020. Primera edición. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-Es.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima). *Sharm el-Sheikh Implementation Plan*. Sharm el-Sheikh: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022. Disponível em: <<https://unfccc.int/documents/624444>>. Acesso em: 26 jul. 2025.

VASCONCELOS, A. F.; BARBASSA, A. P. Sustainable urban stormwater management in developing countries: integrating strategies to overcome Brazilian barriers. **Urban Water Journal**, 2021. DOI: 10.1080/1573062X.2021.1969415

VASCONCELLOS, C. F.; OHNUMA JÚNIOR, A. A.; NACIF, R. B.; TEIXEIRA, W. G.; PIMENTEL, L. G.; CAETANO, D. S. Jardim de chuva como ferramenta de adaptação urbana: proposta metodológica aplicada na cidade de Niterói. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e XII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO SÃO PAULO - SP, 17, 2023, XVII ENCAC e XIII ELACAC. Anais [...].

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2006.

WANDERLEY, R. C.; PAZ, A. R. da. Análise do impacto da legislação atual de João Pessoa sobre o controle da geração de escoamento. In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014, Natal/RN. Anais XII SIBESA. Natal/RN: Abes, 2014. v. 12.

WORLD BANK. Biodiversity, Climate Change, and Adaptation: Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio. Washington, DC: World Bank Publications, 2008. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6216>. Acesso em: 11 jul. 2025.

XIANG, W.; CLARKE, K. C. The use of scenarios in land-use planning. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 30, p. 885–909, 2003.

ZHOU, Q.. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. **Water**, v. 6, n. 4, p. 976–992, abr. 2014.

ZHUANG, X.; KONG, F.; ZHOU, K.; YIN, H.; BAN, Y. Evaluating urban green infrastructure for runoff reduction: A flow-based approach. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 107, p. 128799, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128799>.