UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

MAYARA NATIELY DA SILVA BESERRA

TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE: CONFORMIDADE COM O PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO RECIFE-PE

Recife
2025

MAYARA NATIELY DA SILVA BESERRA

TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE: CONFORMIDADE COM O PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO RECIFE-PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração: Segurança hídrica e usos múltiplos da água

Orientador: Prof. PhD. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Recife
2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Beserra, Mayara Natiely da Silva.
Técnicas compensatórias de drenagem urbana na bacia hidrográfica do Rio Beberibe: conformidade com o plano municipal de saneamento básico do Recife-PE / Mayara Natiely da Silva Beserra. - Recife, 2025.
126f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologias e Geociências, Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2025.
Orientação: Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.
Inclui referências e anexos.

1. Soluções baseadas na natureza; 2. Resiliência urbana; 3. Planejamento territorial; 4. Infraestrutura ambiental. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

MAYARA NATIELY DA SILVA BESERRA

TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BEBERIBE: CONFORMIDADE COM O PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO RECIFE-PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Aprovado em: 20/08/2025

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (orientador)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

_____

Prof.ª Dra. Sylvana Melo dos Santos (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

_____

Prof. Dr. Wendson de Oliveira Souza (Examinador externo)
Universidade Federal do Piauí – UFPI

Dedico esta dissertação a todos aqueles que têm
medo, mas ousam sonhar e romper as barreiras
que a vida insiste em impor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela sua infinita bondade e não só por colocar este sonho em meu coração, mas também me dar forças para trilhar o caminho para alcançá-lo, e a Nossa Senhora da Penha, por interceder por mim e me proteger.

Aos meus pais, por tanto zelo, cuidado e amor para comigo. Seguirei inegociavelmente na missão de honrá-los. Obrigada por acreditarem nos meus sonhos, muitas vezes, mais do que eu mesma.

À UFPE *Campus* Recife, nas pessoas de todos os professores os quais tive a honra de ser aluna, em especial à Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos, que durante muito tempo foi minha orientadora, e ao meu então orientador Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, muito obrigada pelo aceite de me orientar. Ambos são referência para mim e tê-los como orientadores fez total diferença no meu aprendizado e crescimento profissional. Menção honrosa aos meus colegas de turma, que dividiram esta labuta comigo e deixarem tudo mais leve. Ganhei 8 amigos que levarei sempre em meu coração.

À COMPESA, no nome de todos os meus colegas de trabalho do dia a dia, que ouviram muito o meu conversar sobre as pelejas de fazer um mestrado. Também agradeço à UNIFIS, na qual me tornei docente, e a aos meus ex-professores que hoje se tornaram colegas de trabalho.

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo analisar a aplicabilidade de três técnicas compensatórias para drenagem urbana – jardim de chuva, pavimento permeável e telhado verde – na bacia hidrográfica do Rio Beberibe, em Recife-PE, com base nas diretrizes estabelecidas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico do Recife (PMSB). A metodologia é de caráter qualitativo e descritivo, estruturada em três etapas principais: caracterização hidrológica, pluviométrica e morfométrica da bacia; revisão sistemática da aplicabilidade das técnicas compensatórias na realidade recifense; e cruzamento entre os atributos das técnicas e os critérios do PMSB. A bacia do Beberibe, com 81 km² e forte adensamento urbano, apresenta significativa vulnerabilidade a alagamentos devido à alta impermeabilização do solo e à ocupação desordenada, sobretudo no seu baixo curso. Os dados morfométricos, obtidos via geotecnologias, revelam variações de declividade e estrutura do relevo que influenciam diretamente os padrões de escoamento superficial. Os resultados revelam que o jardim de chuva é altamente alinhado ao PMSB, apresentando boa aplicabilidade em áreas públicas; o pavimento permeável é efetivo, mas demanda maior investimento; e o telhado verde, embora sustentável, enfrenta barreiras técnicas e culturais. Além disso, as técnicas possuem potencial relevante de contribuição para uma drenagem urbana sustentável, mas sua implementação requer políticas públicas robustas, incentivos financeiros e articulação institucional. O estudo conclui que há coerência entre os princípios do PMSB e as técnicas analisadas, mas aponta a necessidade de reforçar os mecanismos de normatização, financiamento e participação social para garantir a efetividade dessas soluções.

Palavras-chave: Soluções baseadas na natureza; Resiliência urbana; Planejamento territorial; Infraestrutura ambiental.

ABSTRACT

This dissertation aims to analyze the applicability of three compensatory techniques for urban drainage—rain garden, permeable pavement, and green roof—in the Beberibe River watershed, located in Recife-PE, based on the guidelines established by the Recife Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB). The methodology is qualitative and descriptive in nature, structured into three main stages: hydrological, pluviometric, and morphometric characterization of the watershed; systematic review of the applicability of compensatory techniques within the context of Recife; and a cross-analysis between the attributes of the techniques and the criteria set forth by the PMSB. The Beberibe watershed, covering an area of 81 km² and marked by high urban density, presents significant vulnerability to flooding due to extensive soil impermeabilization and disordered land occupation, especially in its lower course. Morphometric data obtained through geotechnologies reveal variations in slope and landform structure that directly influence surface runoff patterns. The results indicate that the rain garden is highly aligned with the PMSB, showing strong applicability in public areas; permeable pavement is effective but requires greater investment; and the green roof, although sustainable, faces technical and cultural barriers. Furthermore, the techniques have considerable potential to contribute to sustainable urban drainage, but their implementation demands robust public policies, financial incentives, and institutional coordination. The study concludes that there is coherence between the principles of the PMSB and the analyzed techniques, but it highlights the need to strengthen mechanisms for regulation, financing, and social participation to ensure the effectiveness of these solutions.

Keywords: Nature-based solutions; Urban resilience; Territorial planning; Environmental infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura1 – Taxa de urbanização da América Latina

Figura 2 – Processos urbanos e seus impactos no ciclo hidrológico

Figura 3 – Evolução da urbanização do bairro de Boa Viagem

Figura 4 – Localização dos pontos críticos de alagamentos da cidade do Recife

Figura 5 – Alagamentos no Recife em 2022

Figura 6 – Deslizamento de terra em Recife

Figura 7 – Esquema de um jardim de chuva

Figura 8 – Estrutura básica proposta por um jardim de chuva

Figura 9 – Composição estrutural de um telhado verde

Figura 10 – Pavimentação com blocos de cocreto permeável com drenagem da água

Figura 11 – Pavimentação permeável com desvio para microdrenagem

Figura 12 – Composição de uma bacia hidrográfica

Figura 13 – Mapa de localização das bacias hidrográficas do Recife

Figura 14 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Beberiba em Pernambuco

Figura 15 – Média mensal da precipitação no Posto Olinda 199

Figura 16 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Figura 17 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do rio Tejipió

Figura 18 – Localização da bacia hidrográfica do rio Beberibe

Figura 19 – Exemplo de urbanização e poluição no rio Beberibe

Figura 20 – Curva-chave do canal Vasco da Gama

Figura 21 – Exemplo de aplicação da função Flow Direction

Figura 22 – Exemplo de aplicação da função Flow Accumulation

Figura 23 – Hidrogramas simulados na foz do rio Beberibe para o evento 1 (a), evento 2 (b) e evento 3 (c)

Figura 24 – Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)

Figura 25 – Estatística descritiva da hipsometria

Figura 26 – Mapa hipsométrica da bacia do Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)

Figura 27 – Estatística descritiva da bacia do Beberibe

Figura 28 – Mapa de declividade da bacia do Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)

Figura 29 – Características e pontenciais de uso e ocupação da bacia do Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Elementos da microdrenagem

Quadro 2 – Tipos de técnicas compensatórias

Quadro 3 – Evolução das técnicas de controle estrutural

Quadro 4 – Apresentação de algumas estruturas de jardim de chuva propostas na literatura

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens dos jardins de chuva

Quadro 6 – Vantagens e desvantagens dos telhados verdes

Quadro 7 – Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis

Quadro 8 – Canalização na cidade do Recife e suas condições

Quadro 9 – Zoneamento da bacia do Tejipió em função do relevo

Quadro 10 – Percentual de municípios com PMSB por Região e por Inclusão do Componente Drenagem Urbana

Quadro 11 – Comparativo entre modelos de financiamento do saneamento básico por componente

Quadro 12 – Critérios para avaliação de estudos

Quadro 13 – Critérios para seleção dos estudos

Quadro 14 – Vazões de pico estimadas por seção na bacia do Beberibe

Quadro 15 – Variáveis geométricas da bacia hidrográfica do rio Beberibe

Quadro 16 – Classificação hipsométrica da bacia do Beberibe

Quadro 17 – Classificação clinográfica da bacia do Beberibe

Quadro 18 – Resultados e caracterização morfométrica da Bacia do Beberibe

Quadro 19 – Trabalhos encontrados e trabalhos selecionados

Quadro 20 – Avaliação de trabalhos que estão de acordo com o objetivo da revisão

Quadro 21 – Comparativo técnico entre projetos de jardim de chuva em Recife

Quadro 22 – Redução percentual de escoamento superficial com pavimento permeável e outra técnica combinada

Quadro 23 – Comparativo entre o uso de pavimentos permeáveis e tradicionais nos acessos ao túnel Chico Science

Quadro 24 – Vantagem e desafios dos telhados verdes no Recife

Quadro 25 – Lista de telhados verdes no Recife

Quadro 26 – Custo estimado de implantação e nível de manutenção de técnicas compensatórias

Quadro 27 – Medidas de drenagem sustentável já utilizadas na bacia do rio Beberibe

Quadro 28 – Esquema comparativo entre técnicas compensatórias e o PMSB do Recife

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
BMP	*Best Management Pratices*
EMLURB	Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento Municipal
GRH	Grupo de Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelos Digitais de Elevação
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPA	Região Político-Administrativa
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRTM	*Shuttle Radar Topographic Mission*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 Justificativa 15

1.2 Objetivos 15

1.2.1 Objetivo geral 15

1.2.2 Objetivos específicos 15

2 REVISÃO DE LITERATURA 16

2.1 Drenagem urbana: urbanização e águas pluviais 16

2.1.1 O processo de urbanização e o impacto sobre o manejo de águas pluviais 16

2.1.2 O processo de urbanização do Recife e a drenagem de águas pluviais da cidade 19

2.2 Drenagem urbana de águas pluviais e técnicas compensatórias 24

2.2.1 Sistemas convencionais de drenagem de águas pluviais 24

2.2.2 Técnicas compensatórias para drenagem de águas pluviais 26

2.2.3 Jardins de chuva 28

2.2.4 Telhados verdes 32

2.2.5 Pavimentos permeáveis 35

2.3 Bacias hidrográficas 39

2.3.1 Bacias hidrográficas na cidade do Recife 40

2.4 Geotecnologias aplicadas à drenagem urbana 48

2.4.1 Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica 49

2.4.2 Sistema de Informações Geográficas - SIG 50

2.5 Gestão e regulação da drenagem urbana 51

2.5.1 Gestão da drenagem urbana no Brasil 52

2.5.2 Gestão da drenagem urbana em Pernambuco 54

2.5.3 Gestão da drenagem urbana na cidade do Recife 55

2.5.4 Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB 57

3 MATERIAIS E MÉTODOS 59

3.1 Caracterização da área de estudo 59

3.2 Caracterização hidrológica e pluviométrica da bacia hidrográfica 62

3.2.1 Estimativa de vazão para estudo do escoamento superficial 64

3.3 Uso de geotecnologias para obtenção de dados morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe 65

3.3.1 Preparação MDE Topodata 66

3.3.2 Delimitação da bacia hidrográfica do rio Beberibe 66

3.3.3 Variáveis geométricas da bacia em estudo 68
3.3.4 Hipsometria e declividade 69
3.3.5 Cálculos para efetuar a caracterização morfométrica da bacia 70
3.4 Procedimentos para revisão das técnicas compensatórias para drenagem urbana em estudo 73
3.5 Análise comparativa com o PMSB do Recife 74
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 76
4.1 Comportamento hidrológico e pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Beberibe 76
4.1.1 Caracterização pluviométrica 76
4.1.2 Comportamento hidrológico em relação ao escoamento superficial 77
4.1.3 Implicações para o manejo da drenagem 79
4.2 Coleta e tratamento de dados morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe 79
4.2.1 Definição de limites e parâmetros geométricos 80
4.2.2 Caracterização morfométrica 82
4.3 Revisão sistemática sobre as três técnicas compensatórias para drenagem urbana 93
4.3.1 Jardins de chuva na cidade do Recife 95
4.3.2 Pavimento permeável na cidade do Recife 97
4.3.3 Telhado verde na cidade do Recife 100
4.3.4 Drenagem sustentável na bacia hidrográfica do rio Beberibe 103
4.4 Comparativo entre as técnicas compensatórias para drenagem urbana estudadas e o PMSB do Recife 105
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 109
REFERÊNCIAS 111
ANEXO A – LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE RECIFE NOS ÚLTIMOS 10 ANOS 126
ANEXO B – LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE OLINDA NOS ÚLTIMOS 10 ANOS 127
ANEXO C – LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE CAMARAGIBE NOS ÚLTIMOS 10 ANOS 128

1 INTRODUÇÃO

A industrialização das cidades é de conhecimento, desde meados do século XVIII, como o estopim para o desenvolvimento da urbanização mundial. Tendo seu início na Europa, foi o fator predominante para o crescimento e desenvolvimento das cidades, provocando o êxodo rural e, consequentemente, o inchamento de concentrações urbanas, obtendo densidades populacionais, muitas das vezes, alarmantes (Lefebvre, 1991). Tal acontecimento se expandiu em caráter mundial, no entanto, em ritmo diferente a variar de países.

No tocante da América Latina e, por conseguinte, no Brasil, o desenvolvimento industrial foi se difundindo atrelado à necessidade de infraestrutura urbana, o que contribuiu para a execução de adequações e reformas urbanas, as quais, muitas das vezes, se davam desenfreadamente, sem o seu devido planejamento (Osório, 2004). Esta expansão urbana, associada ao crescimento população desenfreado, acarreta alterações tanto no meio ambiente como na sociedade, o que está diretamente ligado à sustentabilidade, como a degradação do meio ambiente e modificações no ciclo hidrológico (Gribbin, 2017).

Um dos efeitos desta urbanização acelerada está ligado à impermeabilização do solo, devido não somente à execução de obras de pavimentação, mas a remoção da cobertura vegetal e a viabilização de obras civis desenfreadas, sem estudos prévios referentes às condições do solo e, principalmente, às bacias hidrográficas. Por consequência, após certos períodos de precipitações, muitas cidades desenvolvem problema com alagamentos, enchentes e inundações (Alencar e*t al.*, 2022). Neste contexto, surge a necessidade do desenvolvimento de técnicas e infraestrutura para a drenagem urbana de águas pluviais.

No presente contexto, tem-se o surgimento da drenagem urbana como uma das diretrizes do saneamento básico, no Brasil, o qual deve garantir saúde, bem estar e qualidade de vida aos cidadãos, por determinação pela Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007). A problematização da drenagem urbana no Brasil se dá a partir de equivocos em planos diretores das cidades, os quais, quando tocantes à drenagem urbana, avaliam a drenagem urbana de forma pontual, executando infraestruturas de drenagem como reparos emergenciais e não como soluções preventivas. Outro agravante, que intensifica esta problemática, é a persistência na utilização predominante de técnicas ultrapassadas para a execução das referidas estruturas (Tominaga, 2013).

A problemática da drenagem urbana, na maioria das vezes, é destacada a partir de uma visão restrita sobre tal, além do planejamento defasado, em sua maioria. Rezende *et al.* (2009) evidencia que os projetos de drenagem de águas pluviais, mesmo que técnicamente sejam desenvolvidos corretamente, as grandes demandas urbanas por infraestrutura conseguem se

sobressair, inviabilizando estes projetos em um curto período de tempo. Os mesmos autores destacam que as infraestruturas de drenagem de águas pluviais, consistentes em retirar a água de um meio para o outro, por canalizações, já se caracteriza como insustentável, sugerindo a necessidade de novas visões sobre esta problemática. Tucci (2005) enfatiza que, para uma drenagem urbana sustentável, deve-se aprimorar técnicas que busquem o controle na fonte, permitindo a infiltração de água no solo, amortecendo estruturas convencionais de drenagem urbana e aprimorando a sustentabilidade.

No desenvolvimento de contribuições para a infraestrutura de drenagem urbana, novas técnicas vêm sendo estudadas, denominadas compensatórias. De acordo com Nascimento e Baptista (2009), atualmente existem inumeras técnicas compensatórias para o manejo e drenagem de águas pluvias, as quais, predominantemente, têm como princípio a retenção e infiltração destas águas, fazendo seu controle na fonte e evitando inundações. Já Ellis (2008) enfatiza o uso de técnicas compensatórias que usam dos princípios de interceptação e evapotranspiração, como os telhados verdes e o manejo de áreas verdes dentro das cidades, com o objetivo de reduzir o escoamento superficial.

No presente contexto, evidenciando as técnicas compensatórias para drenagem urbana, o jardim de chuva é considerado o mais versátil e simples, tendo características de adaptação à área disponível, aos índices pluviométricos e às condições geotécnicas do local implantado. Podem ser implementados em diversos espaços abertos, como parques e estacionamentos (Berrêdo; Bonatto, 2019). Melo *et al*. (2014) relatam que a implementação de jardins de chuva pode beneficiar o local com redução de picos de vazão, que iriam para a rede de drenagem; aumento da evapotranspiração; e redução da velocidade de escoamento das águas pluviais.

Os telhados verdes se apresentam como uma ferramenta importante para o gerenciamento de águas pluviais por se tratar de um eficiente retentor de precipitações e, ao mesmo tempo, um detentor de escoamento superficial. Não somente contribuindo com a redução do escoamento superficial nas vias urbanas, os telhados verdes também contribuem com o conforto térmico na edificação onde está implantado e, em consequência, há estudos relatando que esta estrutura pode proporcionar a redução de até 1ºC da temperatura do solo (Dong *et al*., 2020). Sobre esta estrutura, Lima (2013) elabora um estudo voltado para a colaboração dos telhados verdes durante precipitações intensas, evidenciando a diminuição do pico de escoamento superficial, aliviando a infraestrutura de drenagem urbana convencional.

Pavimento permeável é um dispositivo de infiltração no qual o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (Urbonas e Stahre, 1993). A depender do tipo de solo que

será instalado, o reservatório de pedras pode destinar a água pluvial diretamente para a infiltração do solo, regularizando as vazões mínimas dos mananciais (Tucci *et al*., 2000). No Brasil, a utilização do concreto permeável ainda é recente, embora haja literatura sobre a técnica desde o ano de 2000, tais como Tucci *et al*. (2000), Acioli (2005) e Silva (2006). Esta técnica é regida pela norma ABNT NBR 16416:2015 — Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos, que estabelece os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto.

No âmbito da drenagem urbana, o estado de Pernambuco, em sua maioria, ainda se encontra em desvantagem no desenvolvimento de técnicas e estruturas para este sistema. A região metropolitana do Recife tem recorrentes problemáticas a partir de águas pluviais, as quais, em sua maioria, estão relacionadas à topografia da região, às alterações na bacia, como o aterramento dos mangues, e ao grande teor de resíduos sólidos descartados de forma incorreta pela população. Estes impasses implicam no manejo de águas pluviais, ocasionando, principalmente nos meses de maio a agosto, fortes precipitações e grandes alagamentos (Coutinho, 2011).

Segundo Silva Júnior *et al.* (2020), os riscos de alagamento na cidade do Recife têm procedência, principalmente, da quantidade de chuvas torrenciais, seja na área da cidade ou nas áreas mais elevadas das cidades vizinhas. Levando em consideração que Recife abrange três Bacias Hidrográficas – Rio Capibaribe, Rio Beberibe e Rio Tejipió –, as inundações fluviais também são recorrentes, causadas pelas chuvas nestes rios e pelas marés altas, que em maior amplitude, alagam partes baixas da cidade.

Ainda conforme a Lei nº 11.445/2007, todos os municípios brasileiros devem elaborar um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), tornando-se um instrumento de planejamento e gestão para as cidades. O PMSB deve abranger todas as diretrizes do saneamento básico, e, evidentemente, a drenagem urbana (Brasil, 2007). O PMSB do Recife, a partir da Lei municipal nº 18.208/2015, está em consonância com o que pede a Lei nº 11.445/2007, estabelecendo recomendações e diretrizes voltadas à diminuição do coeficiente de impermeabilização nas edificações e equipamentos urbanos, como ação emergencial, o que aumentam as áreas de vegetação, a fim de reduzir o escoamento superficial e contribuir com a drenagem urbana da cidade.

Na tentativa de contribuir com a drenagem urbana e o manejo de águas pluviais na cidade do Recife, o presente trabalho analisa três técnicas compensatórias para drenagem urbana, realizando um estudo sobre a sua aplicabilidade local, viabilizando sua eficiência na necessidade e peculiaridades de drenagem urbana na área da Bacia Hidrográfica do Rio

Beberibe a partir de suas características morfométricas e fisiográficas, na abrangência do Recife, e analisando sua relação no cumprimento das normas e técnicas estabelecidas pelo PMSB do Recife.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha de tais técnicas se justifica a partir da necessidade de reduzir o impacto de chuvas intensas, que sobrecarregam a infraestrutura de drenagem urbana convencional, o que é um histórico da cidade, devido a questões técnicas e de interferência antropológica no meio ambiente. Este estudo também analisa a conformidade da aplicabilidade destas técnicas compensatórias com o PMSB do Recife, buscando a sustentabilidade atrelada às especificidades locais, alinhando-se com a adaptação às mudanças climáticas e as políticas públicas para a gestão de recursos hídricos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar a aplicabilidade de três técnicas compensatórias para drenagem urbana (jardim de chuva, telhado verde e pavimento permeável) no Recife, na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe, em consonância com as características hidrológicas, pluviométricas e morfométricas, avaliando sua conformidade com o PMSB.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterização pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe considerando os dados disponibilizados no HidroWeb e pela APAC;
- Caracterização quantitativa da forma e estrutura da Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe por meio de dados morfométricos obtidos do ArcGIS;
- Consolidação das informações técnicas das técnicas compensatórias consideradas (jardim de chuva, telhado verde e pavimento permeável) já executadas na cidade do Recife; e
- Análise do impacto de implementação das técnicas compensatórias consideradas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DRENAGEM URBANA: URBANIZAÇÃO E ÁGUAS PLUVIAIS

2.1.1 O processo de urbanização e o impacto sobre o manejo de águas pluviais

A industrialização e a urbanização estão atreladas desde meados do século XVIII, quando se consolidou, na Europa, a Revolução Industrial. Caracteriza-se a urbanização como o processo de desenvolvimento econômico e social, efetivado após o êxodo rural, que transforma uma economia que era predominantemente rural em uma economia concentrada nos grandes centros urbanos. Com o passar dos anos, este processo foi se intesificando. No ano de 1900, estima-se que 13% da população global encontrava-se nos centros urbanos. Em 2007, este valor sobe para, aproximadamente, 50%, mas ocupando apenas 2,8% do globo terrestre. Há previsão de que, até 2050, a população urbana mundial entrara para a casa dos 70%, em média, totalizando 9 bilhões de pessoas em áreas urbanas (UN, 2009).

No que se trata da América Latina, o processo de urbanização está ainda mais acelerado. Estudos da ONU-Habitat (2012), como evidenciados na Figura 1, estimam que, em 1950, esta região possuia uma taxa de urbanização, em média, de 30%. Em 2010, a América Latina possuia a mais elevada taxa do planeta, chegando, aproximadamente, a 80%, sendo mais do dobro das taxas da África e Ásia. Urban (2003) afirma que, até 2030, esta taxa subirá em 4%.

Figura 1 – Taxa de urbanização da América Latina

Fonte: ONU-Habitat (2012)

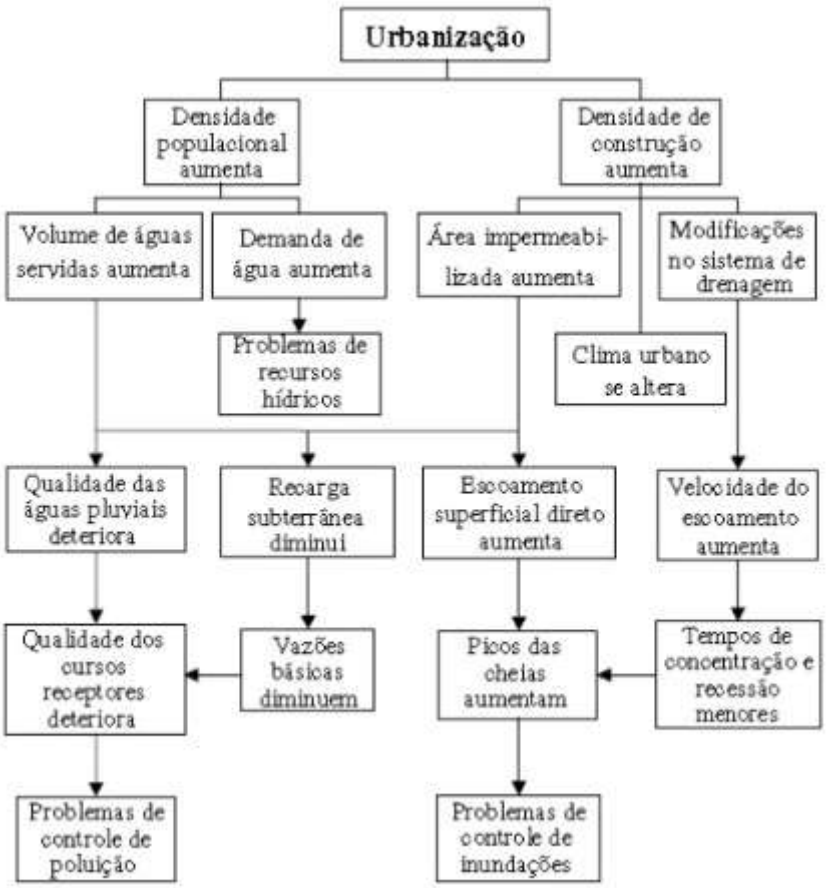
No que se trata de taxa de urbanização do Brasil, a tendencia se repete. Mondardo (2007)

estipula que entre os anos de 1940 a 1980, o percentual cresce de 26,5% para 69%, aproximadamente, acompanhando o que acontece em quase todo o mundo. Na década de 1990, 77% da população brasileira estava nos centros urbanos, representando um quantitativo de população equiparado a 10 anos antes. Em 2010, o IBGE estimava que, em média, 84,4% da população brasileira encontrava-se no meio urbano, ocupando a 26ª colocação do ranking mundial da maior taxa de urbanização. Já em 2022, o IBGE evidencia que, aproximadamente 87,4% da população brasileira vive em áreas urbanas.

Com uma taxa de urbanização expressiva, é evidente que o uso e ocupação do solo, atrelado à impermeabilização, tem aumento na mesma proporção. Isso é evidenciado pelo impacto na infraestrutura de recursos hídricos, principalmente na drenagem urbana, com o aumento da magnitude e frequência das inundações. Nesta situação, a ocorrência natural do ciclo hidrológico é modificada, pois, a impermeabilização do solo faz com que a água que ali infiltrava, ou evaporava, ou era interceptada pela cobertura vegetal, agora se torna escoamento superficial (Bergamo, 2006). O Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Tecnológico (MCT/CGE, 2001) já falava sobre as consequências da urbanização desenfreada, estimando que o Brasil perde, em média, mais de um bilhão de dólares anualmente com enchentes urbanas, apontando sua principal causa a elevada concentração da população no meio urbano.

Hall (1984) *apud* Tucci (2004) esquematiza, na Figura 2, como a saturação populacional na urbanização e, consequentemente, na impermeabilização do solo, está ligada ao manejo de águas pluviais neste meio, impactanto no ciclo hidrológico.

Figura 2 – Processos urbanos e seus impactos no ciclo hidrológico



Fonte: Hall (1984) *apud* Tucci (2004)

Desta maneira, conclui-se que o referido processo de urbanização acarreta, diretamente, o aumento do escoamento superficial, aumentando, consequentemente, a capacidade da infraestrutura de drenagem, se já existente. O aumento da capacidade de volume dos rios, lagos, canais e córregos também se dão a partir desta problemática.

Yannopoulos *et al.* (2013) evidenciam que todo esse processo de urbanização está diretamente ligado à redução de áreas permeáveis nas áreas urbanas, contribuindo significamente para alterar as características do hidrograma de enchentes, no entanto, ações como retificações e canalizações do curso de água podem contribuir ainda mais para esta problemática. Segundo Tucci (2013), as intervenções citadas atreladas à desordem do processo de urbanização acarretam o aumento da velocidade de escoamento superficial de águas pluviais, a redução de tempo e aumento da vazão de pico e a diminuição do tempo de concentração da bacia hidrográfica.

É sabido que dentro do ciclo hidrológico, naturalmente, há condicionantes para cheias, no entanto, intervenções humanas estão diretamente ligadas ao agravamento das consequências destes fenômenos. Além da impermeabilização do solo, o uso e ocupação das planícies naturais

de inundação e a deterioração dos cursos de água por obras hidráulicas negligentes, contribuem negativamente para a repetição de eventuais inundações, elevando a um negativo impacto socioeconômico e cada vez mais recorrente e intenso nas cidades brasileiras (Medeiros, 2011).

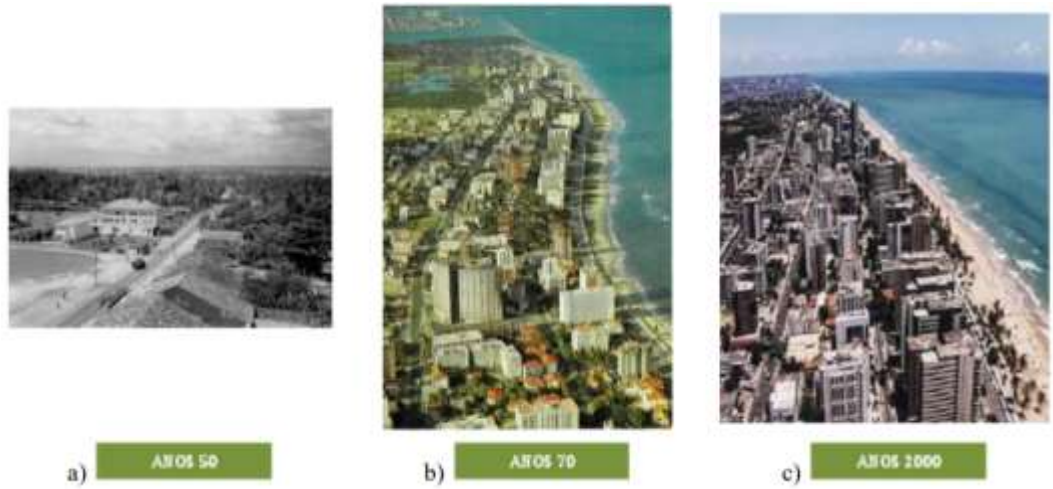
2.1.2 O processo de urbanização do Recife e a drenagem de águas pluviais na cidade

Segundo Preuss e*t al.* (2011), o início da urbanização da no centro da cidade do Recife se deu no século XVI, quando ainda pertencente à Vila de Olinda. No entorno do Rio Capibaribe se deu o desenvolvimento de muitos engenhos, atraindo a povoação para o local. Contudo, foi somente no início do século XX que o processo de urbanização no local foi intensificado, acarretando em mudanças no uso e ocupação do solo, partindo para modificações de espaços horizontais e verticais. A partir da década de 1970 se teve o aceleramento dos processos construtivos no Recife, ocasionado a partir do adensamento populacional provocado pela urbanização, principalmente na faixa litorânea – estendendo-se para os muniícipios vizinhos de Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Paulista.

Desta forma, sabendo que Recife tinha um espaço territorial menor, ao comparar com outras capitais no nordeste, as construções verticais foram se desenvolvendo cada vez mais, principalmente nas áreas próximas ao mar. Segundo Preuss e*t al.* (2011), em 1996, os prédios resindenciais com mais de 10 pavimentos ocupavam um percentual de 43% das edificações da cidade. Em 2003, este percentual é aumentado para 57%, representando a velocidade que esta tendência foi imposta.

O bairro de Boa Viagem, no Recife, é uma área próxima ao mar. A Figura 3 demonstra o processo evolutivo da urbanização deste bairro, dos anos de 1950 a 2000.

Figura 3 – Evolução da urbanização do bairro de Boa Viagem



Fonte: Skyscrapercity (2013)

Em ciência de que o processo de urbanização, em sua maioria, na cidade do Recife, ocorreu de forma desordenada, a ocupação urbana se deu, predominantemente, em região estuarina, sendo formada pelos principais Rios: Capibaribe, Beberibe e Tejipió. Por este motivo, o sistema de drenagem de águas pluviais é amplamente vulnerável ao nivel do mar e oscilações da maré, acarretando nas problemáticas recorrentes de alagamentos em épocas chuvosas, tendo a maré de sizígia – fenômeno oceânico que ocorre com a lua, a terra e o mar alinhados – como fator agravante.

Somado a isso, características físicas da cidade do Recife, como o lençol freático ir para próximo da superfície e aflorar em épocas chuvosas, as baixas cotas do território em relação ao nivel do mar e áreas predominantemente planas, são características do meio natural que dificultam a drenagem de águas pluviais. Entretanto, estes não são os únicos agravantes. O alto índice de impermeabilização do solo, o adensamento populacional acarretando no aumento do número de construções, principalmente às margens de canalizações de riachos urbanos e questões de destinação final de resíduos sólidos também contribuem para prejudicar a infraestrutura de drenagem urbana.

Segundo Sousa *et al.* (2013), Recife está localizado em uma região de clima tropical seco e úmido, possuindo índices pluviométricos elevados, chegando a atingir médias anuais de precipitação de até 2.300 mm, com intensidade variável ao passar do tempo. Com isso, a variabilidade temporal de precipitação no Recife se apresenta como uma das principais características do regime de chuva no município.

O fato de Recife estar em área costeira induz como fator determinante o comportamento do nível do mar, no tocante da sua relação com os sistemas de drenagem urbana, para averiguar o seu desempenho durante eventos extremos de chuva. Nessa situação, durante as preamares, a cota entre o local a ser drenado e a área para onde a água irá fluir será diminuida, deixando o sistema de drenagem mais lento, principalmente nos locais onde a drenagem é conduzida por gravidade (Silva; Cabral, 2014). Com isso, de acordo com a Tábua de Marés, as marés de sizíga no Recife atinge níveis de preamar de 2,70 m e baixa-mar de -0,20 m, somando uma amplitude de 2,90m.

A EMLURB (2013) enfatiza que a macrodrenagem do Recife tem uma grande parte constituida por canais, totalizando quase 90 espalhados pela cidade, chegando a 110 km de extensão, podendo representar 0,50 km de canal por km² da área urbana. Já no que se refere à microdrenagem urbana da cidade, existe aproximadamente 1.000 km de extensão.

Relacionando a macrodrenagem às bacias hidrográficas ali abrangentes, sabe-se que

apenas 19 canais estão na bacia hidrográfica do Rio Beberibe, situado na área norte da cidade. A bacia do Rio Capibaribe tem predominância, com 32 canais, ambos situados nos bairros centrais da cidade. Um total de 30 canais estão espalhados pela bacia hidrográfica do Rio Tejipió, abrangendo suas quatro sub-bacias, situadas no centro-sul da cidade. Por fim, 6 canais na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão drenam boa parte da zona sul do Recife (EMLURB, 2013).

É sabido que o processo de urbanização aumenta a quantidade de áreas impermeabilizadas em um dado local, e, consequentemente, há a diminuição da infiltração naquela localidade, aumentando o escoamento superficial, gerando sobrecarga na infrastrutura de drenagem de águas pluvias, quando existente, principalmente em pontos mais vunaráveis, tendo como produto o surgimento de alagamentos no percurso, em períodos chuvosos. A EMLURB (2013) mostra que, no início da ubanização do Recife, o coeficiente *runoff* – relação entre o volume de água escoado e o volume precipitado – era de 0,15, ou seja, 15% da água precipitada contribuia para a formação de escoamento superficial. Em 2013, este coeficiente superava 0,8 em algumas áreas.

A partir de dados da EMLURB (2013), evidenciou-se que o Recife apresentava, até 2013, 159 pontos de alagamento, dentre eles, 29 vias apresentavam esta problemática em toda a sua extensão, em maioria nos bairros do Arruda e Jardim São Paulo. O município do Recife, em termos de regionalização, se divide em 6 RPA's (Região Político-Administrativa), desenvolvidas para avaliação permanentes das políticas e do planejamento governamentais, apresentando-se da seguinte forma:

- RPA 1 (Centro) - Com um total de 32 ruas com registro de alagamentos, o maior número de ruas com problemas de alagamentos encontram-se nos bairros de Santo Amaro e São José, totalizando 10 ruas em cada bairro;
- RPA 2 e 3 (Norte e Noroeste) - O bairro do Arruda, com 7 pontos de alagamento, se destaca entre os bairros com maior número de problemas de drenagem das RPA's em questão, que apresenta um total de 42 ruas com ocorrência de alagamentos;
- RPA 4 (Oeste) - Apresentando um total de 18 ruas com problemas de alagamentos, o bairro da Cidade Universitária se destaca com 6 vias;
- RPA 5 (Sudoeste) - Os bairros Jardim São Paulo (11 ruas) e Estância (10 ruas) são os bairros mais afetados do total de 37 ruas com problemas de drenagem da RPA em questão;
- RPA 6 (Sul) - O bairro de Boa Viagem se destaca, na RPA considerada, com 17 ruas

apresentando problemas de drenagem, seguido pelo Ibura (6 ruas) e Imbiribeira (5 ruas), de um total de 35 ruas com ocorrência de alagamento.

Na intenção de melhorar a visualização, Silva Júnior (2015) desenvolveu a Figura 4 a partir dos dados da EMLURB apresentados.

Figura 4 – Localização dos pontos críticos de alagamentos da cidade do Recife

Fonte: Silva Júnior (2015)

Evidencia-se, portanto, a partir dos dados apresentados, que a cidade do Recife é muito afetada em períodos chuvosos, não somente pelo processo de urbanização desordenado, o qual marcou sua concepcção, mas também por ser uma cidade do litoral que apresenta características de relevo como tal, além de ter oscilações na maré ali, como também, em certas épocas do ano, apresentar precipitações com altos indíces pluviométricos. No final, tudo contribui para dificultar os sistemas de drenagem urbana.

Em 2022, desastres de chuvas ocorridas no Recife, denominaram a maior tragédia natural do século no estado de Pernambuco, segundo o G1 (2022). Em maio de 2022, dentro de uma semana, Recife chegou a registrar um acumulativo de chuva de 500 milímetros, sendo considerada "fora do padrão". Este acontecimento acarretou em alagamentos por drenagem de

águas pluviais insuficiente e inundações dos rios que transbordaram, além de, consequentemente, deslizamento e afundamento de terra, como mostram as Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Alagamentos no Recife em 2022

Fonte: G1 Pernambuco (2022)

Figura 6 – Deslizamento de terra em Recife

Fonte: G1 Pernambuco (2022)

2.2 DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAIS E TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

2.2.1 Sistemas convencionais de drenagem de águas pluviais

A partir do riscos de eventos climáticos, acarretando em inundações nos centros urbanos,

como já evidenciado neste trabalho, estruturas para drenar estas águas precipitadas começaram a ser implementadas nas cidades, de forma que evitem transtornos e prejuízos para a sociedade. Segundo Tominaga (2013), para desenvolver projetos de drenagem de águas pluviais, necessita-se ter em mente duas premissas:

1. O escoamento ocorrerá mesmo com diante de um sistema de drenagem adequado. Entretanto, em casos de inexistência ou ineficiência do sistema, as águas pluviais tendem a se acumular em pontos críticos, geralmente em menor cota do terreno, ocasionando alagamentos;
2. Um sistema de drenagem de águas pluvias só será solicitado durante um evento de precipitação ou imediatamente depois.

Resumidamente, um sistema de drenagem de águas pluviais convencional inicia desde os coletores pluviais de edifícios, com ligação para a rede pública, até alcançar a fase final da macrodrenagem, geralmente desaguando em rios. O intuito, neste sistema, é realizar o manejo das águas pluviais, retirando-as de um ponto e levando para outro. Um sistema de drenagem urbana pode se dividir em dois subsistemas: microdrenagem e macrodrenagem.

2.2.1.1 Microdrenagem

De acordo com Porto *et al*. (2001), a microdrenagem é dependente do traçado das ruas em uma cidade, estando atrelada ao uso e ocupação do solo, quando não se tem um escoamento superficial bem representado. Em um sistema de drenagem de águas pluviais, a microdrenagem é onde todo o processo se inicia, chamando atenção para o seu dimensionamento de forma correta, uma vez que erros no seu dimensionamento prejudicam toda a eficácia do sistema. Os mesmos autores definem a composição da microdrenagem urbana e a descreve, como mostra o Quadro 1:

Quadro 1 – Elementos da microdrenagem

Elemento	Descrição
Galeria	Canalizações públicas destinadas a conduzir as águas pluviais provenientes de bocas de lobo.
Poço de visita	Dispositivos localizados estrategicamente que permitem a mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e inspeção e limpeza.
Trecho	Porções de galerias situadas entre dois poços de visitas.
Bocas de Lobo	Dispositivos localizados estrategicamente nas sarjetas para capitação de águas pluviais.
Tubos de ligação	Canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais das bocas de lobo para as galerias ou poços de visita.
Meio-fio	Elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua com sua face superior no nível do passeio.
Sarjetas	Faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam.
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo que escoa pelas sarjetas.
Condutos forçados	Obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas de maneira segura e eficiente.
Estações de bombeamento	Conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando não houver mais condição de escoamento por gravidade, para um outro canal ou receptor final em nível mais elevado.

Fonte: Adaptado de Porto *et al.* (2001)

2.2.1.2 Macrodrenagem

A macrodrenagem tem a função de captar as águas pluviais provenientes da microdrenagem, conduzindo-as para sua destinação final, especificada em projeto de drenagem urbana. Esta destinação ainda pode ser composta por obras de canais, revestidos ou não, ou obras de bacias de retenção. Porto e*t al.* (2001) também alerta para o cuidado com o dimensionamento dos sistemas de macrodrenagem, assim como a manutenção dos mesmos, priorizando a diminuição dos alagamentos.

Contudo, mesmo com um projeto, dimensionamento e manutenção adequados para um sistema de macrodrenagem, este é totalmente dependente do bom funcionamento da microdrenagem. Rezende e*t al.* (2009) evidencia que, apesar dos estudos desenvolvidos em relação aos sistemas de drenagem, estes têm uma vida útil limitada, se tornando ineficiente com a evolução da urbanização, que, consequentemente, aumenta a demanda da estrutura. Os autores também mostraram que o modo convencional de infraestrutura para drenagem urbana, por meio de retirar água por canalizações, se torna insustentável, precisando se reinventar com novas

técnicas.

Nesse intuito, sabe-se que o conceito de retenção, ou detenção, é limitado, estando diretamente dependente da não excedência da capacidade do canal ou bacia de retenção. Foi a partir desta questão que novas técnicas para drenagem urbana vêm sendo estudadas e executadas, com foco na melhoria do sistema convencional e no aumento da sustentabilidade no seu desenvolver.

2.2.2 Técnicas compensatórias para drenagem de águas pluviais

No intuito de contribuir com a infraestrutura tradicional de drenagem de águas pluviais, novos estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de colaborar com este sistema que, em certas ocasiões, não se mostra suficiente para seu objetivo final, isso porque na tentativa de um sistema hidráulico eficiente, as técnicas convencionais de microdrenagem e macrodrenagem urbana visam apenas drenar o ambiente e levar esta água para pontos mais distantes, não procurando solucionar a problemática na fonte.

As técnicas compensatórias para drenagem urbana se desenvolvem na busca por amortecimento de vazões de águas pluviais, compensando o sistema de drenagem convecional previamente existente no local, diferentemente da infraestrutura clássica de drenagem urbana, que visa somente as situações de cheia, gerando altos custos para executar obras de canais e modificar os trajetos naturais dos rios. A compensação destas águas pluviais destina-se a diminuir os danos acarretados pela impermeabilização do solo, aumentando os níveis de infiltração de água no solo, diminundo a velocidade do percurso superficial das águas e aumentando a evapotranspiração, tendo, com isso, a diminuição dos impactos da urbanização (Tucci, 1995 *apud* Lima, 2022).

Existem diversas técnicas compensatórias para drenagem urbana, no entanto, o objetivo para todas é o mesmo: apresentar vantagens em relação aos custos para a infraestrutura de drenagem de águas pluviais. A maioria destas técnicas têm como princípio reduzir o tempo de vazão e a vazão de pico, principalmente pela infiltração de água no solo. O custo logo é reduzido pela diminuição no uso de tubulações, em um comparativo com a metodologia tradicional de drenagem. Entretanto, vale ressaltar que cada técnica tem suas características, vantagens e desvantagens, precisando conhecê-las para atestar qual a mais ideal, a partir da situação pre-existente (Almeida, 2014).

Mesmo tendo conhecimento de que os objetivos primários para prevenção de desastres, a partir da redução de inundações e poluição das águas, sejam as principais premissas para

serem levadas em consideração em uma tomada de decisão, no tocante dos sistemas de compensação de drenagem urbana, seja para escolher uma única técnica ou uma combinação de técnicas, deve-se também levar em consideração: desempenho hidráulico, impactos ambientais e sociais, além de considerar a viabilidade econômica de execução da estrutura, operação e manutenção.

Em razão disso, Baptista e Nascimento (2011) dividiram as técnicas compensatórias para drenagem urbana, como mostra o Quadro 2, em dois grupos: estruturais e não estruturais.

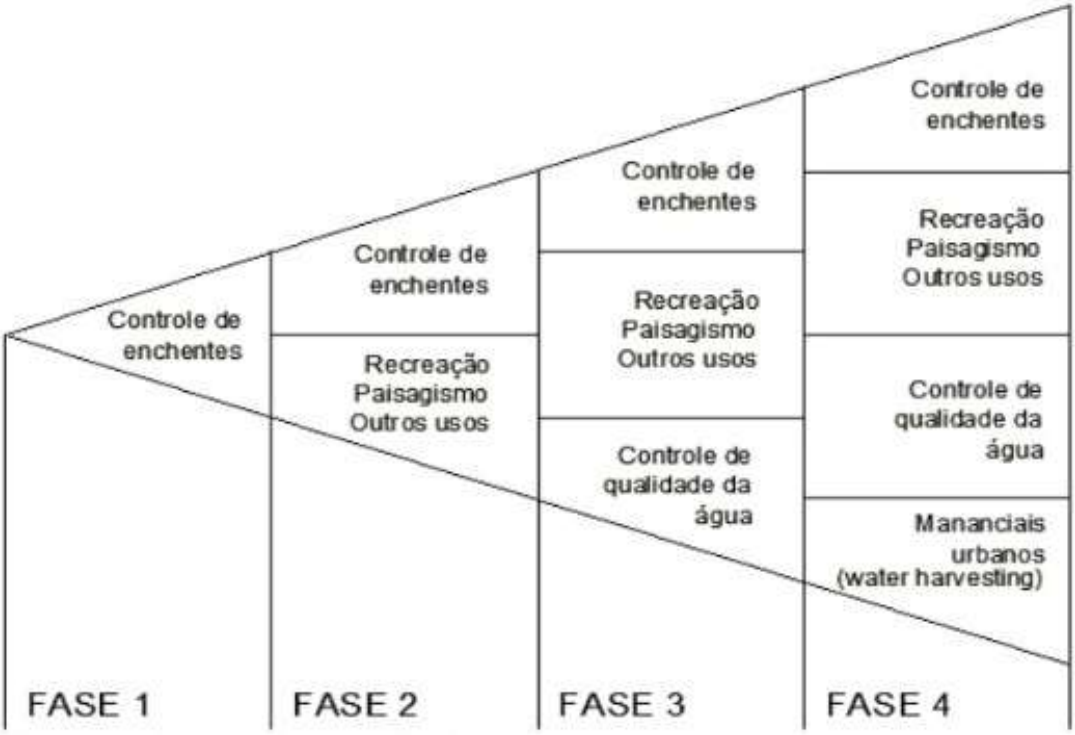
Quadro 2 – Tipos de técnicas compensatórias

TIPOS DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS			
Técnicas compensatórias não estruturais	Regulação do uso do solo Recuperação de matas ciliares - parques lineares Não conexão ou desconexão de áreas impermeáveis Uso de revestimento de elevadas rugosidades em vias e canais Manejos de fertilizantes, pesticidas e detergentes		
Técnicas compensatórias estruturais	Controle na fonte	Localizado	Telhado verde Micro reservatório Poço de infiltração Plano de infiltração
		Linear	Trincheira de infiltração Vala de detenção Pavimento reservatório Pavimento permeável Áreas úmidas lineares
	Centralizado	Bacias de detenção ou retenção Bacias de infiltração Bacias de detenção Áreas úmidas artificiais	

Fonte: Baptista e Nascimento (2011)

No tocante das técnicas compensatórias estruturais, voltando-se para a evolução e os benefícios trazidos por estas, Walesh (1989) *apud* Canholi (2005) as classificam em quatro fases, como mostra o Quadro 3:

Quadro 3 – Evolução das técnicas de controle estrutural



Fonte: Walesh (1989) *apud* Canholi (2005)

Também segundo Canholi (2005), até o presente momento do seu estudo, a aplicação de técnicas compensatórias para drenagem urbana estruturais no Brasil estavam na Fase 2, mas já se desenvolvendo para a Fase 3, com pesquisas voltadas para o controle de qualidade de águas.

Para esta pesquisa, considera-se apenas três técnicas compensatórias: jardim de chuva, telhado verde e pavimento permeável. Mesmo com todas as técnicas existentes, conforme mostrado anteriormente no Quadro 2, as três técnicas compesatórias selecionadas apresentam-se majoritariamente com maior volume de literatura desenvolvida na cidade do Recife.

A seguir serão descritas três técnicas compensatórias que serão objeto de estudo da presente dissertação.

2.2.3 Jardins de chuva

No que se refere à tecnicas compensatórias para drenagem urbana, Kasprzyk *et al.* (2022) destacam as soluções fundamentadas na natureza e o desenvolvimento destas técnicas como uma ferramenta inovadora e de ampla abrangência no objetivo de ampliar os ecossistemas urbanos, preservando as águas de chuva, reduzindo o escoamento superficial e, consequentemente, diminuindo a frequência de eventos críticos causados pelas inundações,

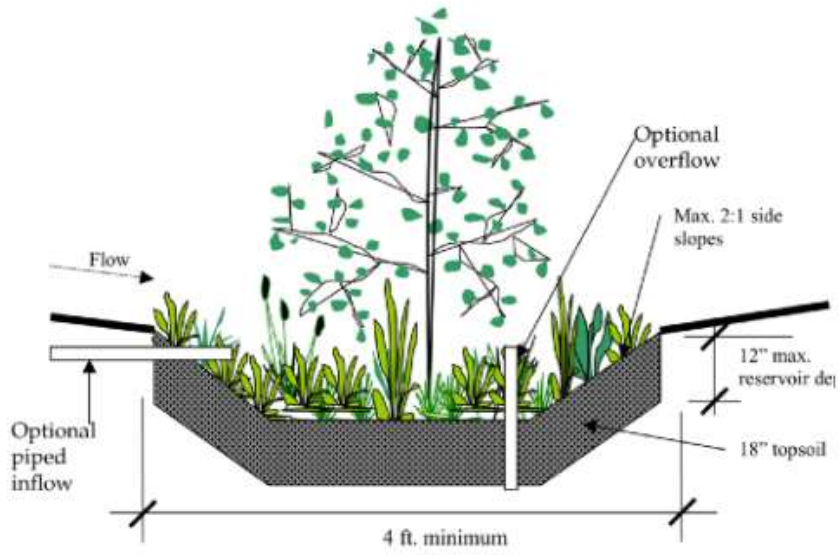
além de previnir a poluição do lençol freático e melhorar as características do clima local. Sabendo disso, os mesmos autores citam como exemplo a cidade de Gdańsk, na Polônia, que foi pioneira no desenvolvimento da técnica dos jardins de chuva.

Os jardins de chuva se comportam como um sistema de biorretenção, o mais conhecido dentre eles, que se estruturam em áreas escavadas, com preenchimento por material granular permeável em uma camada e, logo em seguida, por uma camada de material orgânico, fornecendo um sistema com função de retenção, filtração e infiltração. Os jardins de chuva são estruturas que fornecem um desvio da água para uma região permeável, captando águas para si e contribuindo com a redução de escoamento superficial, além de ter múltiplos benefícios, colaborando também com o paisagismo no local (Aravena; Dussaillant, 2009).

Santos (2020) descreve que o jardim de chuva se trata de um dispositivo que capta as águas pluvias escoadas superficialmente próximas a ele, permitindo sua infiltração no solo. Já Li e Zhao (2008) afirmam que esta técnica se comporta como uma estrutura hidrológica funcional na localidade aplicada, com bom custo-benefício e uma manutenção simplificada, que funciona com a integração do solo-planta-atmosfera, permitindo a infiltração, retenção e adsorção, reduzindo o escoamento superficial ao mesmo tempo que purifica e absorve água pluvial em pequenas áreas. De modo geral, as águas pluviais se concentram na superfície coberta por vegetação e ali seguem o ciclo hidrológico, seja infiltrando, seja evaporando ou evapotranspirando.

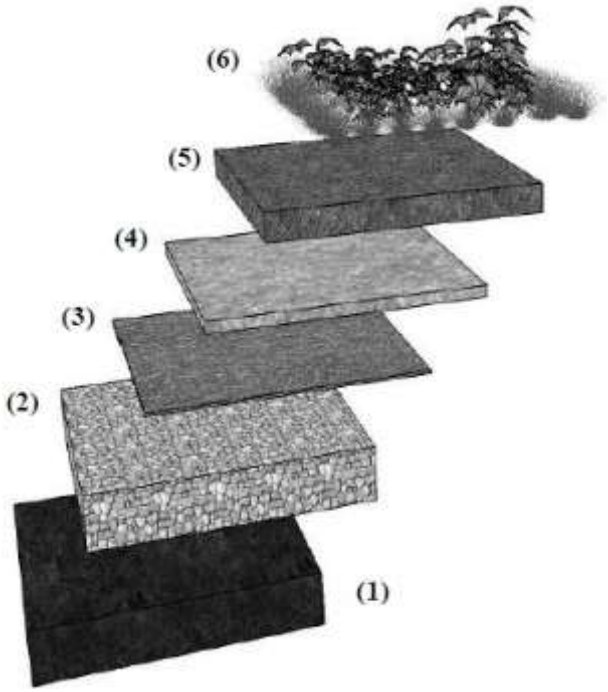
As Figuras 7 e 8 evidenciam a técnica compensatória dos jardins de chuva.

Figura 7 – Esquema de um jardim de chuva



Fonte: PA BMP MANUAL (2006)

Figura 8 – Estrutura básica proposta por um jardim de chuva



Fonte: adaptado de Dunnet e Clayden (2007)

Na figura 9, a estrutura básica proposta por um jardim de chuva, da superfície para o interior, se comporta da seguinte forma:

(6) Camada superficial onde são dispostas as vegetações do jardim de chuva, recomendando-se a utilização de gramíneas, plantas rasteiras, arbustivas e de espécies nativas, por se adaptarem melhor ao clima da região.

(5) Local que contém todos os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal utilizada.

(4) Camada formada, em sua maioria, por areia, para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo.

(3) Camada constituída por uma manta geotêxtil, destinada à retenção de finos carreados no processo de infiltração.

(2) Camada formada por brita ou cascalho, onde a água é temporariamente abrigada antes de ser destinada ao solo natural.

(1) Local onde a água infiltrada pode ser utilizada para recarga subterrânea, armazenamento ou ambos – sistema combinado.

Neste contexto, Dunnet e Clayden (2007) evidenciam as duas questões importantes para o funcionamento eficiente de um sistema de jardim de chuva, em relação ao seu comportamento hidráulico: o controle do volume de água escoada, principalmente pelo seu nível/cota mais baixo, facilitando a captação e a retenção da água; e o melhoramento das características de

qualidade da água retida, a partir da sua filtração passando pelas camadas da estrutura, removendo poluentes adquiridos durante o escoamento superficial.

Li e Zhao (2008) consideram que, em relação ao projeto, os jardins de chuva são ideiais para ser implementados em áreas residenciais, sugerindo dimensionar os sistemas para receber contribuição de águas pluviais oriundas de calçadas e telhados. Tendo sua prevalência em áreas pequenas, os jardins de chuva têm como critério de dimensionamento de, ao menos, 5% da área superficial impermeabilizada. Os mesmos autores também chamam atenção para o estudo do solo onde o jardim de chuva está sendo projetado, tomando como base a permeabilidade do solo e as condições do lençol freático, sabendo que este último pode ser uma condicionante para limitar o projeto, uma vez que ele esteja muito próximo da superfície.

O Quadro 4, segundo Melo *et al.* (2014), resume algumas estruturas de jardim de chuva encontradas na literatura. Os mesmos autores ainda evidenciam os processos naturais, como fitorremediação, decomposição, desnitrificação, evapotranspiração e adsorção, considerando que os mesmos também ocorrem no jardim de chuva, evidentemente, em menor escala. A cobertura vegetal influencia diretamente no desempenho do sistema, estando diretamente ligada à evapotranspiração e atuando no contexto hidráulico da capacidade de infiltração.

Quadro 4 – Apresentação de algumas estruturas de jardim de chuva propostas na literatura

Referência	Estrutura das camadas proposta
Dussaillant, Wu e Potter, 2004	1. Subsolo urbano sem espessura definida; 2. Geotêxtil (manta filtrante); 3. Areia – 70 cm; 4. Adubação – 50 cm de mistura (60% de areia e 40% de matéria orgânica); 5. Cobertura vegetal.
Aravena e Dussaillant, 2009	1. Areia – 150 cm; 2. Adubação – 50 cm de mistura – 50% de areia e 50% de composto orgânico; 3. Cobertura vegetal.
Muthanna, Viklander e Thorolfsson, 2008	1. Cascalho – 10 cm; 2. Malha fina de plástico (filtração); 3. Areia grossa – 50 cm; 4. Adubação – 5 a 10 cm; 5. Bordo livre para retenção – 15 cm; 6. Cobertura vegetal.
Trowsdale e Simcock, 2011	1. Areia – 15 cm; 2. Calcário – 60 a 70 cm; 3. Solo misto – 30 a 40 cm – pedregulhos e solo fértil; 4. Mistura de folhas – 5 cm; 5. Cobertura vegetal.

Fonte: Adaptado por Melo *et al.* (2014)

Também em Melo *et al.* (2014), pode-se evidenciar as vantagens e desvantagens do uso de sistemas de jardins de chuva com a finalidade de contribuir com a drenagem urbana no local, como mostra o Quadro 5:

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens dos jardins de chuva

Vantagens	Desvantagens
Retenção temporária das águas diminuindo assim os picos de escoamento.	Custo de implantação elevado em comparação com outras técnicas de controle de alagamentos.
Recarga das águas subterrâneas.	Riscos de colmatação para estruturas muito grandes.
Menor custo de manutenção por não utilizar tubulações.	Necessidade de um espaço para implantação relativo a área de contribuição.
Fácil aceitação pela população.	

Fonte: Melo *et al.* (2014)

2.2.4 Telhados verdes

O telhado verde, também conhecido como cobertura verde, telhado ecológico, ecotelhado, entre outros, é uma técnica que permite reduzir os prejuízos causados à natureza, se diferenciando dos jardins de chuva por ser uma infraestrutura de cobertura das edificações, contribuindo não só com o amortecimento da drenagem de águas pluviais, mas fornecendo também conforto térmico no local aplicado. Esta técnica, segundo Ohnuma, Almeida Neto e Mediondo (2014), é datada há milhares de anos, tendo como exemplo uma das sete maravilhas da antiguidade: os jardins suspensos da Babilônia. Tendo sido construídos por volta de 500 anos a.C., se tratam de uma estrutura com sobrepostos em feixes de pedras e camadas de piche grosso, posteriormente apresentando camadas de solo, plantas e árvores. Com isso, acontece a diminuição de volume de água escoada superficialmente a partir da retenção na estrutura, a partir da camada de solo.

A execução desta técnica necessita de uma mão-de-obra especializada, além de um projeto que leve em consideração alguns fatores que, se não considerados da maneira correta, acarretam em problemas com seu funcionamento. O primeiro destes fatores é validar a capacidade de suporte do telhado para executar a estrutura verde. Além disso, executar criteriosamente a etapa de impermeabilização do telhado, para evitar problemas de infiltração na coberta convencional. Com isso, uma boa execução de uma estrutura de telhado verde se resume em dois quesitos: resistência adequada do suporte e execução satisfatória das diferentes camadas do telhado verde.

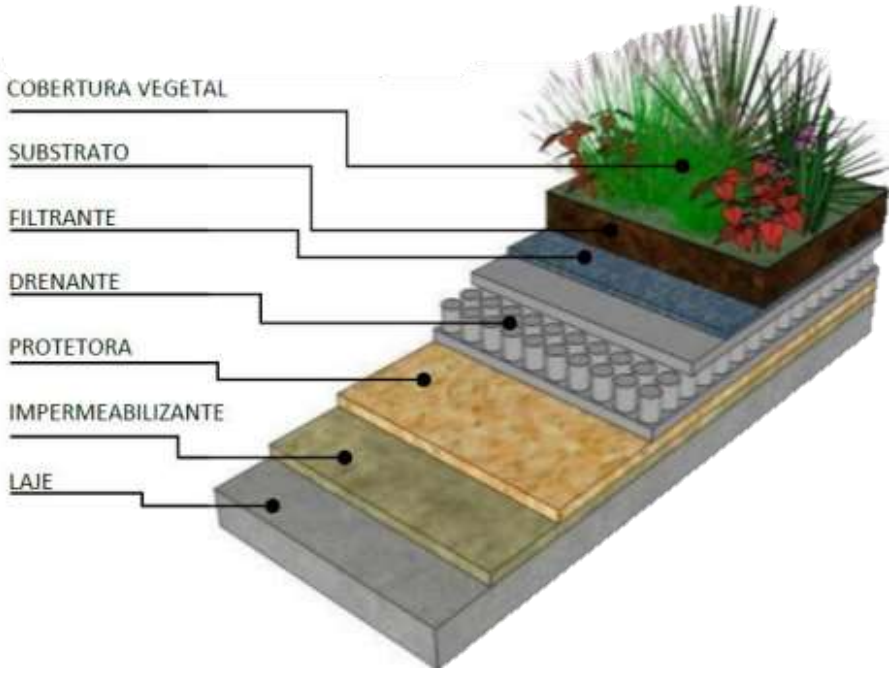
Melo *et al.* (2014) define a composição dos telhados verdes, como mostra a Figura 9, pelas seguintes camadas:

- Cobertura vegetal: espécies que possam melhor se adaptar às condições impostas pelo

clima, substrato, estrutura de coberta que se dispõe;

- Substrato: dependendo do tipo de vegetação escolhida, com capacidade para fornecer nutrientes e reter água;
- Filtrante: funcionando como membrana filtrante, geotêxtil, para impedir a passagem de finos oriundos dos substratos;
- Drenante: com a função de extrair do substrato o excesso de água da chuva;
- Protetora: de fundamental importância pois impede a penetração das raízes na laje e garante a idoneidade do sistema da coberta;
- Impermeabilizante: protege a construção da infiltração de água na laje;
- Laje: adequadamente dimensionado para receber o peso do substrato e da vegetação que deve suportar.

Figura 9 – Composição estrutural de um telhado verde



Fonte: Melo *et al.* (2014)

Os telhados verdes podem ser classificados em dois tipos principais, a depender da espessura do substrato, o tipo de vegetação de cobertura e o quanto necessita de manutenção, sendo os dois tipos: telhados verdes intensivos e telhados verdes extensivos. Para Melo *et al.* (2014), os telhados verdes intensivos possui um substrato de espessura acima de 20 cm, com a presença de plantas de porte maior, com árvores e arbustos, necessitando de manutenção típica de um jardim. Já os telhados verdes extensivos são formados por uma espessura de até 10 cm,

com cobertura vegetal composta por plantas de baixo porte, nutridas por processos naturais. Com isso, vale salientar que o telhado verde intensivo precisa de uma estrutura mais complexa e reforçada do que o extensivo, a partir da maior solicitação de cargas e recorrente necessidade de manutenção, demandando também um custo maior. O telhado verde extensivo, por sua vez, limita-se na escolha da vegetação, por ter um substrato menor.

Desta forma, destaca-se que a funcionalidade do telhado verde para a reduação do escoamento superficial não é exclusiva, entretanto, é o principal destaque para a estrutura. Ohnuma, Almeida Neto e Mediondo (2014) também citam a contribuição do telhado verde para o conforto térmico das edificações. Os autores encontraram na literatura estudos realizados na cidade de Veitshochheim, na Alemanha, e comprovaram que a estrutura de telhado verde diminuem consideravelmente a necessidade de refrigeração de edificações, ao comparar com os telhados convencionais, podendo reduzir sua amplitude térmica de 60% a 90%. No tocante dos sistemas de drenagem de águas pluviais, Lima (2013) explica que os telhados verdes apresentam resultados satisfatórios quando utilizados para reduzir os picos de escoamento superficial, em eventos críticos de altos índices pluviométricos. O mesmo autor estudou o comportamento de um telhado verde após um longo período de estiagem, obtendo como resultado 100% de retenção de águas pluviais, em uma precipitação de índices pluviométricos baixos.

Tominaga (2013) evidencia que os telhados verdes são uma estrutura de fácil integração com o meio ambiente, mas como todas as técnicas compensatórias para drenagem urbana, precisa-se levar em consideração suas vantagens e desvantagens, apresentadas no Quadro 6, para avaliar a escolha da sua aplicação.

Quadro 6 – Vantagens e desvantagens dos telhados verdes

Vantagens	Desvantagens
Redução do volume de escoamento superficial durante precipitações.	Maior necessidade de manutenção se comparado com telhados convencionais.
Redução do desconforto térmico nos ambientes abaixo dos telhados.	Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas.
Possibilidade de implantação em telhados já existentes desde que avaliada a condição estrutural.	Dificuldade de implantação quando o telhado possui inclinação elevada.
Apresenta ótima integração com projetos paisagísticos.	Volume armazenado depende da área do telhado.

Fonte: Tominaga (2013)

2.2.5 Pavimentos permeáveis

É evidente que com o desenvolver da urbanização tem-se, proporcionalmente, o aumento das obras de pavimentação, acarretando maior impermeabilização do solo. Em virtude da eficiência dos pavimentos convencionais, cada vez mais busca-se escolher materiais que permitam uma maior impermeabilidade, assegurando a estabilidade do solo. A problemática surge a partir da interferência no ciclo hidrológico, onde as águas pluviais poderiam infiltrar, passam a gerar escoamento superficial. Segundo a ABNT NBR 16.416:2015, pavimentos permeáveis são estruturas que permitem a infiltração de uma certa quantidade de água que, em um pavimento convencional, geraria escoamento superficial. A partir desta infiltração, ocorre percolação e/ou acúmulado gradativo desta água, permitindo que a mesma chegue até o interior do solo (ABNT, 2015).

O pavimento com características permeáveis surgiram por volta da década de 1950, na França, mas sem muito êxito, uma vez que na época não existia ainda tantas tecnologias para a área. Na década de 1970, o tema voltou a ser estudado, também nos Estados Unidos, no Japão e na Suécia (Azzout *et al.*, 1994 *apud* Acioli, 2005). Hoje em dia, O Reino dos Países Baixos, informalmente chamado de Holanda, país que é conhecido por possuir mais da metade de sua área abaixo do nível do mar, possui grande percentagem de zonas urbanas com pavimentação permeável e adequado manejo do nível freático, contribuindo diretamente para a drenagem urbana do país.

No Brasil, a utilização do concreto permeável ainda é recente, embora haja literatura sobre a técnica desde o ano de 2000, tais como Tucci *et al*. (2000) e Acioli (2005). Nos dias atuais, esta técnica é regida pela norma ABNT NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, que estabelece os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto.

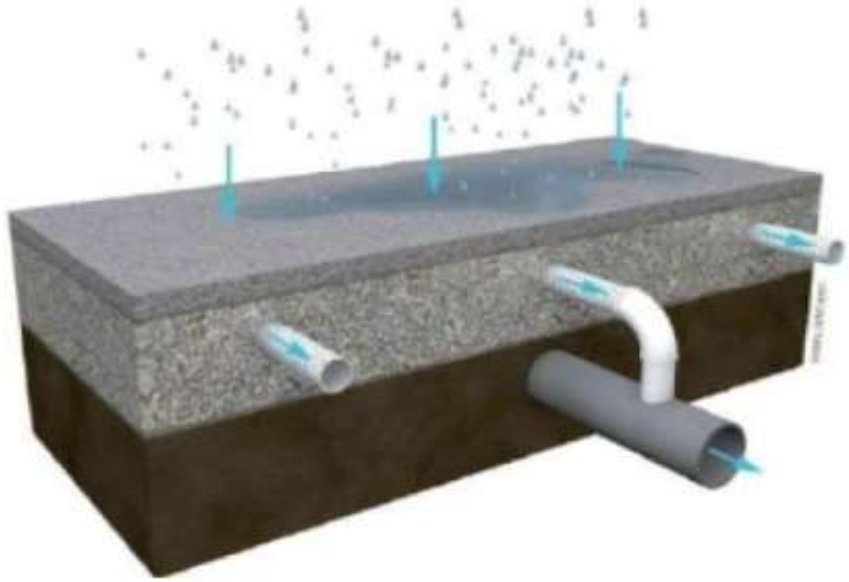
Resumidamente, segundo Urbonas e Stahre (1993), o pavimento permeável é um dispositivo de infiltração, onde o escoamento superficial é captado para dentro de um reservatório de brita, sob a superfície do terreno. A sua utilização em áreas urbanas, além da finalidade de reduzir o escoamento de águas pluviais, também melhora a qualidade desta água e contribui para a recarga dos aquíferos. Santos e*t al.* (2019) afirma que esta estrutura trata-se de uma cobertura do solo, capaz de suportor tráfego leve, possuindo porosidade e permeabilidade eleveada, a partir da retirada de finos de sua composição, ou seja, em revestimentos feitos por concreto permeável, por exemplo, o traço não leva nenhuma, ou quase nenhuma, parcela de agregado miúdo. Também Santos *et al.* (2019) mostra que o pavimento

permeável pode ser constituido de reservatório de pedras (Figura 10), ou pode fazer a deposição da água pluvial captada no sistema de microdrenagem convencional (Figura 11).

Figura 10 – Pavimentação com blocos de concreto permeável com drenagem da água

Fonte: Santos *et al.* (2019)

Figura 11 – Pavimentação permeável com desvio para a microdrenagem



Fonte: Santos *et al.* (2019)

Sponchiado (2021) afirma que os pavimentos permeáveis podem ser divididos em três tipos: pavimento de concreto poroso, de asfalto poroso ou de blocos de concreto intertravados, este último podendo ser vazado ou não. Logo abaixo do revestimento, tem-se a composição a

partir de duas camadas de agregados, sendo uma de agregado fino para médio, outra camada de agregado graúdo. Estes materiais são alternativas sugeridas pelas BMP's – "*Best Management Pratices"* – que visam se comportar de forma parecida com as condições de infiltração de um solo nu ou em situações de pré-ocupação do mesmo.

A estrutura de pavimento permeável se comporta de maneira que a água pluvial se infiltre, de forma rápida, no revestimento poroso adotado (com espessura entre 5 cm e 10 cm), que demonstra ser um conduto para o escoamento superficial chegar até o interior da estrutura. Posteriormente, a referida água encontra um filtro de agregado de diâmetros menores e logo encontra um reservatório de britas mais profundo, este último possui agregado com diâmetros de 3,8 cm a 7,6 cm (ACIOLI, 2005).

Segundo Baptista (2011), existem três níveis de atuação dos pavimentos permeáveis, que atestam sua eficiência no controle e diminuição do escoamento superficial, sendo eles:

1. Pavimentos dotados de revestimentos superficiais permeáveis que possibilita a redução da velocidade do escoamento superficial, a retenção temporária de pequenos volumes na própria superfície do pavimento e a infiltração de parte das águas pluviais;
2. Pavimentos dotados de estrutura porosa, onde é efetuada a detenção temporária das águas pluviais, provocando o amortecimento de vazões e a alteração no desenvolvimento temporal nos hidrogramas;
3. Pavimentos dotados de estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração, onde ocorre tanto a detenção temporária das águas pluviais como também a infiltração de parte delas. Obtém-se assim o amortecimento de vazões, a alteração temporal nos hidrogramas e a redução dos volumes efetivamente escoados.

Ainda Tominaga (2013) desenvolveu um estudo monitorando protótipos de pavimentos permeáveis por seis meses, próximo a uma estação pluviométrica e sensores de nível, podendo ter o controle do acúmulo de precipitação no local estudado. Os resultados finais evidenciaram que a estrutura de pavimento permeável reduziu, nas melhores ocasiões, até 85% do pico de vazão no local, comprovando a eficiência da técnica.

Para auxiliar em uma futura tomada de decisões de implantação, o Quadro 7 mostra as vantagens e desvantagens da execução e uso dos pavimentos permeáveis:

Quadro 7 – Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis

Vantagens	Desvantagens
Retenção temporária das águas diminuindo assim os picos de escoamento.	Pavimentos porosos envolvem um risco de falha considerável (colmatagem ou má construção).
Redução da necessidade de meio-fio e canais de drenagem.	Necessidade de mão de obra especializada para sua construção.
Aumento da segurança e conforto em vias.	Risco de contaminação de aquífero.
Alta integração com a obra, não necessitando de espaço exclusivo para implantação.	Tende a se tornar obstruído se mal construído ou erroneamente mantido.

Fonte: Adaptado de Tominaga (2013) e Acioli (2005)

2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS

No que se refere à bacias hidrográficas, pode-se conceituar como um complexo de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Neste complexo, envolvem-se, obrigatoriamente, divisores de água, nascentes, talvegue, vale e dorso. Uma bacia hidrográfica tem como limite topográfico um somatório de vertentes, onde concentram os escoamentos efetivos para um ponto de saída da bacia, único, que pode ser chamado de foz ou exutório (SILVEIRA, 2001). A Figura 12 evidencia a composição de uma bacia hidrográfica.

Figura 12 – Composição de uma bacia hidrográfica

Fonte: IEIJ (2016)

Tucci (2000) salienta que as bacias hidrográficas se tratam de um sistema predominantemente físico, onde o volume de águas pluviais é a entrada, já a saída é todo o volume que passa pelo exutório. Neste contexto, as perdas do sistema são verificadas na ocorrência de evaporação e infiltração, bem como os volumes infiltrados em situações profundas.

Toda bacia hidrográfica se comporta como um sistema aberto, se apresentando em constante equilíbrio transacional, ou dinânico, com a sua área sofrendo influência sobre a quantidade de água produzida em deflúvio. A partir deste conhecimento, atrela-se o desenvolver das bacias hidrográficas com o funcionamento do ciclo hidrológico, sendo este o regente da atuação, interação e determinação da dinâmica da bacia hidrográfica (Zenetti *et al.*, 2012). A estruturação de uma bacia hidrográfica, portanto, se dá a partir das etapas do ciclo hidrológico, predominantemente a partir do escoamento superficial e da infiltração, levando em consideraçãpo também a interação infiltração/deflúvio sobre o vale. Neste contexto, conhecer as características geomórficas (fisiográficas), a partir de análise morfométrica, de uma bacia hidrográfica é fundamental para o desenvolvimento de estudos nesta, principalmente no que se refere à drenagem de águas pluviais e uso e ocupação do solo.

Evidencia-se, portanto, o papel do relevo numa bacia hidrográfica, podendo este ser o responsável pelos fatores meteorológicos e hidrológicos no sistema, estando diretamente ligado à modelação do fluxo de água na bacia hidrográfica. Para tanto, existem *softwares* que permitem rotinas de geoprocessamento para a obtenção dos dados necessários quanto a esta característica, os quais serão apresentados mais adiante.

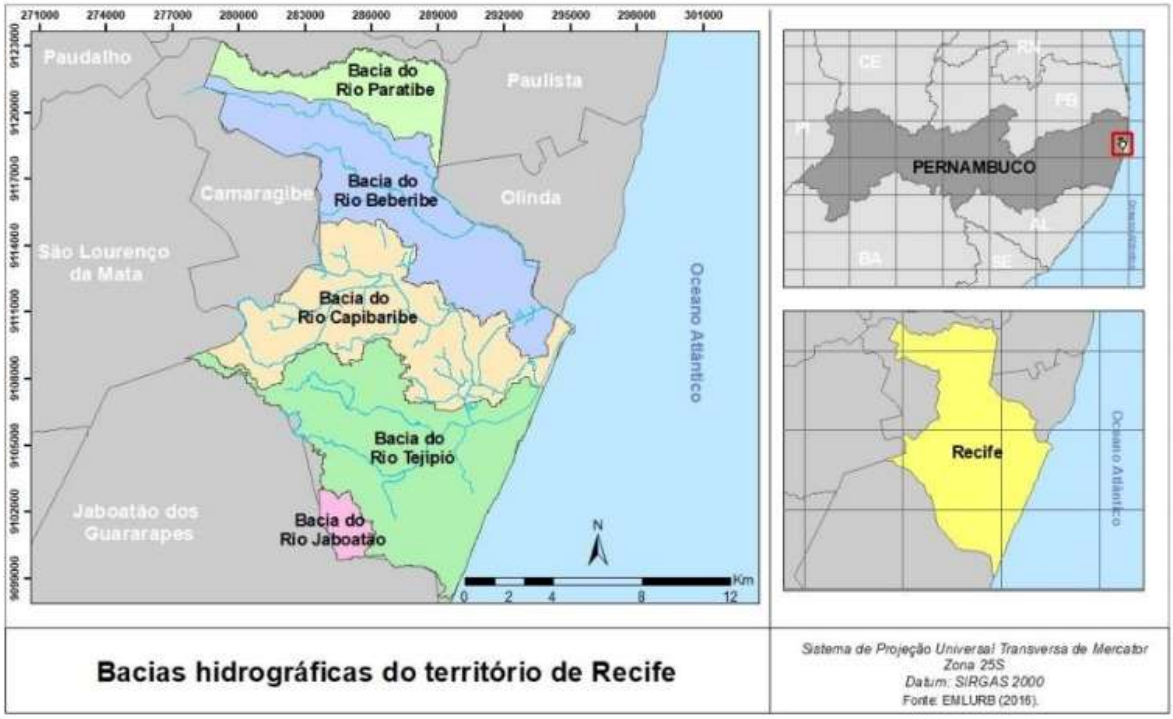
2.3.1 Bacias Hidrográficas na cidade do Recife

Popularmente conhecida como a “Veneza brasileira”, Recife teve seu desenvolvimento e urbanização em convivência com muitos rios e riachos. Esta convivência se deu a partir de grandes modificações nos corpos hídricos ali presentes, a partir da canalização dos mesmos, permitindo a construção efetiva para a urbanização.

Recife é constituido por três bacias hidrográficas com principal influência no seu território: Beberibe, Capibaribe e Tejipió (Figura 13). Existem também as bacias hidrográficas dos rios Paratibe e Jaboatão, que representam uma pequena contribuição na cidade. Além dos rios naturais, a destinação de águas pluvias na cidade do Recife se dá a partir de 99 canais, redes de drenagem convencionais e aterramento de baixios, além de alguns reservatórios de retenção e barragens móveis, consideradas, estas últimas, técnicas sustentáveis (Preuss *et al.*,

2011).

Figura 13 – Mapa de localização das bacias hidrográficas do Recife



Fonte: Moura (2022)

No decorrer dos anos, com o avanço da urbanização no Recife, foram realizadas algumas intervenções para a macrodrenagem urbana, como construções e reconstruções de pontes, alargamento da calha de rios na sua planície, e uma peculiaridade no Rio Capibaribe também precisou ser corrigida, onde no bairro Apipucos sofria remanso por efeito de um meandro de grande sinuosidade. Os canais na macrodrenagem do Recife, em um total de 99 canais, chegam a uma extensão de 133 km, mas apenas 77 km são constituídos por revestimento. Vale salientar que a microdrenagem urbana na cidade é realizada a partir da ação de canaletas e galerias, com uma extensão de quase 1580 km (EMBLURB, 2013).

A seguir, o Quadro 8 apresenta o quantitativo de canais nas bacias hidrográficas da cidade do Recife, se são ou não constituídas por revestimento e suas extensões.

Quadro 8 – Canalização na cidade do Recife e suas condições

Bacia	Nº de canais				Extensão (km)		
	Totalmente revestidos	Sem revestimento	Parcialmente revestidos	Total	Revestido	Sem revestimento	Total
Capibaribe	15	4	14	33	29,0	10,3	39,2
Beberibe	14	3	8	25	17,9	12,4	30,4
Tejipió	7	9	19	35	27,7	27,8	55,6
Jaboatão	0	2	4	6	2,5	5,0	7,6
Total	36	18	45	99	77,2	55,6	132,7

Fonte: Adaptado da Emlurb (2016)

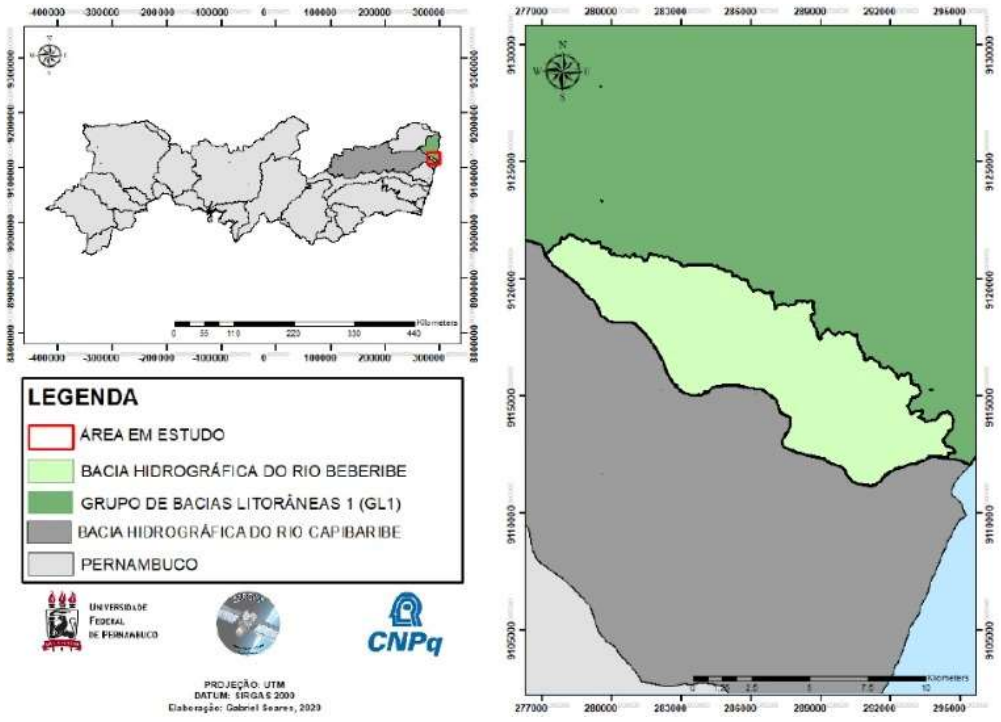
Diariamente, pesquisadores estudam como melhorar a drenagem urbana de Recie, em sua maioria, com perspectivas de revitalização, em abordagens multidisciplinares. Nesse contexto, o Parque Capibaribe e os estudos do Grupo de Recursos Hídricos (GRH) da UFPE para os riachos Cavouco, Parnamirim e Sítio dos Pintos (Cabral *et al.*, 2019) são exemplos de grande relevância.

A seguir, serão evidenciadas as três principais bacias hidrográficas da cidade do Recife e suas principais características.

2.3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe

A bacia hidrográfica do rio Beberibe possui área total de 71 km², fazendo parte, segundo a APAC (2022), do GL-1 (Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos), como mostra na Figura 14. Esta bacia está inserida na RMR (Região Metropolitana do Recife), nos municípios de Recife, Olinda, Paulista e Camaragibe, possuindo uma média de 680 mil habitantes.

Figura 14 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Beberibe em Pernambuco



Fonte: Adaptado de Soares (2020)

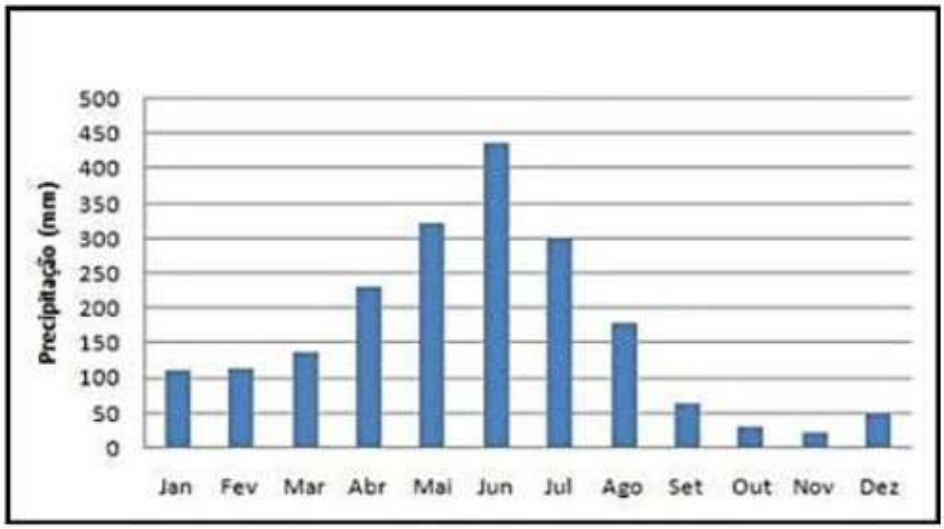
Segundo Fernandes *et al.* (2011), o Rio Beberibe nasce no município de Camaragibe, em uma confluência dos rios Pacas e Araça, admitindo uma área de 0,9 km² nesta localidade. A partir daí, o Rio Beberibe percorre um curso que o leva até o encontro com o Rio Capibaribe, ambos desaguando no mesmo exutório no oceano Atlântico. Durante este percurso, o município

de Recife abrange, marjoritariamente, 55,4 km² de sua área, deixando 13,3 km² para Olinda e 9,4 km² para Paulista. Com isso, os mesmos autores dividem a bacia hidrográfica do rio Beberibe em três:

1. Alto curso do rio Beberibe: compreendida a oeste da rodovia BR 101, contém diversas nascentes perenes, impoluta e com vegetação nativa. Nesse trecho encontra-se a APP de dois irmãos.
2. Médio curso do rio Beberibe: englobando o trecho entre a BR-101 e o entroncamento com o rio Morno, tem-se outra APP importante para esta bacia.
3. Baixo curso do rio Beberibe: correspondente à porção mais adensada da bacia, com zonas mistas entre morros e planícies.

Fernandes *et al.* (2011) também apontam que o clima nesta bacia hidrográfica se apresenta como As', de acordo com a classificação de Koppen, com predominância de clima quente e úmido, apresentando altos índices pluviométricos no período outono-inverno. Anualmente, pode apresentar índices de mais de 2.000 mm/ano, segundo Freitas (2014) na Figura 15, em um comparativo entre os anos de 2003 a 2013, sendo um índice bastante relevante, em um comparativo com o restante do nordeste brasileiro. Geomorfologicamente, a bacia hidrográfica do Rio Beberibe tem em sua composição a predominância de tabuleiros costeiros, encostas e morros, além de áreas de planície costeira. Isso tudo associando, como mencionado, à urbanização para cerca de 680 mil habitantes.

Figura 15 – Média mensal da precipitação no Posto Olinda 199 (2003-2013)



Fonte: Freitas (2014)

Freitas (2014) também afirma, baseando-se em dados do INMET, que a evaporação na área abrangente pela bacia hidrográfica do rio Beberibe chega a 1.320 mm/ano, podendo ser maior que os índices pluviométricos no período de outubro a fevereiro. Já sobre temperatura,

médias máximas de janeiro a fevereiro podem chegar a 26,7 ºC, já as médias mínimas chegam a 23,9 ºC no mês de julho.

2.3.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

A Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe é a mais extensa e uma das mais importantes no contexto da Região Metropolitana do Recife (RMR), com significativa influência sobre a dinâmica hídrica e urbana da capital pernambucana. Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2022), essa bacia possui uma área aproximada de 7.454 km², abrangendo mais de 40 municípios, incluindo Recife, onde o rio atinge sua foz, desaguando no Oceano Atlântico.

O Rio Capibaribe nasce na Serra de Jacarará, localizada no município de Poção, no agreste pernambucano, a uma altitude de aproximadamente 1.100 metros. Seu curso totaliza cerca de 240 km, atravessando o estado de oeste a leste, com o rio assumindo papel fundamental na história, urbanização e paisagem da cidade do Recife (Lins *et al*., 2013).

Geomorfologicamente, a bacia apresenta grande diversidade de relevo, com predominância de planaltos no alto curso, áreas de transição no médio curso e planícies fluviais no baixo curso, especialmente na zona urbana de Recife (Costa; Moura, 2020). No trecho recifense, a bacia sofre com intensa ocupação urbana e alta taxa de impermeabilização do solo, o que contribui para os recorrentes alagamentos e inundações em períodos chuvosos.

A Figura 16 apresenta o mapa de localização e delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe em Pernambuco, bem como suas sub-bacias, segundo a EMBRAPA (2025).

Figura 16 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

Fonte: EMBRAPA (2025)

No tocante ao regime pluviométrico, o trecho urbano da bacia apresenta elevada variabilidade interanual de precipitação, com índices que podem ultrapassar 2.000 mm/ano, concentrando-se majoritariamente entre os meses de março e agosto (INMET, 2022). A urbanização acelerada e desordenada nas últimas décadas agravou os impactos hidrológicos da região, reduzindo áreas de infiltração e aumentando o escoamento superficial.

De acordo com Silva Júnior (2015), a presença de meandros acentuados, como no bairro de Apipucos, associada ao assoreamento e à obstrução dos canais secundários, contribui significativamente para a perda de capacidade de escoamento do rio. Soma-se a isso o lançamento irregular de resíduos sólidos e a ocupação de áreas de várzea, comprometendo o desempenho da infraestrutura de drenagem existente.

A Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe conta com diversos canais urbanos e dispositivos de macrodrenagem, mas muitos deles encontram-se com baixa capacidade de resposta frente a eventos extremos de precipitação. Dados da EMLURB (2013) revelam que 32 canais estão localizados nessa bacia, a maioria nos bairros centrais do Recife, como Derby, Boa Vista e Madalena.

Diversos estudos vêm sendo conduzidos para requalificar a bacia e mitigar os efeitos dos alagamentos urbanos. Um dos principais projetos é o Parque Capibaribe, que propõe a

reaproximação da população ao rio e a implementação de soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva, áreas de infiltração e revitalização das margens (Cabral *et al*., 2019).

Desta forma, evidencia-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe representa um dos maiores desafios da drenagem urbana no Recife, em virtude da complexidade de sua ocupação, das suas características fisiográficas e da interação com o regime de marés, exigindo planejamento integrado e a adoção de técnicas compensatórias sustentáveis.

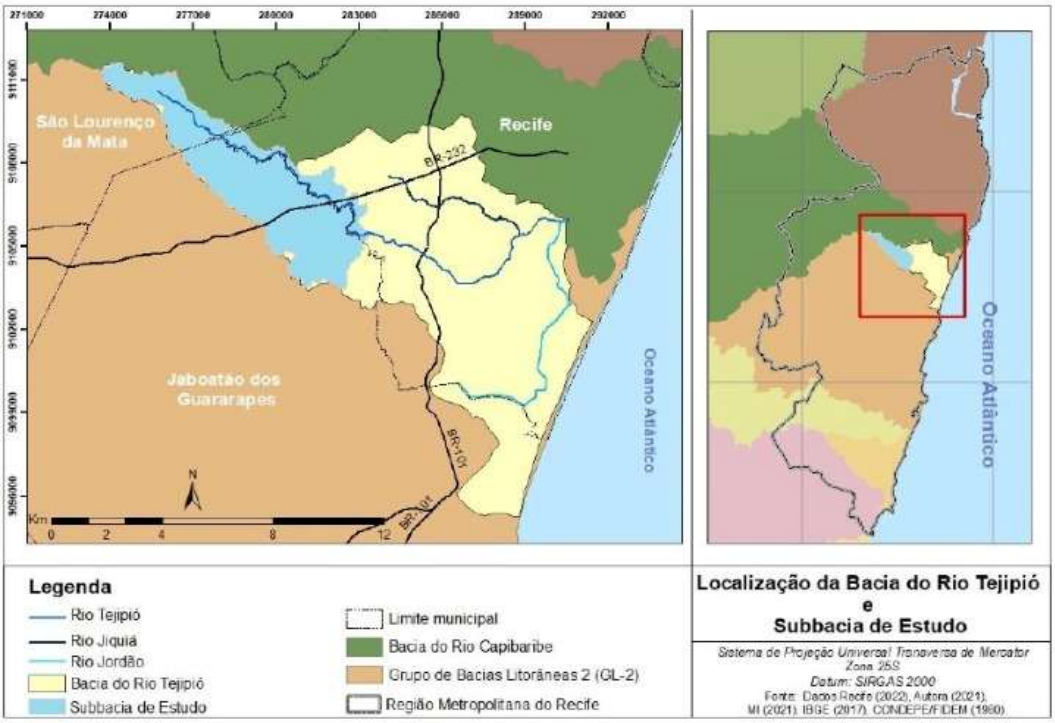
2.3.1.3 Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió

A Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió é uma das mais importantes no contexto da drenagem urbana do Recife, tanto por sua localização estratégica quanto pelos desafios que apresenta em termos de escoamento de águas pluviais. Com área aproximada de 43,6 km² (EMLURB, 2013), a bacia está situada predominantemente na zona sul da cidade e abrange bairros como Ibura, Estância, Areias, Imbiribeira, Jardim São Paulo e Tejipió, caracterizados por alta densidade populacional e uso intensivo do solo urbano.

O Rio Tejipió nasce na região do Curado, no município de Jaboatão dos Guararapes, e percorre cerca de 25 km até desaguar no estuário do Pina, onde se une ao Rio Jordão antes de atingir o Oceano Atlântico. Ao longo de seu percurso, o rio passa por áreas com diversos graus de urbanização, com grande parte de sua extensão tendo sido canalizada ou alterada por intervenções humanas. Esse processo de artificialização do curso de água compromete não apenas a qualidade ambiental da bacia, mas também a sua capacidade natural de absorver e escoar volumes de água durante os períodos de chuva.

Segundo Moura (2022), a bacia hidrográfica do Rio Teijipió, na cidade do Recife, é representada da forma como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió em Recife-PE



Fonte: Adaptado de Moura (2022)

Segundo Silva Júnior (2015), a bacia é composta por quatro sub-bacias principais: Riacho do Entra Apulso, Riacho do Monjope, Riacho do Areias e Riacho do Ibura. Estas sub-bacias estão interligadas por uma complexa rede de canais urbanos — somando cerca de 30 no total — que, em sua maioria, se encontram em condições precárias de manutenção. A infraestrutura de drenagem existente sofre com assoreamento, descarte irregular de resíduos sólidos e invasões nas faixas marginais de proteção, o que prejudica o escoamento e aumenta a frequência e intensidade dos alagamentos.

Do ponto de vista fisiográfico, a bacia do Tejipió apresenta um relevo predominantemente plano, com declividades suaves e altitudes que raramente ultrapassam os 10 metros acima do nível do mar. Essa topografia contribui para o escoamento lento da água, especialmente em eventos de alta precipitação. Além disso, a proximidade com a costa faz com que os efeitos da maré sejam fortemente sentidos, sobretudo nas marés de sizígia, quando o nível do mar se eleva e impede o escoamento por gravidade, agravando os alagamentos em áreas mais baixas.

Segundo Silva (2014), a referida bacia hidrográfica pode ser classificada em relação à altitude e características ocupacionais, sendo dividida em três: Alto Tejipió (marjoritariamente rural), Médio Tejipió (com maior ocupação ribeirinha e em morros) e Baixo Tejipió (Planície costeira com alto índice de ocupação). O Quadro 9 apresenta estes setores, em consonância com

a Figura 18 apresentada anteriormente.

Quadro 9 – Zoneamento da bacia do Tejipió em função do relevo

Setores	Área (km²)	Altitudes (m)	Limites
Alto Tejipió	23,0	140 a 20	Da nascente a BR-232
Médio Tejipió	18	20 a 10	Da BR-232 a BR-101
Baixo Tejipió	52	10 a 0	Da BR-101 a Planície do Pina

Fonte: Adaptado de Silva (2014)

Em relação ao clima, a bacia está inserida em uma região de clima tropical úmido, com estação chuvosa bem definida entre os meses de abril e julho. Segundo dados da APAC (2022), os índices pluviométricos anuais podem ultrapassar os 2.000 mm, com forte concentração em poucos meses. Essa elevada sazonalidade agrava a sobrecarga do sistema de drenagem urbano, especialmente quando associada a chuvas de alta intensidade e curta duração.

Moura (2022) destaca que, além das condições naturais, o uso e ocupação do solo desempenham papel determinante nos problemas de drenagem da bacia. A intensa impermeabilização do solo, somada à escassez de áreas verdes e à falta de planejamento urbano adequado, reduz a infiltração de águas pluviais e aumenta a velocidade e o volume do escoamento superficial. Essa condição é evidenciada pelos altos valores do coeficiente de *runoff*, que, em algumas áreas da bacia, ultrapassam 0,8, indicando que mais de 80% da água precipitada se transforma em escoamento superficial.

Neste cenário, a adoção de técnicas compensatórias para drenagem urbana torna-se uma alternativa estratégica para mitigar os impactos hidrológicos da urbanização. A implantação de jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis pode contribuir significativamente para a retenção e infiltração da água, reduzindo a sobrecarga dos canais existentes e promovendo maior resiliência urbana frente aos eventos extremos.

2.4 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À DRENAGEM URBANA

O uso das geotecnologias tem revolucionado a forma como os estudos de drenagem urbana são conduzidos, tornando-se ferramenta indispensável para o planejamento urbano e a gestão ambiental. Através de recursos como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o Sensoriamento Remoto e os Modelos Digitais de Elevação (MDE), é possível realizar análises espaciais complexas, delimitar bacias hidrográficas, calcular parâmetros morfométricos e identificar áreas de risco com precisão e agilidade (Florenzano *et al*., 2005; Fitz, 2008).

Em contextos urbanos, onde a impermeabilização do solo e a ocupação desordenada agravam os problemas de escoamento superficial e inundações, o uso dessas tecnologias permite não apenas o diagnóstico, mas também o monitoramento e a simulação de cenários futuros. A aplicação das geotecnologias, portanto, não se restringe ao campo técnico, mas se estende às políticas públicas e à participação social, integrando ciência, tecnologia e governança territorial (Santos *et al*., 2012).

2.4.1 Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica

A análise morfométrica consiste na quantificação das características físicas de uma bacia hidrográfica, permitindo avaliar sua forma, relevo, rede de drenagem e potencial de escoamento superficial. Esses estudos são fundamentais para a compreensão da dinâmica hidrológica de áreas urbanas e naturais, subsidiando ações de planejamento e mitigação de desastres.

Parâmetros como o Coeficiente de Compacidade (Kc), o Fator de Forma (Kf), a Densidade de Drenagem (Dd), a Razão de Elongação (Re), a Sinuosidade (Sin) e o Índice de Circularidade (Ic) são amplamente utilizados em estudos hidrológicos e ambientais. Tais indicadores permitem avaliar a tendência de concentração de escoamento, a vulnerabilidade à erosão e à inundação, além da eficiência do sistema de drenagem natural (Nunes *et al*., 2006; Stipp *et al*., 2010).

Os principais parâmetros morfométricos utilizados na caracterização de uma bacia hidrográfica são:

1. Coeficiente de Compacidade (Kc): avalia a forma da bacia em relação a um círculo. Quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia, favorecendo maior concentração de fluxo em menor tempo (Villela; Mattos, 1975);
2. Fator de Forma (Kf): expressa a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, indicando seu grau de alongamento;
3. Índice de Circularidade (Ic): mede a circularidade da bacia, variando entre 0 (forma altamente alongada) e 1 (forma perfeitamente circular);
4. Razão de Elongação (Re): também relacionada à forma da bacia, indicando a tendência à concentração ou dispersão dos fluxos;
5. Densidade de Drenagem (Dd): representa a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia, sendo um bom indicador da eficiência do sistema de drenagem (Horton, 1945);
6. Coeficiente de Manutenção (Cm): expressa a capacidade da bacia em manter sua rede de

drenagem, relacionando área e densidade da rede;

7. Índices de sinuosidade (Sin e Is): avaliam o grau de meandramento dos cursos de água, influenciando o tempo de resposta da bacia aos eventos de chuva.

Esses índices, quando analisados em conjunto, proporcionam uma visão integrada da bacia e sua capacidade de resposta aos estímulos hidrológicos (Jadiael, 2017; Stipp *et al*., 2010).

Segundo Gonçalves (2017), na caracterização morfométrica da bacia do Rio Beberibe-PE, observou-se que sua forma alongada e a baixa sinuosidade de seu canal principal favorecem o rápido escoamento da água, reduzindo o tempo de concentração e aumentando o risco de enchentes. Essa constatação, apoiada por mapas hipsométricos e de declividade gerados por SIGs, demonstra a importância do cruzamento entre dados morfológicos e ambientais para um diagnóstico eficaz.

Tabelas comparativas e mapas esquemáticos, elaborados a partir de *softwares* como ArcGIS e SPRING, auxiliam na visualização desses dados e na interpretação dos resultados. Assim, a análise morfométrica contribui não apenas para o conhecimento da fisiografia da bacia, mas também para o planejamento de técnicas compensatórias e infraestruturas verdes em áreas urbanas (Jadiael, 2017).

2.4.2 Sistema de Informações Geográficas – SIG

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) representam uma das ferramentas mais poderosas no campo das geotecnologias aplicadas à drenagem urbana. Com capacidade de integrar dados espaciais e alfanuméricos, os SIGs permitem a coleta, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de informações georreferenciadas com precisão e flexibilidade (Fitz, 2008; Olaya, 2014).

Na drenagem urbana, os SIGs são utilizados para delimitação de bacias hidrográficas, simulação de escoamento superficial, identificação de áreas de risco e apoio à tomada de decisões em políticas públicas. Por meio de funções como "*Flow Direction*", "*Flow Accumulation*" e "*Basin*", é possível modelar a rede de drenagem e prever os caminhos preferenciais da água, essencial para o dimensionamento de sistemas de escoamento pluvial (Alves Sobrinho *et al*., 2010).

Além disso, os SIGs oferecem suporte para a criação de mapas temáticos, fluxogramas e visualizações 3D, facilitando a comunicação dos resultados com gestores públicos e a sociedade. Entre as vantagens dessa tecnologia destacam-se a agilidade, a precisão e a possibilidade de atualização contínua dos dados. No entanto, é importante reconhecer suas

limitações, como a dependência de bases de dados de qualidade e a necessidade de capacitação técnica para o seu uso adequado (Florenzano *et al.*, 2005).

Dessa forma, os SIGs se consolidam como aliados fundamentais na gestão integrada dos recursos hídricos urbanos, promovendo uma abordagem sistêmica, participativa e eficiente para enfrentar os desafios impostos pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas.

2.5 GESTÃO E REGULAÇÃO DA DRENAGEM URBANA

A gestão da drenagem urbana se apresenta como um dos maiores desafios da administração pública, principalmente em áreas urbanas densamente ocupadas, como é o caso das grandes cidades brasileiras. Este sistema, muitas vezes negligenciado, tem papel fundamental na promoção da qualidade de vida, proteção ambiental e no enfrentamento de eventos climáticos extremos, como inundações e alagamentos. A drenagem urbana, por estar inserida nas diretrizes do saneamento básico, deve ser tratada sob a ótica de políticas públicas que integrem planejamento urbano, infraestrutura, meio ambiente e participação social (Tucci, 2008).

Segundo Baptista e Nascimento (2011), o sistema de drenagem urbana precisa ser pensado para além de sua função hidráulica, passando a incorporar também princípios de sustentabilidade, resiliência urbana e governança participativa. Ainda que se reconheça a importância da infraestrutura física – como canais, galerias, bueiros e reservatórios – , é indispensável a presença de instrumentos de gestão que contemplem o controle do uso e ocupação do solo, a conservação de áreas verdes e a implementação de técnicas compensatórias.

Outro fator relevante diz respeito à articulação entre os diferentes níveis de governo e órgãos gestores, já que a drenagem urbana atravessa esferas locais, estaduais e federais. Dessa forma, o sucesso das ações depende do alinhamento entre os instrumentos de planejamento urbano, os planos diretores municipais e os planos de saneamento básico, todos comprometidos com a promoção de um ambiente urbano mais seguro e sustentável (BRASIL, 2007; 2020).

2.5.1 Gestão da drenagem urbana no Brasil

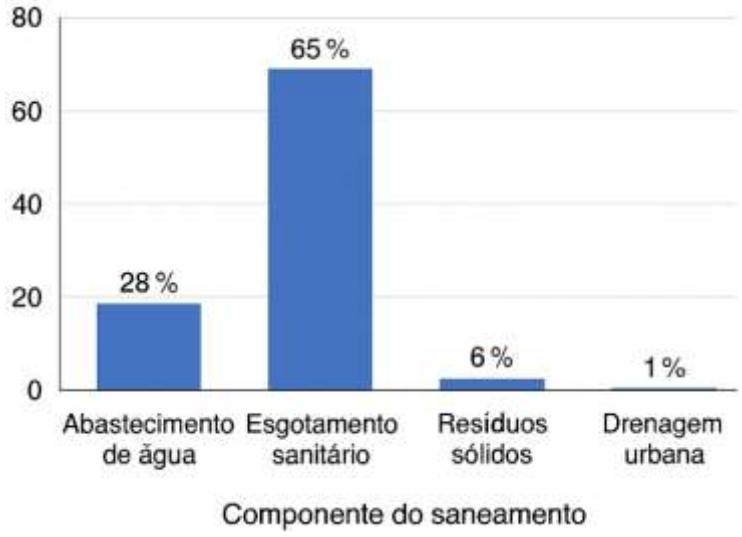
A drenagem urbana no Brasil, embora reconhecida como parte fundamental do saneamento básico desde a promulgação da Lei nº 11.445/2007, ainda caminha a passos lentos rumo à universalização e à gestão eficiente. Essa realidade é reflexo de um histórico de invisibilidade desse componente dentro das políticas públicas de saneamento, sendo muitas

vezes tratado apenas de maneira emergencial, após episódios de alagamentos ou inundações severas (Baptista; Nascimento, 2011).

O texto legal de 2007, qu trata do marco regulatório anterior ao que está em vigor atualmente, passou a considerar o manejo de águas pluviais urbanas como um dos quatro eixos do saneamento básico, ao lado do abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos. No entanto, mesmo com essa inclusão, a execução e o financiamento das ações voltadas à drenagem permaneceram deficientes. A maior parte dos municípios brasileiros, especialmente os de pequeno e médio porte, não possui estrutura técnica ou orçamentária adequada para planejar e implementar sistemas de drenagem que dialoguem com o crescimento urbano, as mudanças climáticas e as particularidades fisiográficas das regiões onde se inserem (Rezende *et al*., 2009).

O Gráfico 1 abaixo ilustra a distribuição percentual dos investimentos federais em saneamento por componente, entre 2007 e 2019, evidenciando a baixa destinação de recursos para drenagem urbana no comparativo com os demais eixos.

Gráfico 1 – Distribuição de investimentos federais por componente do saneamento básico (2007–2019)



Fonte: Adaptado de SNIS (2020)

Com a promulgação da Lei nº 14.026/2020, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, o Brasil iniciou um novo ciclo na gestão dos serviços de saneamento, buscando maior eficiência, controle, metas claras e universalização. A nova legislação trouxe mudanças significativas, como a exigência de contratos de prestação de serviços com metas de cobertura e qualidade, regulação por entidade competente, e a condicionalidade dos repasses federais à existência de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) atualizados, o que

inclui obrigatoriamente o componente da drenagem urbana (BRASIL, 2020).

Neste cenário, os PMSBs ganham protagonismo enquanto instrumentos estratégicos para o planejamento de curto, médio e longo prazo da drenagem urbana. Eles devem conter diagnóstico, prognóstico, programas, metas, ações e mecanismos de avaliação e controle social. Contudo, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) indicam que, até 2020, apenas cerca de 51% dos municípios brasileiros haviam elaborado seus planos, e uma fração ainda menor contemplava efetivamente a drenagem urbana em seus diagnósticos e propostas, conforme mostra o Quadro 10.

Quadro 10 – Percentual de municípios com PMSB por Região e por Inclusão do Componente de Drenagem Urbana

Região	Municípios com PMSB (%)	PMSB com Drenagem Urbana Incluída (%)
Norte	35%	22%
Nordeste	47%	29%
Centro-Oeste	54%	34%
Sudeste	62%	45%
Sul	65%	41%
Brasil	**51%**	**34%**

Fonte: Adaptado do SNIS (2021)

A gestão da drenagem urbana brasileira enfrenta ainda o desafio de integração intersetorial. A drenagem, por sua natureza, exige um diálogo constante com o planejamento urbano, o meio ambiente, a habitação, os transportes e a defesa civil. Essa complexidade exige a adoção de ferramentas integradas e a formação de equipes multidisciplinares capazes de entender o território de forma sistêmica (Tucci, 2008; Porto *et al.*, 2001).

Outro ponto central no debate da gestão de drenagem no Brasil é o financiamento. Por não ter uma tarifa associada diretamente ao serviço, como ocorre no abastecimento de água e no esgotamento sanitário, a drenagem urbana depende, quase exclusivamente, de recursos públicos oriundos de impostos e transferências voluntárias. Essa ausência de fontes contínuas e previsíveis de recursos compromete a sustentabilidade da operação e da manutenção dos sistemas instalados, além de dificultar a ampliação da cobertura. O Quadro 11 evidencia um comparativo entre o financiamento para cada diretriz do saneamento básico.

Quadro 11 – Comparativo entre os modelos de financiamento do saneamento básico por componente

Componente do Saneamento	Possui Tarifa Direta?	Fonte Principal de Financiamento	Sustentabilidade Financeira
Abastecimento de água	Sim	Tarifas + recursos públicos	Alta (receita contínua e previsível)

Esgotamento sanitário	Sim	Tarifas + recursos públicos	Alta
Resíduos sólidos	Em parte	IPTU + taxa de lixo + recursos públicos	Moderada (dependente de cobrança efetiva)
Drenagem urbana	Não	Recursos públicos (impostos gerais)	Baixa (sem fonte fixa de receita)

Fonte: Adaptado de ANA (2022)

Ademais, é importante considerar que a drenagem urbana é fortemente afetada pelas mudanças climáticas. O aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos, como as chuvas concentradas em curtos períodos de tempo, tem exigido soluções mais resilientes. Os sistemas convencionais de drenagem — baseados apenas em canalização e escoamento — têm se mostrado insuficientes. Isso impulsiona a necessidade de adoção de soluções baseadas na natureza, como as técnicas compensatórias (jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis), bem como o fortalecimento de políticas de uso e ocupação do solo mais sustentáveis (Kaspzryk *et al*., 2022; Tucci, 2013).

A participação social na elaboração e acompanhamento dos PMSBs se mostra essencial. A escuta das comunidades, especialmente as mais vulneráveis aos impactos das inundações, permite a construção de soluções mais eficazes e legitimadas socialmente. A gestão da drenagem urbana deve, portanto, caminhar para um modelo de governança democrática, que combine tecnologia, planejamento, controle social e visão sistêmica do território.

2.5.2 Gestão da drenagem urbana em Pernambuco

A gestão da drenagem urbana no estado de Pernambuco se insere no contexto mais amplo das políticas públicas de saneamento básico, regidas pela Lei Federal nº 11.445/2007 e revisada pelo novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que ampliou os compromissos com a universalização dos serviços. Em Pernambuco, esse desafio se agrava diante das características geográficas e climáticas do estado, que apresenta um histórico recorrente de inundações em áreas urbanas, especialmente na Região Metropolitana do Recife (RMR).

A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), criada pela Lei nº 12.134/2001, é um dos principais órgãos responsáveis pela formulação de políticas e pela regulação dos recursos hídricos no estado, incluindo o componente de drenagem urbana. A APAC atua em cooperação com os municípios, sobretudo no monitoramento hidrológico e pluviométrico, na elaboração de estudos técnicos e na produção de boletins de alerta de cheias. No entanto, a execução de obras e a manutenção das redes de drenagem urbana permanecem como atribuição

municipal, o que gera desigualdades na capacidade de resposta entre as cidades pernambucanas (APAC, 2022).

Apesar dos avanços no planejamento estadual, estudos demonstram que a drenagem urbana ainda é frequentemente tratada de forma fragmentada. Em muitos municípios, não há planos diretores ou planos municipais de saneamento básico atualizados e integrados. A drenagem costuma ser concebida como resposta emergencial a desastres, e não como uma política preventiva e integrada ao ordenamento territorial (Rezende *et al.*, 2009; Tucci, 2013).

No cenário estadual, destaca-se o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/PE), publicado em 2021, que reconhece a vulnerabilidade das cidades às enchentes e aponta a necessidade de fomentar soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva, bacias de retenção e pavimentos permeáveis, além de reforçar a integração entre drenagem e gestão de resíduos sólidos (Governo de Pernambuco, 2021).

Em suma, a gestão da drenagem urbana em Pernambuco ainda enfrenta desafios relacionados à fragmentação institucional, ausência de recursos técnicos e financeiros e baixa articulação entre os diferentes níveis de governo. A superação dessas barreiras passa pela implementação de políticas públicas mais integradas, que aliem planejamento urbano sustentável, modernização da infraestrutura e educação ambiental.

2.5.3 Gestão da drenagem urbana na cidade do Recife

A cidade do Recife apresenta um dos cenários mais críticos do Brasil no que se refere à drenagem urbana. Situada em uma planície costeira, marcada por baixa altitude, solos com lençol freático elevado e forte presença de rios e canais, o município é altamente suscetível a alagamentos e inundações, especialmente durante os períodos de chuvas intensas (Silva; Cabral, 2014).

A gestão da drenagem urbana no Recife é coordenada, principalmente, pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), vinculada à Secretaria de Infraestrutura do Município. A EMLURB é responsável por atividades como limpeza de canais, manutenção da microdrenagem e execução de obras de infraestrutura. Contudo, sua atuação é, em muitos casos, reativa, concentrando-se em medidas de mitigação após os eventos extremos, o que demonstra a carência de políticas preventivas e de investimentos estruturais contínuos (EMLURB, 2013).

O Plano Municipal de Saneamento Básico do Recife (PMSB), instituído pela Lei Municipal nº 18.208/2015, contempla a drenagem urbana como um dos seus eixos centrais. O plano propõe diretrizes como a ampliação de áreas permeáveis, incentivo ao uso de técnicas

compensatórias e o desenvolvimento de estudos técnicos para o redesenho da rede de drenagem urbana, principalmente nas áreas mais vulneráveis, como os bairros do Ibura, Jardim São Paulo e Boa Viagem (PREFEITURA DO RECIFE, 2015).

Contudo, conforme apontado por Moura (2022), mesmo com o PMSB em vigor, sua implementação efetiva esbarra na falta de recursos financeiros, na fragilidade da governança local e na insuficiência de mão de obra técnica capacitada. A cidade carece de um sistema integrado de informação e monitoramento da drenagem urbana, bem como de uma legislação que exija o uso obrigatório de técnicas sustentáveis em novos empreendimentos urbanos.

Recente relatório da Defesa Civil do Recife (2022) também alerta para o aumento do número de áreas de risco relacionadas a inundações e deslizamentos, evidenciando que o crescimento urbano desordenado segue como um agravante do cenário atual. A impermeabilização excessiva do solo e a ocupação irregular das margens dos cursos de água sobrecarregam o sistema de drenagem existente e tornam ineficientes as intervenções pontuais.

Ainda assim, iniciativas como o Parque Capibaribe, projeto de revitalização das margens do rio homônimo com uso de soluções baseadas na natureza, demonstram o potencial da cidade em desenvolver modelos inovadores de drenagem urbana sustentável. O projeto, desenvolvido em parceria com a UFPE e outras instituições, visa integrar paisagem, drenagem e lazer urbano, promovendo uma nova abordagem para o enfrentamento dos desafios climáticos (Cabral *et al*., 2019).

Portanto, a gestão da drenagem urbana no Recife demanda avanços significativos, com prioridade para o fortalecimento institucional, planejamento integrado e adoção de medidas sustentáveis que sejam adaptadas às características geográficas da cidade e às mudanças climáticas em curso.

2.5.4 Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) é o principal instrumento de planejamento e gestão dos serviços públicos de saneamento básico em nível local. Criado a partir das diretrizes estabelecidas pela Lei nº 11.445/2007, o PMSB visa garantir que os municípios planejem de forma integrada e participativa os quatro componentes do saneamento básico: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. No caso do Recife, esse plano se materializou oficialmente por meio da Lei Municipal nº 18.208, de 24 de junho de 2015, que instituiu o PMSB do município, vindo a ser publicado no ano de 2017.

A elaboração do PMSB do Recife se deu em consonância com os princípios da universalização

do acesso, controle social, sustentabilidade econômica e ambiental dos serviços, além da promoção da equidade. O documento, fruto de debates técnicos e audiências públicas com participação da sociedade civil, apresenta um diagnóstico detalhado da situação dos serviços de saneamento na cidade, projeta cenários futuros e estabelece metas e diretrizes para o planejamento de curto, médio e longo prazo (Prefeitura do Recife, 2017).

No que se refere ao componente de drenagem urbana, o PMSB do Recife assume um papel central, especialmente considerando a alta vulnerabilidade da cidade a eventos extremos de precipitação e seus impactos na infraestrutura urbana. A drenagem é tratada no plano não apenas como um problema técnico de engenharia, mas como um desafio urbano multidimensional, que envolve questões de saúde pública, ordenamento territorial, justiça socioambiental e adaptação às mudanças climáticas (Moura, 2022).

Entre as principais diretrizes do PMSB recifense, no que diz respeito à diretriz de drenagem urbana, destaca-se:

1. A redução do coeficiente de impermeabilização dos terrenos urbanos por meio de políticas de incentivo a áreas verdes, telhados verdes e pavimentos permeáveis;
2. A incorporação de soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva e bacias de infiltração;
3. A realização de obras estruturantes nas áreas mais críticas da cidade, com base nos levantamentos da EMLURB e da Defesa Civil;
4. A integração do sistema de drenagem com o planejamento urbano, a política habitacional e a gestão de resíduos sólidos;
5. A necessidade de manutenção e monitoramento contínuo das redes de micro e macrodrenagem existentes.

O plano também estabelece indicadores de desempenho e um sistema de avaliação periódica, que permite revisar metas e adequar estratégias conforme as mudanças no cenário urbano e climático. No entanto, embora o PMSB represente um importante avanço institucional, sua implementação ainda é parcial, com muitas das ações estruturantes previstas aguardando financiamento e definição de projetos executivos.

Um ponto sensível diz respeito à articulação entre o PMSB e os instrumentos de planejamento urbano existentes, como o Plano Diretor e os Planos Setoriais de Mobilidade, Habitação e Meio Ambiente. A falta de sinergia entre esses documentos pode comprometer a efetividade das ações previstas, sobretudo em áreas densamente ocupadas e com infraestrutura precária, como os bairros periféricos da Zona Oeste e da Zona Sul do Recife, que concentram a maior parte dos pontos críticos de alagamento.

Outro desafio enfrentado é o da governança e da gestão participativa. Embora o PMSB tenha sido elaborado com mecanismos de consulta pública, sua execução ainda carece de maior envolvimento comunitário, principalmente na etapa de monitoramento. A criação de comitês locais de acompanhamento, com representantes da sociedade civil e dos poderes públicos, poderia fortalecer o

controle social e garantir maior transparência e legitimidade às ações implementadas.

Também é importante destacar que o PMSB do Recife foi um dos primeiros planos municipais de saneamento do país a inserir de forma estruturada o conceito de resiliência urbana frente às mudanças climáticas. Essa abordagem é fundamental para uma cidade costeira, densamente urbanizada e sujeita a extremos climáticos cada vez mais frequentes. Nesse contexto, a drenagem urbana vista na perspectiva da sustentabilidade e da justiça ambiental, adquire um novo sentido: não apenas como infraestrutura, mas como ferramenta de transformação urbana e de promoção do direito à cidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

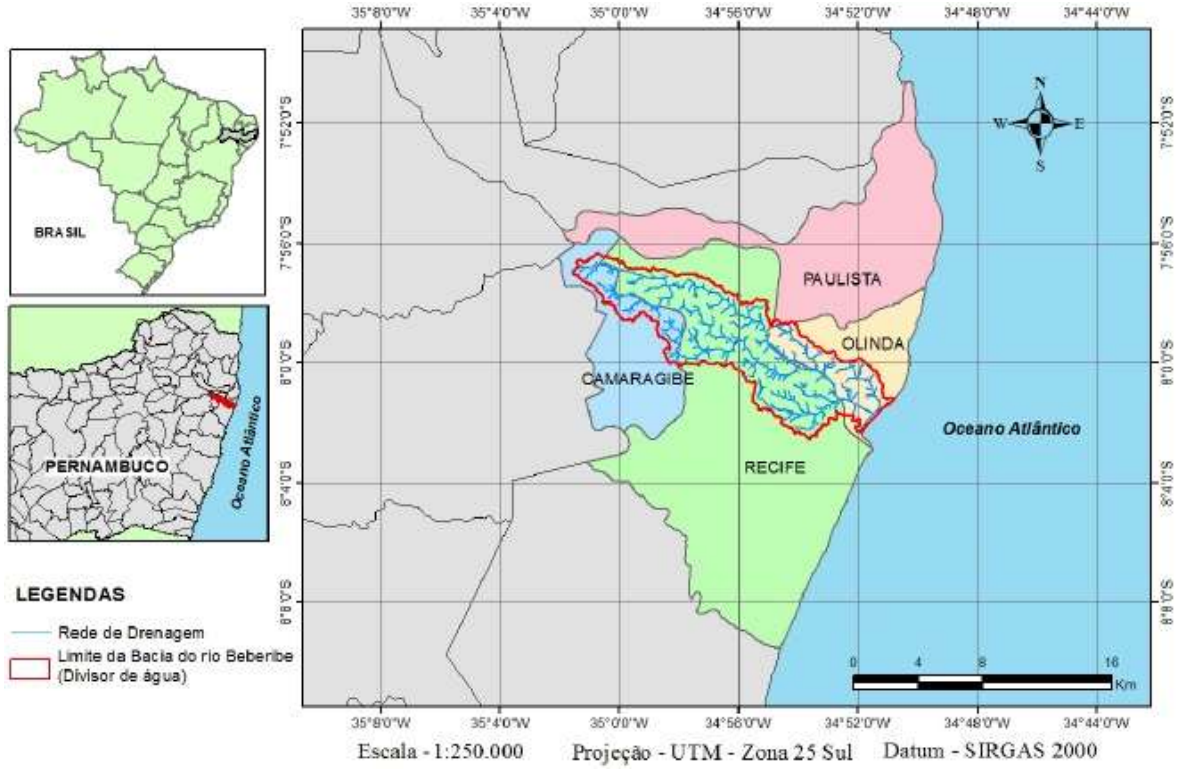
A presente dissertação se trata de uma pesquisa de caráter qualitativo e descritivo, com o intuito de averiguar as condições hirológicas/hidráulicas da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, a partir de uma análise de sua morfometria. Com isso, averiguar suas condições para a drenagem de águas pluviais e considerar o uso de três técnicas compensatórias para drenagem urbana – Jardim de chuva, pavimento permeável e telhados verdes –, sendo apresentadas a partir de uma revisão sistemática de pesquisas recentes sobre estas técnicas na cidade do Recife. Somado a isso, relacionar esta dissertação com as diretrizes do PMSB da cidade do Recife, gerando uma nota técnica, estabelece um produto final, evidenciando se está de acordo com o que foi estabelecido pelo PMSB.

Para a consecução do principal objetivo desta dissertação, foram consideradas, de forma geral as seguintes etapas: caracterização da área de estudo e justificativa de escolha; caracterização hidrológica e pluviométrica da área em estudo, a partir de dados disponibilizados por orgão governamentais; uso de geotecnologias para obtenção de análise morfométrica e fisiográfica da área de estudo; revisão bibliográfica e sistemática acerca dos tipos de técnicas compensatórias para drenagem urbana escolhidas, ambas na cidade do Recife; e o cruzamento das diretrizes do PMSB do Recife com a aplicabilidade das técnicas compensatórias na área de estudo.

3.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Beberibe, presente no estado de Pernambuco, está inserida, em sua maioria nos municípios de Recife, Olinda e Camaragibe, mas, há uma intersecção quase que desconsiderável no município de Paulista, como mostra a Figura 18. Esta bacia hidrográfica está demarcada pelas coordenadas geográficas: latitudes 7º56’00” e 8º3’30” sul; longitudes 34º50’0” e 35º2’0” oeste (Gonçalves, 2017). Góes (2009) explana que 42% da área desta bacia hidrográfica está urbanizada, sendo mais da metade apresentando alta densidade de ocupação e baixa permeabilidade do solo, o que está acima do limite crítico apontado por Tucci (2013) de 30%.

Figura 18 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Beberibe



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2017)

O Rio Beberibe nasce no município de Camaragibe, após confluência com o rio Pacas e o rio Araçá, formando o início de uma bacia hidrográfica que, com base na classificação das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, a bacia hidrográfica do Rio Beberibe está inserida no Grupo de Pequenos Rios Litorâneos, o GL-1 (APAC, 2022).

A bacia hidrográfica em estudo tem cerca de 590 mil habitantes inseridos na área em que ocupa, tendo uma densidade demográfica aproximada de 7.300 hab/km². Sua área total chega a 81 km², sendo 64,5% desta área inserida no Recife, a qual será estudada nesta dissertação.

A caracterização morfométrica e fisiográfica de uma bacia hidrográfica é fundamental para entender o comportamento hidrológico, a dinâmica ambiental e a vulnerabilidade às inundações (Villela; Mattos, 1975). Segundo Tucci (2000), o estudo das características físicas da bacia é essencial para modelar fluxos de água, prever processos erosivos e elaborar projetos de gerenciamento hídrico eficientes. No caso da bacia do Rio Beberibe, a combinação entre fatores climáticos, geológicos e morfológicos resulta em uma região de alta complexidade ambiental, especialmente devido à ocupação urbana desordenada.

A estrutura do relevo influencia decisivamente o escoamento superficial, sendo a topografia da bacia marcada por três compartimentos geomorfológicos principais: tabuleiros costeiros, domínios de morros e planícies aluviais (Campos, 2003). Essa compartimentação

resulta em diferentes padrões de uso e ocupação do solo, bem como em distintas dinâmicas de escoamento e infiltração de águas pluviais. A presença de tabuleiros na parte alta da bacia, associados a solos menos permeáveis, favorece o escoamento superficial, enquanto as planícies, localizadas nas regiões mais baixas, atuam como áreas de inundação.

O clima, classificado como As' segundo a tipologia de Köppen (1948), apresenta estações bem definidas, com um período chuvoso entre outono e inverno e um período seco entre primavera e verão. Essa sazonalidade climática influencia diretamente os padrões de recarga e vazão dos cursos de água. A precipitação média anual é de aproximadamente 2.002,6 mm, concentrada em poucos meses do ano, o que potencializa os riscos de enchentes (Freitas, 2010).

Do ponto de vista geológico, a presença de formações sedimentares das bacias Pernambuco-Paraíba, aliadas a solos de baixa capacidade de infiltração, favorece o escoamento superficial rápido e o risco de inundações (SECTMA, 1998). As características do solo, juntamente com a ocupação irregular, tornam o solo mais suscetível à erosão e à degradação ambiental.

A vegetação remanescente da bacia, majoritariamente composta por fragmentos de Mata Atlântica, desempenha papel essencial na proteção dos solos e na regulação do balanço hídrico. Entretanto, como apontam estudos realizados pela SECTMA (2009), a cobertura vegetal original foi drasticamente reduzida pela expansão urbana, restando apenas pequenos núcleos florestais em unidades de conservação como o Parque Estadual de Dois Irmãos e a Estação Ecológica de Caetés.

A hidrologia da bacia é caracterizada por uma rede de drenagem moderadamente densa, cuja qualidade é fortemente afetada pela poluição antrópica (Campos, 2003; Freitas, 2010). A falta de saneamento básico, associada à deposição de efluentes domésticos e industriais, compromete a qualidade das águas, resultando em trechos altamente poluídos, especialmente no baixo curso (CPRH, 2011). A Figura 19 traz um exemplo de urbanização e poluição no rio Beberibe, em Dois Unidos, bairro de Recife.

Figura 19 – Exemplo de urbanização e poluição no rio Beberibe

Fonte: Gonçalves (2017)

A caracterização morfométrica mostrará a importância da bacia do Rio Beberibe no contexto da drenagem urbana da Região Metropolitana do Recife, evidenciando a necessidade urgente de ações de planejamento e gestão integrada, baseadas em parâmetros morfométricos precisos e em dados fisiográficos atualizados. A ausência de uma gestão eficiente pode potencializar eventos hidrológicos extremos, impactando diretamente a qualidade de vida da população.

Assim, a compreensão integrada dos aspectos morfométricos e fisiográficos da bacia é fundamental para subsidiar políticas públicas de saneamento, drenagem e controle ambiental, contribuindo para a promoção de cidades mais resilientes e sustentáveis.

3.2 Caracterização hidrológica e pluviométrica da bacia hidrográfica

A análise hidrológica e pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe constitui etapa essencial para a compreensão dos processos de escoamento superficial e da dinâmica hídrica local. Para caracterizar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, optou-se por uma abordagem metodológica adaptada à realidade local da disponibilidade de dados. Considerando que as séries históricas de dados hidrológicos e pluviométricos dessa bacia não estão acessíveis por meio da plataforma HidroWeb da ANA, este estudo utilizou majoritariamente as informações disponibilizadas pela APAC, que se configura como a principal fonte estadual de dados hidrometeorológicos para o território pernambucano.

A coleta de dados foi realizada por meio da plataforma da APAC, a qual disponibiliza séries históricas de precipitação, vazão e nível de água obtidas por estações automáticas e convencionais distribuídas no estado. Para a bacia do Beberibe, foram selecionadas as estações pluviométricas e fluviométricas mais representativas em relação à área de contribuição do

sistema, ambas nos municípios de Recife, Olinda e Camaragibe, porque entende-se que o conjunto contribui para a o estudo, mesmo que limitado à cidade do Recife, com atenção à sua continuidade das medições e confiabilidade das séries, com um estudo de 2015 a 2025, configurando 10 anos de contribuição critério este também recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1984). Seguindo os procedimentos descritos por Alves *et al*. (2020), os dados foram previamente tratados com análise crítica de consistência, buscando-se eliminar valores anômalos, lacunas e possíveis falhas de medição .

A caracterização pluviométrica baseou-se na análise estatística das séries temporais de precipitação, incluindo o cálculo de totais mensais e anuais, distribuição sazonal e frequência de eventos extremos. Essa abordagem segue metodologia semelhante à aplicada por Souza *et al*. (2023), que utilizaram dados da APAC para a bacia do Rio Ipojuca, evidenciando sua aplicabilidade em estudos hidroclimáticos regionais .

Em complemento à análise pluviométrica, a caracterização hidrológica foi realizada com base nas vazões médias mensais e extremas (mínima e máxima) das séries fluviométricas disponíveis para a bacia, estas também extraídas da plataforma HidroWEB. Quando necessário, procedeu-se à regionalização de dados utilizando métodos estatísticos e empíricos ajustados à realidade do semiárido úmido da Região Metropolitana do Recife, conforme sugerido por Araújo *et al*. (2023) em estudos realizados em bacias próximas .

Como apoio à espacialização dos dados, como segue o subtópico posterior desta dissertação, utilizou-se o *software* QGIS para a delimitação da bacia do Rio Beberibe e a identificação das sub-bacias de contribuição, com base em Modelos Digitais de Elevação (MDEs) com resolução espacial de 30 metros, obtidos do banco de dados geomorfométricos do Brasil – Topodata, a partir do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Essa etapa foi fundamental para compreender a topografia, os cursos de água e os principais elementos físicos que condicionam o escoamento superficial na área estudada.

Essa metodologia, ao integrar fontes estaduais de dados e técnicas de geoprocessamento, permite uma análise hidrológica e pluviométrica consistente, mesmo diante da limitação de dados federais. Além disso, reforça a importância de valorizar os sistemas de monitoramento regionais, como a APAC, que se mostram essenciais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos em escala local.

Complementarmente, foi estimado o coeficiente de escoamento superficial da bacia, com base na relação entre os volumes precipitados e as vazões observadas, para estipular a vazão de escoamento máxima em uma situação hipotética. Essa análise considerou as características urbanas da bacia, incluindo grau de impermeabilização, uso e ocupação do solo, cobertura

vegetal e declividade do terreno. Tais variáveis foram extraídas a partir de dados vetoriais e raster disponíveis nos portais da Prefeitura do Recife, da APAC e do IBGE.

3.2.1 Estimativa de vazão para estudo do escoamento superficial

A compreensão do comportamento hidrológico da bacia do Rio Beberibe demanda uma abordagem que vai além da aplicação de métodos simplificados. Para isso, a presente dissertação dialoga com a metodologia desenvolvida por Góes (2009), que integrou levantamento de campo, geotecnologias e modelagem hidrológica/hidrodinâmica para estimar, com mais acurácia, as vazões que se manifestam durante eventos críticos de precipitação.

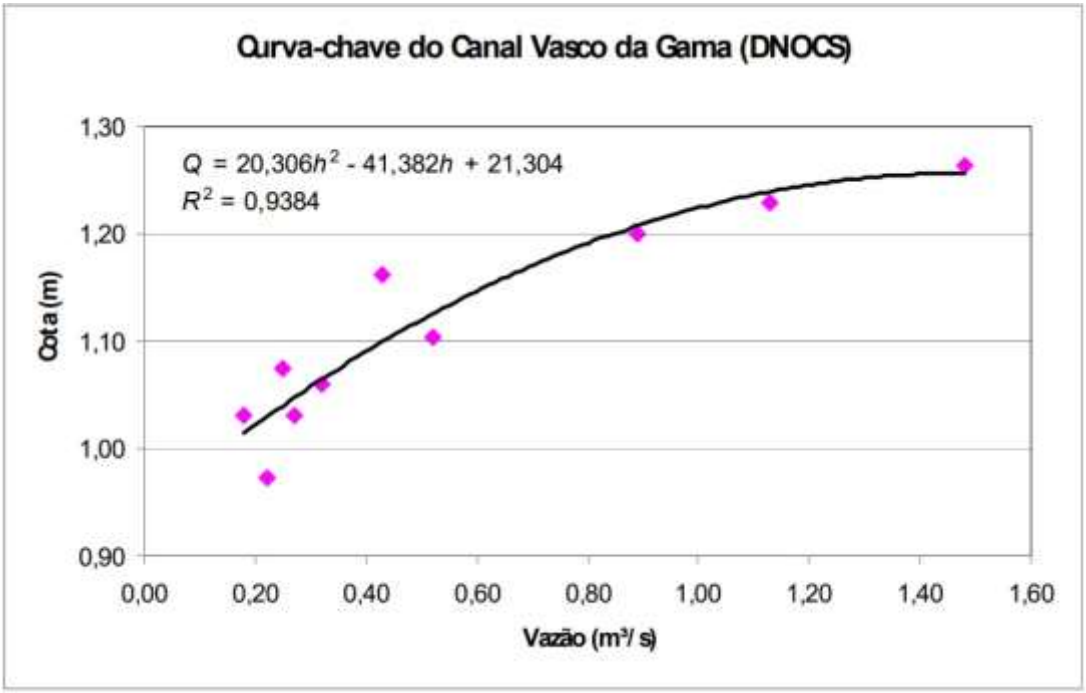
A estimativa de vazões foi realizada por meio da calibração do modelo MIKE SHE/MIKE 11, com base física distribuída, o qual considera a variabilidade espacial da bacia hidrográfica, incluindo aspectos como uso do solo, altimetria e permeabilidade das superfícies. A base de dados incluiu: (i) modelo numérico do terreno (MNT); (ii) imagens de satélite de alta resolução; (iii) séries históricas de precipitação obtidas a partir da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) na cidade de Olinda; e (iv) medições de nível e velocidade da água em seções estratégicas dos canais que compõem a bacia.

As leituras de nível de água foram realizadas com o apoio de réguas limnimétricas instaladas nos canais principais e secundários. A coleta foi feita por moradores capacitados das comunidades locais, que registravam os dados seis vezes ao dia (07h, 09h, 11h, 13h, 15h e 17h), entre maio e agosto de 2007. Já as medições de velocidade do fluxo foram realizadas em campanhas de campo, utilizando flutuadores em diferentes verticais da seção transversal dos rios.

A partir da combinação entre o nível medido e a velocidade média, foram determinadas as curvas-chave, que permitiram transformar os níveis observados em vazões. As curvas-chave foram traçadas para diferentes trechos da bacia, incluindo pontos de destaque como o Canal Vasco da Gama, o Canal da Bomba do Hemetério, o Riacho Lava-Tripa, o Rio Morno e o Rio Beberibe (Portão do Gelo).

A Figura 20 ilustra o exemplo de uma curva-chave elaborada para o Canal Vasco da Gama. Como pode ser observado, o traçado da curva relaciona diretamente a altura de água registrada na régua limnimétrica com a vazão calculada, gerando uma equação representativa do comportamento hidrológico daquele ponto.

Figura 20 – Curva-chave do canal Vasco da Gama



Fonte: Adaptado de Góes (2009)

Dessa forma, com os dados empíricos calibrados no modelo MIKE SHE/MIKE 11, foi possível simular diferentes eventos críticos de precipitação na bacia do Beberibe, a partir dos dados de vazão obtidos pela curva-chave, no modelo sugerido por Góes (2009), oferecendo subsídios reais e altamente relevantes para o conhecimento do escoamento superficial na área de estudo e, sucessivamente, para o dimensionamento de soluções de drenagem urbana.

3.3 Uso de geotecnologias para obtenção de dados morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe

De início, foi realizado um estudo bibliográfico sobre as possibilidades do uso de geotecnologias para obter dados morfométricos da bacia hidrográfica do rio Beberibe. As informações espaciais utilizadas para compor o banco de dados, bem como para o seu processamento e posterior análise, foram obtidas a partir de fontes institucionais confiáveis. Os dados referentes à rede de drenagem, aos tipos de solo, aos limites municipais e à delimitação territorial do estado de Pernambuco foram extraídos do repositório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esses arquivos, disponibilizados no formato *shapefile*, apresentaram total compatibilidade com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), como o ArcGIS 10.3 e o SPRING 5.4.3, que foram utilizados nesta dissertação.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE), com base nos dados da missão SRTM (*Shuttle*

Radar Topographic Mission), foram obtidos em formato Geotiff (.tiff), oriundos do banco de dados geomorfométricos do Brasil, resultado do projeto TOPODATA, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para atender à área da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, foram selecionadas as folhas cartográficas identificadas pelos códigos 07S36 e 08S36, que compreendem os municípios de Camaragibe, Recife, Olinda e Paulista. Com isso, foi necessária a preparação antes de utilizá-lo na delimitação da bacia estudada, executanto o mosaico, a definição da projeção, a reprojeção e o recorte do MDE.

3.3.1 Preparação MDE Topodata

As duas imagens selecionadas (07S36 e 08S36), no formato geotiff (.tiff), foram inseridas no *dataframe* do ArcGIS, que corresponde à área de trabalho onde os dados são visualizados e manipulados. Como o MDE proveniente do Topodata não possui, por padrão, um Sistema Geodésico de Referência (SGR) definido, foi necessário atribuir um SGR e uma projeção.

Optou-se pela adoção do sistema SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que, conforme estabelecido pelo IBGE (2016), é o sistema geodésico de referência oficialmente adotado no território brasileiro. Após essa etapa, foi realizada a criação de um mosaico, também conhecida como mosaicagem, unificando as duas imagens em um único arquivo contínuo.

Na sequência, foi executado o processo de reprojeção espacial do mosaico do MDE para a projeção UTM, fuso 25 sul, que se trata de um sistema de coordenadas planas, que contempla a área de abrangência da bacia hidrográfica em estudo. Para finalizar essa etapa, o mosaico resultante foi recortado com base nos limites territoriais dos municípios de Camaragibe, Recife, Olinda e Paulista, sendo neste último uma quase que desconsiderável contribuição.

3.3.2 Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Beberibe

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada utilizando o *software* QGIS, por meio da ferramenta *Hydrology*, que integra o módulo *Spatial Analyst Tool*. Para isso, foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE), previamente tratado, com resolução espacial de 30 metros, como base para a análise e extração das características físicas da bacia.

O procedimento metodológico seguiu uma sequência de operações no ambiente SIG, adaptadas das abordagens de Dias *et al*. (2004) e Alves Sobrinho *et al*. (2010). As etapas envolveram: Fill (preenchimento de depressões ou imperfeições do terreno), *Flow Direction*

(determinação das direções preferenciais de escoamento superficial), *Flow Accumulation* (acúmulo de fluxo), *Basin* (identificação das bacias hidrográficas existentes) e, por fim, *Raster to Feature*, que converte os dados raster em arquivos vetoriais do tipo polígono.

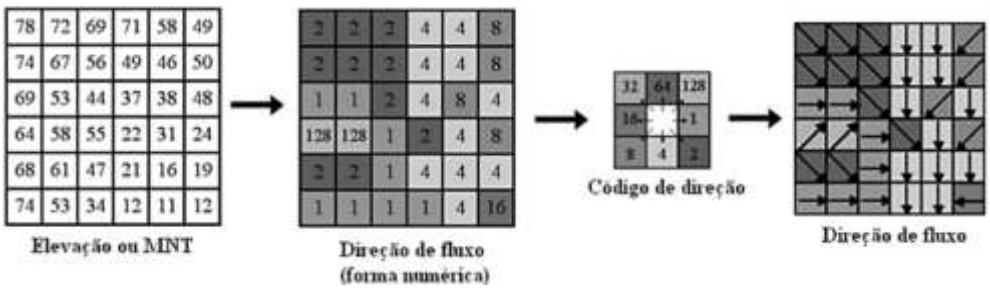
É importante destacar que os MDEs derivados de dados do SRTM frequentemente apresentam falhas conhecidas como *sinks*, que consistem em áreas cercadas por elevações com cotas mais altas, simulando rebaixamentos artificiais no relevo. Essas imperfeições representam obstáculos para o escoamento e, se não tratadas, podem comprometer a modelagem hidrológica, especialmente nas simulações relacionadas ao transporte de sedimentos e poluentes difusos (Mendes; Cirilo, 2001).

A identificação e correção dessas depressões foram realizadas por meio do comando *Fill*, que elimina os *sinks* automaticamente, permitindo que o fluxo hídrico simulado siga trajetos coerentes com a topografia real. A não eliminação dessas depressões comprometeria a representação das áreas de contribuição à jusante e os caminhos naturais do escoamento à montante, podendo gerar distorções na delimitação das sub-bacias.

Após o preenchimento das depressões, foi executada a etapa de determinação da direção do fluxo com a ferramenta *Flow Direction*. De acordo com Rennó *et al*. (2008), a definição das direções de fluxo é fundamental para compreender as conexões hidrológicas entre diferentes pontos da bacia. Essa análise permite a construção de um raster em que cada célula é associada à direção em que o escoamento superficial ocorrerá, considerando os oito vizinhos adjacentes.

A lógica do cálculo do *Flow Direction* baseia-se na identificação da maior inclinação entre a célula analisada e seus vizinhos imediatos. A declividade é estimada a partir da diferença de elevação entre os valores do MDE, considerando cada célula contígua, conforme detalhado por Santos (2012). Esse processo assegura a continuidade topológica dos fluxos e é indispensável para a estruturação da rede de drenagem, como demonstra a Figura 21.

Figura 21 – Exemplo de aplicação da função Flow Direction



Fonte: Alves Sobrinho *et al* (2010), adaptado de ESRI (2008)

Com base na matriz de direções de fluxo, aplicou-se a ferramenta *Flow Accumulation* (Figura 22), que permite identificar a rede de drenagem da bacia. Conforme Mendes e Cirilo (2001), essa função calcula, para cada célula, o volume acumulado de água resultante das

contribuições das células a montante. Assim, quanto mais células convergem seu fluxo para um ponto, maior será o valor atribuído, evidenciando os principais caminhos de escoamento superficial.

Figura 22 – Exemplo de aplicação da função Flow Accumulation

Fonte: Adaptado de Olivera (2012)

A etapa final consistiu na aplicação da ferramenta *Basin*, que gerou um raster com a delimitação de todas as bacias de drenagem existentes na área de estudo. Em seguida, a subdivisão correspondente à bacia do Rio Beberibe foi convertida em polígono, de modo a facilitar a extração de variáveis e a realização de análises subsequentes.

Segundo a ESRI (2015), o delineamento das bacias hidrográficas se dá a partir da identificação das linhas de cume — divisores topográficos entre diferentes áreas de drenagem — dentro do recorte espacial definido. A análise é realizada com base no *raster* de direção de fluxo, permitindo agrupar células conectadas que compartilham o mesmo ponto de destino para o escoamento. As bacias são determinadas ao localizar os pontos de exutório nas bordas do *raster* (locais por onde a água sai) e também os sumidouros internos, identificando a área de contribuição associada a cada um desses pontos. O resultado é um *raster* que representa, com precisão, as unidades de drenagem presentes no território analisado.

3.3.3 Variáveis geométricas da bacia em estudo

Para a execução da análise morfométrica da bacia hidrográfica, é fundamental o conhecimento de diversas variáveis físicas, tais como: área de drenagem (A), perímetro (P), comprimento axial da bacia (LAX), comprimento do curso principal (L), comprimento do talvegue (LTV) e comprimento total dos cursos d'água (Lt).

A obtenção de parâmetros como área, perímetro e extensão total dos cursos de água foi realizada no *software* QGIS, por meio da ferramenta *Calculate Geometry*, após a criação de campos específicos na tabela de atributos da camada correspondente. Ressalta-se que, para

garantir maior precisão nos cálculos, foi adotado o SIRGAS2000/UTM, adequado para medições planimétricas.

A ferramenta *Calculate Geometry* permite calcular atributos geométricos de feições espaciais — como coordenadas, comprimentos e áreas — desde que o sistema de coordenadas esteja devidamente projetado. De acordo com a ESRI (2015), diferentes projeções cartográficas possuem propriedades espaciais distintas, e o uso de sistemas de referência incompatíveis entre a fonte de dados e a camada pode acarretar em distorções nos resultados.

As demais variáveis morfométricas foram obtidas por meio da ferramenta *Measure*, também disponível no ArcGIS. Para garantir a precisão das medições, todos os valores, com exceção do comprimento total dos cursos de água, foram verificados utilizando o *software* SPRING 5.4.3, por meio do módulo Operações Métricas, assegurando maior confiabilidade às análises realizadas.

3.3.4 Hipsometria e declividade

No processo de análise, utilizou-se o SPRING 5.4.3 para gerar informações relacionadas à hipsometria, empregando a imagem do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo, já com a delimitação da bacia. A resolução espacial adotada foi de 30m, o que possibilitou a criação das classes hipsométricas. Para o fatiamento e a elaboração das classes temáticas, foi necessário determinar os intervalos de classes que seriam aplicados, a fim de produzir um mapa hipsométrico.

Os valores de altimetria, tanto máximos quanto mínimos, foram obtidos por meio de uma análise exploratória utilizando estatísticas descritivas da imagem, processo que permitiu estabelecer os intervalos de maneira precisa e adequada.

Além disso, com o uso do mesmo MDE proveniente da imagem SRTM, foi realizada uma análise de declividade, a qual exigiu a criação de uma nova categoria de dados para o Modelo Numérico do Terreno (MNT). Posteriormente, foi gerada uma classe de declividade, utilizando o menu “MNT” e selecionando a opção correspondente à "Declividade". A grade de declividade foi então gerada em termos percentuais.

De maneira similar ao procedimento adotado para a hipsometria, foi realizada uma análise exploratória da estatística descritiva da grade de declividade. O objetivo foi obter os valores máximos e mínimos da declividade, a fim de determinar os intervalos de forma adequada e precisa.

3.3.5 Cálculos para efetuar a caracterização morfométrica da bacia

A caracterização morfométrica da bacia do Rio Beberibe foi realizada com base em parâmetros que consideram diversas variáveis de uma bacia hidrográfica, como área, perímetro, comprimento total dos cursos de água, o eixo axial da bacia, o curso do rio principal e a extensão vetorial do rio principal. Os parâmetros selecionados para essa análise morfométrica incluem o Coeficiente de Compacidade (Kc), o Fator de Forma (Kf), o Índice de Circularidade (Ic), a Razão de Elongação (Re), a Densidade da Drenagem (Dd), o Coeficiente de Manutenção (Cm), a Sinuosidade do curso de água (Sin) e o Índice de Sinuosidade (Is).

O Coeficiente de Compacidade (Kc) mede a relação entre a forma da bacia e a forma de um círculo. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que reflete a forma da bacia, independentemente do seu tamanho. Um valor de Kc inferior ou igual a 1 indica uma bacia com formato circular, enquanto valores superiores a 1 são indicativos de uma bacia mais alongada. Quanto mais circular a bacia for, mas tendência a enchente tem. Para o cálculo do Kc, utilizou-se a Equação 1:

$$\boldsymbol{Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}} \quad (1)$$

Em que:

Kc = Coeficiente de compacidade (admissional);

A = Área da bacia (km²); e

P = Perímetro da bacia (km).

O Fator de Forma (Kf) relaciona a forma da bacia a um retângulo, estabelecendo uma correlação entre a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, desde a foz até o ponto mais distante do espigão. Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo tende a ser menos suscetível a enchentes. Para o cálculo do Fator de Forma, utilizou-se a Equação 2:

$$\boldsymbol{Kf = \frac{A}{Lax^2}} \quad (2)$$

Em que:

Kf = Fator de Forma (adimensional);

A = Área da bacia (km²); e

LAX = comprimento axial da bacia (km).

O Índice de Circularidade (Ic) estabelece uma relação entre a área da bacia hidrográfica e a área de um círculo que possua o mesmo perímetro da bacia. Esse índice tende a se aproximar da unidade à medida que a forma da bacia se torna mais circular, e diminui proporcionalmente

conforme a bacia assume uma configuração mais alongada (Cardoso *et al.*, 2006). Para a obtenção do Índice de Circularidade, aplicou-se a Equação 3:

$$\boldsymbol{Ic} = \frac{\mathbf{12{,}57} * \boldsymbol{A}}{\mathbf{P}^2} \quad (3)$$

Em que:

Ic = Índice de Circularidade (adimensional);

A = Área da bacia (km²); e

P = Perímetro da bacia (km).

A Razão de Elongação (Re) é definida como a relação entre o diâmetro de um círculo cuja área seja equivalente à área da bacia hidrográfica e o comprimento do eixo principal da bacia. Esse índice está diretamente associado à suscetibilidade da bacia a eventos de cheia, tendo como base a sua forma. De modo geral, quanto maior o valor da razão de alongamento, maior a tendência da bacia apresentar enchentes. Por outro lado, valores mais baixos indicam uma morfologia mais alongada, o que, em geral, está relacionado a um menor risco de inundações (Cardoso *et al.*, 2006). Para o cálculo da Re, utilizou-se a Equação 4:

$$\boldsymbol{Re} = \mathbf{1{,}128} * \frac{\boldsymbol{A}^{\mathbf{0{,}5}}}{\mathbf{Lax}} \quad (4)$$

Em que:

Re = Razão de Elongação (adimensional);

A = área da bacia (Km²); e

Lax = comprimento do eixo da bacia (Km).

A Densidade de Drenagem (Dd) é expressa pela razão entre o comprimento total dos cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Segundo Christofoletti (1980), esse parâmetro é fundamental para a análise morfométrica de bacias, pois revela uma relação inversamente proporcional entre a densidade e o comprimento dos rios. Em termos práticos, à medida que o valor da densidade aumenta, observa-se uma tendência de redução proporcional no tamanho dos componentes fluviais que compõem a rede de drenagem. Para o cálculo da Densidade de Drenagem, aplicou-se a Equação 5:

$$\boldsymbol{Re} = \frac{\boldsymbol{Lt}}{\boldsymbol{A}} \quad (5)$$

Em que:

Dd = Densidade da drenagem (km/km²)

Lt = comprimento total dos canais (km); e

A = Área da bacia (km²).

O Coeficiente de Manutenção dos canais (Cm), proposto por Schumm (1956), é definido como o inverso da Densidade de Drenagem. Esse indicador reflete a dinâmica da dissecação do

relevo, evidenciando que, à medida que essa dissecação se intensifica, há uma redução progressiva da área disponível para o desenvolvimento de novos canais. Em outras palavras, o Cm representa a área média da bacia que permanece livre, ou ainda não ocupada, para a formação de novos cursos de água. Para isso, usou-se a Equação 6:

$$\boldsymbol{Cm} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{Dd}} * 1000 \quad (6)$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem (km/km²); e

Cm = é o coeficiente de manutenção (m²/m).

A Sinuosidade do curso de água (Sin) é determinada pela razão entre o comprimento total do curso de água principal da bacia (L) e o comprimento do talvegue, medido em linha reta entre a nascente e a foz do rio. Conforme Strahler (1957), esse índice fornece uma medida da curvatura do rio e atua como um fator de controle da velocidade do escoamento superficial. Segundo Studart (2006), essa relação pode ser expressa por meio da Equação 7:

$$\boldsymbol{Sin} = \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{Ltv}} \quad (7)$$

Em que:

Sin = sinuosidade do curso d'água (adimensional);

L = comprimento do canal principal (km); e

LTV = comprimento do talvegue (km).

Por fim, o Índice de Sinuosidade (Is) representa, em termos percentuais, a relação entre o comprimento do curso do rio e o comprimento do talvegue. De acordo com Coutinho *et al*. (2013), esse índice está associado ao comportamento do escoamento superficial, indicando que, em áreas com maior declividade, tende-se a observar um aumento na velocidade do escoamento. A Equação 8 apresenta:

$$\boldsymbol{Is} = \frac{\mathbf{100} * (\boldsymbol{L} - \boldsymbol{Lvt})}{\boldsymbol{L}} \quad (8)$$

Em que:

Is = Índice de sinuosidade (porcentagem);

L = comprimento do canal principal (km); e

LTV = comprimento do talvegue (km)

3.4 Procedimentos para revisão sistemática das técnicas compensatórias para drenagem urbana em estudo

Para esta pesquisa, considerou-se apenas três técnicas compensatórias: jardim de chuva,

telhado verde e pavimento permeável. No presente trabalho já foram apresentadas diversas técnicas compensatórias, mas as escolha das três técnicas citadas acima se justifica pela quantidade de pesquisas na cidade do Recife, que se destacam em relação às demais.

Será adotado como referencial metodológico, a revisão sistemática de bibliografia, sendo este um método que consiste em identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as pesquisas e informações importantes que estão disponíveis na literatura sobre um determinado tema, permitindo a investigação focada em um tópico definido (Galvão, 2014). Desta forma, será realizada uma revisão sistemática para determinar as principais características, comportamento e eficiência na execução das técnicas de jardins de chuva, pavimento permeável e telhado verde na cidade do Recife, principalmente das que tratarem das limitações da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, em uma janela temporal de 10 anos sobre o objeto de estudo.

As plataformas como SCIELO, CAPES e Google Acadêmico, além do *software* VOSviewer, foram utilizadas para este estudo. As palavras chaves utilizadas foram: Jardim de chuva no Recife; Pavimento permeável no Recife; Telhado verde no Recife; e Drenagem sustentável na bacia do Beberibe. As publicações selecionadas em primeiro momento foram classificadas entre alta, média ou baixa, contendo três dimensões: qualidade de execução, adequação à questão em estudo e adequação ao foco do estudo Somado a isso, adotou-se os conceitos utilizados por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2014), em que se é avaliada a eficiência e qualidade das publicações, com auxilio do Quadro 12, atrelando as pesquisas que foram classificadas como alta nas três dimensões do Quadro 13.

Quadro 12 – Critérios para avaliação de estudos.

Classificação	***Qualidade da execução do estudo***	***Adequação à questão***	***Adequação ao foco da revisão***
	O método proposto:	***O estudo trata:***	***O trabalho foi desenvolvido em circunstâncias:***
Alta	Atende aos padrões demandados para o tema em estudo ou o estudo seguiu rigorosamente o método proposto e os resultados se respaldam em fatos e dados.	Do mesmo objetode estudo darevisão.	Idênticas às da revisão.
Média	Apresenta lacunas em relação aos padrões demandados para o tema em estudo ou o estudo não demonstra ter seguido o método proposto em sua totalidade.	De forma parcial o objeto de estudoda revisão.	Parcialmente similares às da revisão.
Baixa	Apresenta inconformidades em relação aos padrões demandados para o tema em estudo ouo estudo não obedeceu ao método proposto.	De forma superficial o objeto de estudoda revisão.	Distintas das definidas para arevisão.

Fonte: Adaptado de Dresh, Lacerda e Antunes Junior (2014).

Quadro 13 – Critérios para seleção dos estudos.

Qualidade de execução	**Adequação à questão da revisão**	**Adequação ao foco da revisão**	**Critério de seleção**
Alta	Alta	Alta	Alta
Média	Alta	Alta	Alta

Alta	Média	Média	Média
Média	Média	Média	Média
Alta	Alta	Baixa	Média
Alta	Média	Baixa	Baixa
Média	Média	Baixa	Média
Média	Baixa	Baixa	Baixa

Fonte: Adaptado de Dresh, Lacerda e Antunes Junior (2014).

3.5 Análise comparativa com o PMSB do Recife

Esta etapa visou estabelecer os procedimentos adotados para a análise comparativa entre as diretrizes do Plano Municipal de Saneamento Básico do Recife (PMSB), especificamente no eixo de drenagem urbana e as características funcionais das técnicas compensatórias para drenagem. Esta análise teve como objetivo identificar o grau de aderência conceitual e operacional entre as metas do plano, além das soluções baseadas na natureza, a partir de critérios previamente definidos.

O primeiro passo consistiu na revisão sistemática do conteúdo do PMSB do Recife, com ênfase nas seções que tratam da drenagem urbana e da gestão das águas pluviais. Esse levantamento incluiu: diretrizes gerais, metas de curto, médio e longo prazo, objetivos estratégicos, programas e projetos indicados no plano. O documento oficial foi consultado em sua versão integral, disponível no *site* da Prefeitura do Recife (2021), e estruturado de modo a identificar os princípios indicadores relacionados à sustentabilidade, resiliência urbana e controle de cheias.

Posteriormente, foi feito o cruzamento qualitativo entre os dois conjuntos de informações: de um lado, as diretrizes e metas do PMSB; de outro, os atributos das técnicas compensatórias, já estudadas e levantadas neste trabalho. Essa matriz analítica foi organizada de forma a permitir a identificação de convergências e lacunas entre os elementos comparados. Para estruturar a análise, foram definidos três critérios avaliativos, com base em parâmetros essenciais e retratados no PMSB de Recife: sustentabilidade, considerando a capacidade da técnica em contribuir para a conservação ambiental e melhoria da qualidade hídrica; efetividade, referindo-se ao potencial da técnica em reduzir escoamento superficial e mitigar alagamentos; e aplicabilidade, avaliando a viabilidade técnica, operacional e econômica de implantação da técnica no contexto urbano do Recife.

Cada técnica foi, portanto, analisada qualitativamente frente a esses três critérios, tendo como referência as metas e estratégias do PMSB. Para garantir consistência metodológica, as

análises seguiram uma abordagem exploratória e descritiva, com base em critérios de avaliação qualitativa, sem atribuição de pesos ou escalas numéricas. A ênfase foi na identificação da coerência entre o que é proposto pelo plano e o que cada técnica pode oferecer em termos de contribuição prática.

Por fim, os dados foram organizados em matrizes comparativas que auxiliaram na visualização do alinhamento entre os instrumentos de planejamento urbano (PMSB) e as soluções técnicas analisadas, servindo de base para a discussão posterior sobre sua adequação e potencial de implantação no território da bacia do rio Beberibe.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados os resultados, desde o comportamento hidrológico e pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, seus dados morfométricos e fisiográficos obtidos a partir do uso de geotecnologias, bem como a revisão sistemática sobre as técnicas compensatórias para drenagem urbana jardim de chuva, pavimento permeável e telhado verde, finalizando com o cruzamento de diretrizes determinadas para a drenagem urbana no Recife, explanadas no PMSB da capital pernambucana.

4.1 Comportamento hidrológico e pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Beberibe

O estudo do comportamento hidrológico e pluviométrico da bacia do rio Beberibe é fundamental para o diagnóstico das principais problemáticas relacionadas à drenagem urbana no Recife. Trata-se de uma bacia eminentemente urbana, com alto grau de impermeabilização e transformações no uso e ocupação do solo, o que potencializa os efeitos das chuvas intensas e compromete a capacidade natural de escoamento. A análise aqui apresentada baseia-se em dados fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e complementada, quando necessário, por registros disponíveis na plataforma HidroWeb/ANA.

4.1.1 Caracterização pluviométrica

De acordo com os dados da APAC, a bacia do Rio Beberibe está inserida em uma região com pluviosidade média anual variando entre 1.800 mm e 2.200 mm, com concentração predominante nos meses de outono e inverno, especialmente entre abril e julho. Para este estudo, foram utilizados dados de todas as estações pluviométricas localizadas nos municípios de Recife, Olinda e Camaragibe, que se encontram registradas no *site* da APAC e foram demonstrados nos Anexos A, B e C, no fim desta dissertação.

Os Anexos A, B e C evidenciam o regime de chuvas que influenciam a bacia hidrográfica do Rio Beberibe, bem como os índices pluviométricos ali ocorridos. Os anos que não estão evidenciados nos quadros são em detrimento da falta de dados pela APAC, tendo alguns postos sem nenhum registro e, por este motivo, retirados dos quadros. A média dos índices pluviométricos em Recife, de 2015 a 2025, está em torno de 155,03 mm. Em Olinda, no mesmo período, tem média aproximada de 140 mm. Camaragibe, por sua vez, neste intervalo de 10

anos, obteve índice pluviométrico médio de 160,23 mm, atestando que a bacia hidrográfica do Rio Beberibe sofre influência de um índice pluviométrico muito semelhante em todo o decorrer da sua delimitação.

O padrão acima ainda reforça a sazonalidade das chuvas na região, com um período chuvoso bem definido entre abril e julho, no qual se concentra mais de 60% do total anual. Esse regime confere à bacia características típicas de áreas tropicais úmidas, como também evidenciado por Alves *et al*. (2020) no estudo da bacia do Ipojuca.

4.1.2 Comportamento hidrológico em relação ao escoamento superficial

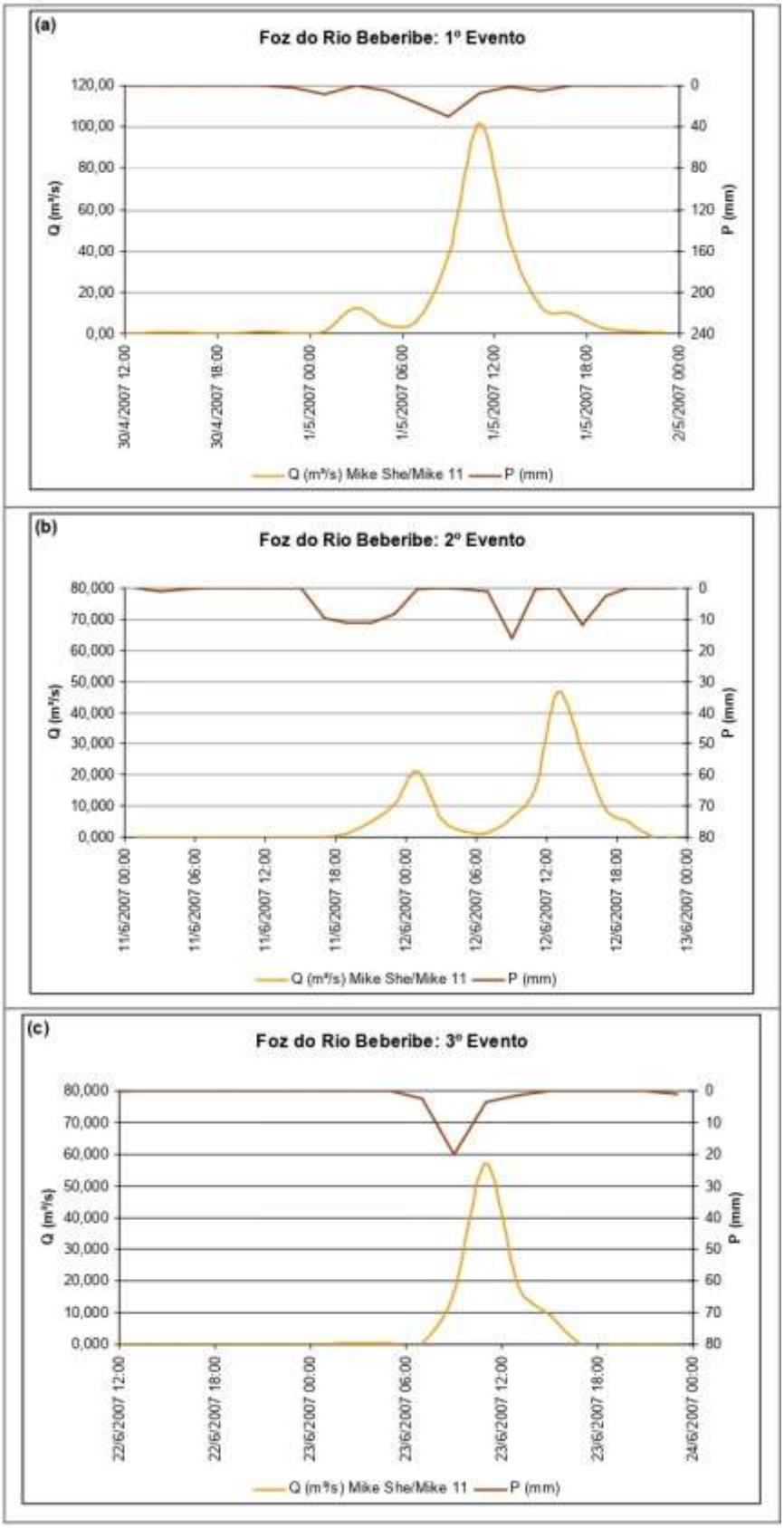
Embora os dados fluviométricos sejam escassos para o Rio Beberibe, foi possível estimar o comportamento hidrológico da bacia por meio de análises indiretas e regionalização. Com base na metodologia de Góes (2009), a qual realizou a modelagem hidrológico-hidrodinâmica calibrada com dados empíricos obtidos em campo, foi possível simular eventos de chuva significativos ocorridos entre abril e junho de 2007 e estimar as respectivas vazões de escoamento geradas em pontos estratégicos da Bacia do Beberibe. As simulações foram realizadas para três eventos específicos: evento 1: de 30/04/2007 a 01/05/2007; evento 2: de 11/06/2007 a 12/06/2007; e o evento 3: de 22/06/2007 a 23/06/2007.

Os hidrogramas simulados demonstram com clareza a variação temporal das vazões, permitindo observar os picos de cheia, tempo de resposta da bacia e duração do escoamento superficial. A Figura 23 apresenta os hidrogramas gerados na foz do Rio Beberibe para os três eventos.

Também foi realizada a geração de hidrogramas na foz do Rio Beberibe, com o objetivo de estimar a resposta hidrológica da bacia frente aos três eventos de precipitação simulados. Até esse ponto de monitoramento, além do Rio Morno, também contribuem significativamente o canal Vasco da Gama, o riacho Lava-Tripa e o canal da Malária – que eleva consideravelmente os volumes escoados.

Esse efeito combinado pode ser claramente observado no primeiro evento simulado, cuja vazão de pico na foz do rio Beberibe atingiu cerca de 100 m³/s. Para fins comparativos, o estudo de Alcoforado (2006) estimou que, sob um evento de chuva com intensidade máxima de 30 mm/h, a vazão de pico gerada na mesma seção da foz do rio alcançaria aproximadamente 160 m³/s, evidenciando a variabilidade dos cenários extremos e a importância da modelagem calibrada para fins de planejamento.

Figura 23 – Hidrogramas simulados na foz do rio Beberibe para evento 1(a), evento 2(b) e evento 3(c)



Fonte: Adaptado de Góes (2009)

O Quadro 14 evidencia as vazões de pico estimadas por seção da bacia do Beberibe, evidenciando, principalmente, a contribuição para a foz da referida bacia.

Quadro 14 – Vazões de pico estimadas por seção na bacia do Beberibe

Seção hidrométrica	Vazão de pico estimada (m^3/s)	Método de estimativa	Observações
Foz do rio Beberibe	100	Simulação MIKE SHE	Considera a contribuição total da bacia
Rio Beberibe (Portão do gelo)	40	Curva-chave	Após contribuição do rio Morno
Rio Morno	11	Simulação MIKE SHE	Contribuição significativa antes do Portão do gelo
Canal Vasco da Gama (próx. DNOCS)	10	Curva-chave e simulação	Bacia pequena, porém altamente impermeabilizada
Riacho lava-tripa	10	Curva-chave	Mesmo comportamento do Canal Vasco da Gama

Fonte: Adaptado de Góes (2009)

Os dados de vazão obtidos representam uma importante contribuição para o planejamento de intervenções estruturais e não estruturais de drenagem urbana no Recife, além de evidenciar o potencial de replicação desse tipo de metodologia para outras bacias urbanas.

4.1.3 Implicações para o manejo da drenagem

O comportamento identificado reforça a necessidade de uma abordagem integrada na gestão da drenagem urbana. A elevada concentração das chuvas em poucos meses e a alta impermeabilização do solo tornam a bacia vulnerável a alagamentos recorrentes. Além disso, os dados mostram que o sistema atual tem baixa capacidade de absorver picos de precipitação intensa.

Esse diagnóstico serve como base para a proposta de soluções compensatórias que foram discutidas no primeiro subtópico dos resultados, como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e telhados verdes, e as diretrizes do PMSB do Recife, como explicitadas no próximo subtópico, os quais são instrumentos fundamentais para atenuar os impactos do escoamento superficial excessivo, como apontam Souza *et al.* (2023).

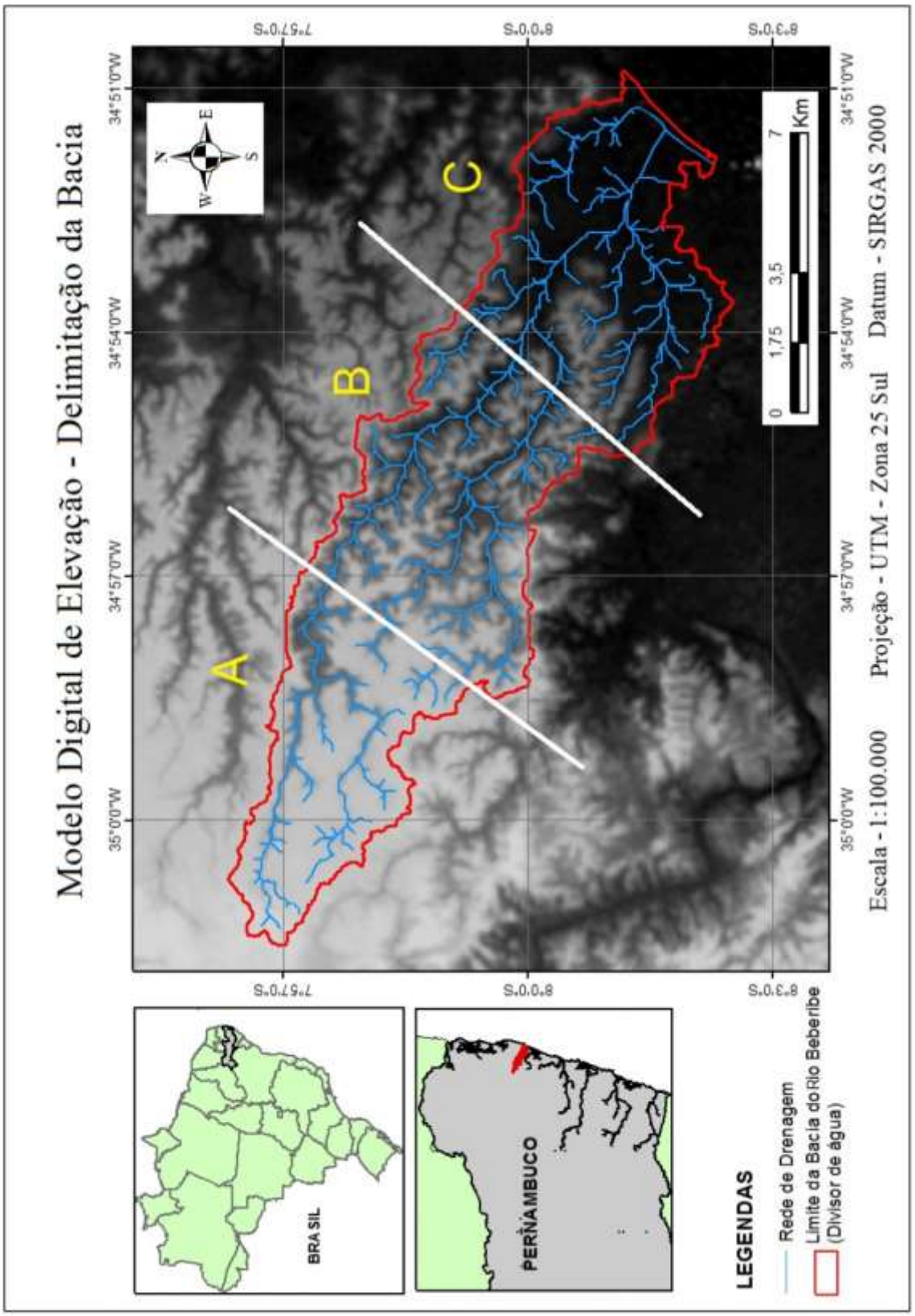
4.2 Coleta e tratamento de dados morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Beberibe

A seguir, serão destacados os resultados obtidos através da análise morfométrica da bacia hidrográfica estudada.

4.2.1 Definição de limites e parâmetros geométricos

O procedimento para delimitação da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, executado a partir da ferramenta *Hydrology*, no QGIS 10.3, resultou na área de drenagem limitada como mostra a Figura 24, que está atrelada à rede de drenagem resultante do mesmo processo através do MDE Topodata, que tem resolução espacial de 30 m, provenientes dos dados SRTM. A delimitação efetuada consolida a metodologia utilizada como embasamento deste trabalho a partir de Souza, Formiga e Veiga (2013); Alves Sobrinho *et al*. (2010); e Dias *et al*. (2004).

Figura 24 – Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Beberibe (A: Alto beberibe; B: Médio beberibe; C: Baixo beberibe).



A partir dos dados obtidos, a referida bacia hidrográfica obteve uma área total de 81,13 km² e um perímetro de 62,5 km, o que vai ao encontro das informações disponibilizadas pelo Governo do Estado de Pernambuco (2009), quando disse que a bacia hidrográfica do rio Beberibe apresenta 81 km² de área e 62,5 km de perímetro.

Neste contexto, também foi obtido as demais variáveis geométricas, usados posteriormente para classificar morfometricamente esta bacia hidrográfica. Os dados estão explanados no Quadro 15 abaixo.

Quadro 15 – Variáveis geométricas da bacia hidrográfica do rio Beberibe

Variáveis geométricas	Medidas
Área total (A)	81,13 km²
Perímetro (P)	62,5 km
Comprimento do canal principal (L)	23,22 km
Comprimento axial da bacia (Lax)	20,74 km
Comprimento total dos cursos d'água (Lt)	177,4 km
Comprimento do talvegue (Ltv)	19,16 km

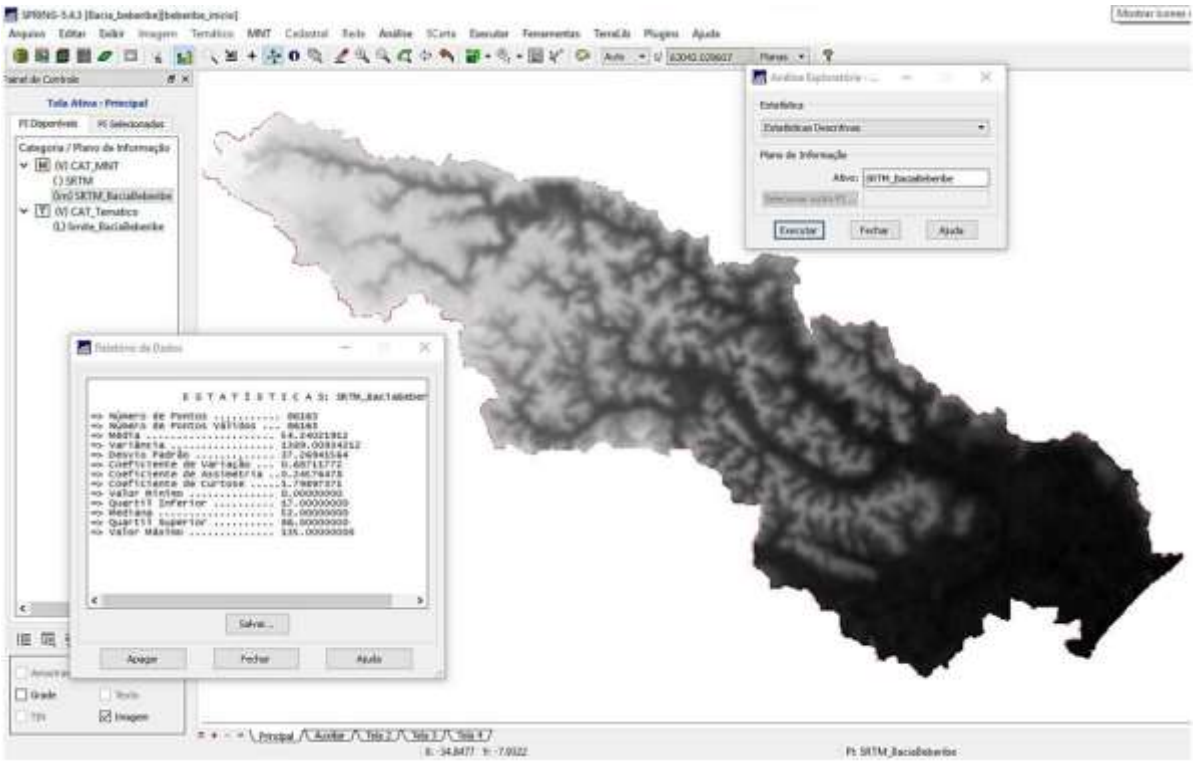
Fonte: A autora (2025)

4.2.2 Caracterização morfométrica

No tocante à caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, foram obtidos os dados necessários para esta caracterização a partir da altimetria e declividade da bacia hidrográfica, evoluindo para o cálculo dos seguintes parâmetros: coeficiente de compacidade (Kc); fator de forma (Kf); índice de circularidade (Ic); razão de elongação (Re); densidade de drenagem (Dd); coeficiente de manutenção dos canais (Cm); Sinuosidade do curso de água (Sin); e o índice de sinuosidade (Is).

Na estatística descritiva, como mostra a Figura 25, foi considerada uma cota mínima de 0 m e máxima de 135 m, o intervalo das classes de altitude foi de 9 m. Este detalhe permitiu um detalhamento de altimetria da bacia do Beberibe, com um total de 15 classes.

Figura 25 – Estatística descritiva da hipsometria



Os valores altimétricos observados na bacia variam entre a cota mínima de 0 metros, a cota média de 54 metros e a cota máxima de 135 metros. A partir desses dados, foi elaborada uma classificação hipsométrica com intervalos regulares de 9 metros, abrangendo toda a faixa altimétrica entre os extremos mínimo e máximo. As respectivas áreas por classe altimétrica foram calculadas e expressas em quilômetros quadrados (km²) e em porcentagem (%) relativa à área total da bacia, conforme apresentado no Quadro 15. A faixa altitudinal com maior representatividade espacial corresponde ao intervalo entre 0 e 9 metros, totalizando 13,32 km². Por outro lado, as menores extensões encontram-se nas classes acima de 117 metros, que, somadas, correspondem a apenas 2,69 km².

Quadro 15 – Classificação hipsométrica da bacia do Beberibe

Classe hipsométrica (m)	Área (km²)	Área (%)
0 a 9	13,32	16,42
9 a 18	7,67	9,46
18 a 27	4,41	5,44
27 a 36	5,34	6,58
36 a 45	5,56	6,85
45 a 54	6,16	7,59
54 a 63	6,39	7,88

Quadro 15 – Classificação hipsométrica da bacia do Beberibe (continuação)

Classe hipsométrica (m)	Área (km²)	Área (%)
63 a 72	5,56	6,86
72 a 81	4,52	5,57
81 a 90	3,81	4,70
90 a 99	4,33	5,33
99 a 10	5,92	7,29
108 a 117	5,45	6,72
117 a 126	1,90	2,34
126 a 135	0,79	0,98
0 a 135 (total)	**81,13**	**100**

Fonte: a autora (2025)

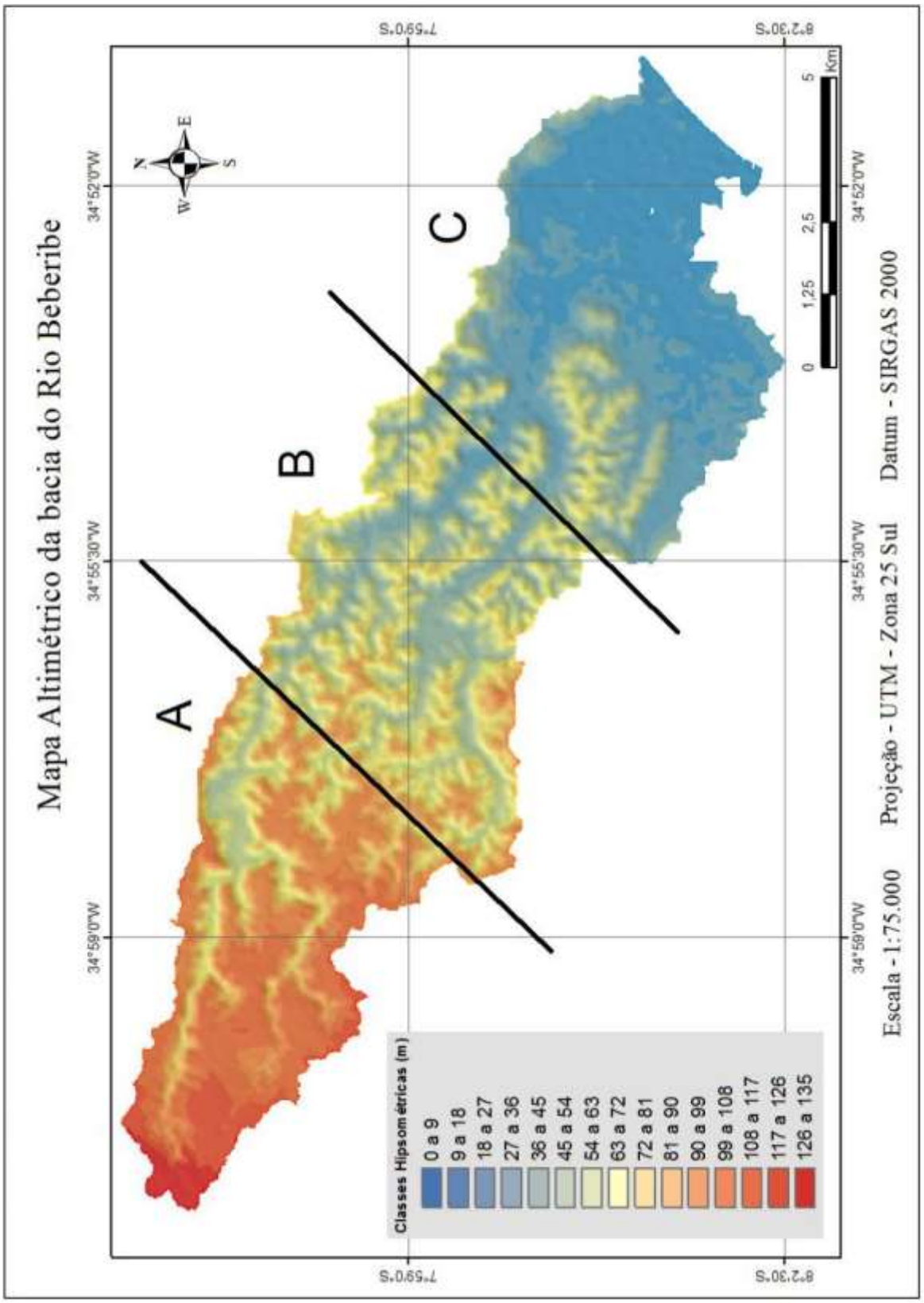
A Figura 26 a seguir apresenta o mapa hipsométrico da bacia do Rio Beberibe, com a representação das classes altimétricas que evidenciam as variações de altitude ao longo de sua extensão. Observa-se que o baixo curso da bacia é caracterizado pela predominância de altitudes mais baixas, enquanto o alto curso apresenta altitudes mais elevadas, compatíveis com as regiões de nascente. Já no médio curso, verifica-se uma transição, com variações altitudinais que vão desde áreas mais baixas até cotas mais altas, indicando uma morfologia intermediária entre as demais porções da bacia.

De acordo com Castro e Lopes (2001), a altitude média exerce influência direta sobre a quantidade de radiação solar que incide sobre uma bacia hidrográfica, afetando, consequentemente, variáveis climáticas como a evapotranspiração, a temperatura e a precipitação. Em regiões de maior altitude, a quantidade de energia solar disponível tende a ser menor, resultando em uma redução dos processos dependentes desse insumo energético, como a evapotranspiração. Além do balanço energético, a temperatura também apresenta variações conforme a altitude, de modo que diferenças altimétricas significativas dentro de uma bacia podem gerar variações expressivas na temperatura, o que, por sua vez, repercute diretamente na dinâmica da evapotranspiração.

Nesse contexto, Villela e Matos (1975) reforçam que a altitude está diretamente correlacionada com as variáveis de temperatura, precipitação e evapotranspiração. Assim, considerando a altitude média da bacia do rio Beberibe — estimada em 54 metros —, é possível inferir que se trata de uma área de baixa altitude relativa, o que favorece uma maior incidência de radiação solar. Essa condição resulta em níveis mais elevados de temperatura e, consequentemente, em uma intensificação dos processos de evapotranspiração. Tais fatores

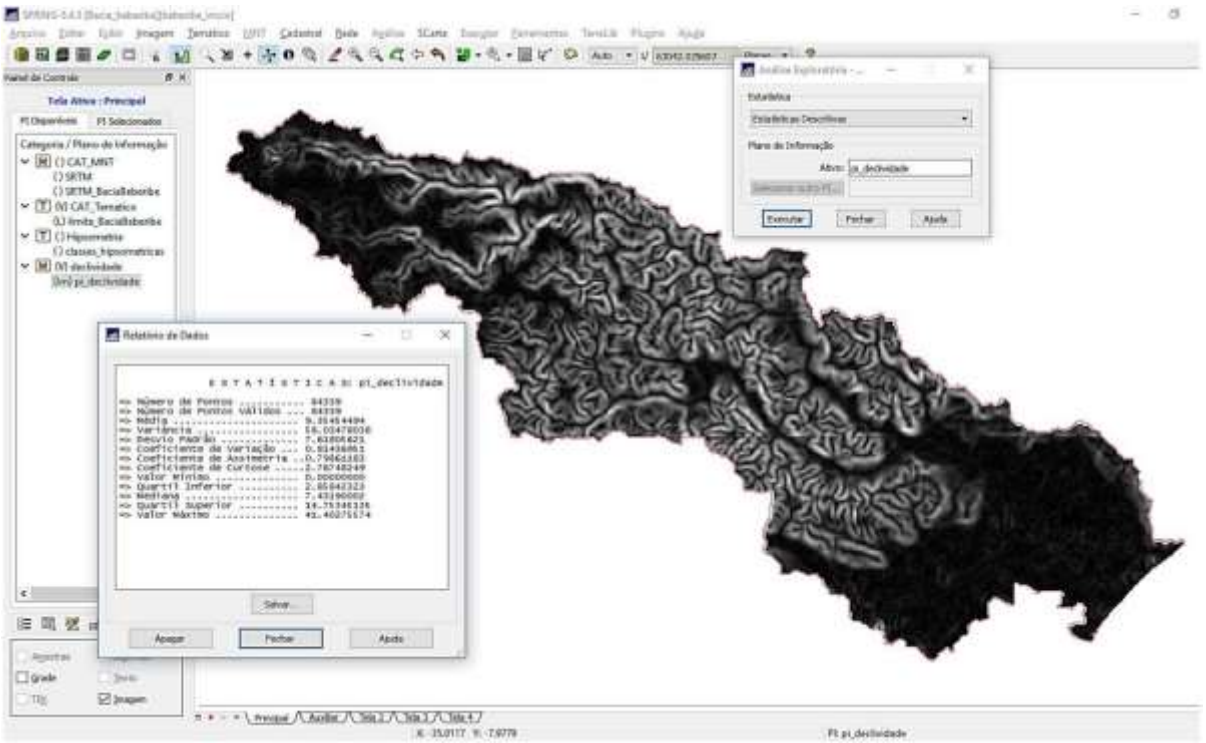
climáticos podem influenciar significativamente o regime de precipitações da região, sendo elementos fundamentais para a compreensão do comportamento hidrológico da bacia.

Figura 26 – Mapa hipsométrica da bacia do Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)



No tratante de declividade, foram obtidos valores a partir da estatística descritiva efetuada no SPRING, como mostra a Figura 27.

Figura 27 – Estatística descritiva da bacia do Beberibe



As classes de declividade foram reclassificadas em quatro intervalos distintos, conforme os critérios percentuais estabelecidos pela Embrapa (1979). Essa reclassificação permitiu uma análise mais precisa do relevo da bacia, facilitando a interpretação dos diferentes graus de inclinação do terreno. As classes geradas e suas respectivas faixas percentuais estão apresentadas no Quadro 16, expressas tanto em valores percentuais quanto em suas correspondentes áreas na bacia.

Quadro 16 – Classificação clinográfica da bacia do Beberibe

Classes de declividade	Área (km²)	Área (%)	Classificação conforme EMBRAPA (1979)
0 a 3	22,88	28,20	Relevo plano
3 a 8	19,46	23,98	Relevo suave ondulado
8 a 20	29,49	36,35	Relevo ondulado
20 a 45	9,30	11,46	Relevo forte ondulado
Total	**81,13**	**100**	**-**

Fonte: A autora (2025)

A declividade da bacia do rio Beberibe apresenta variações entre 0% (mínima) e 41,4% (máxima). Para fins de análise, as classes clinográficas foram definidas de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1979), adotando-se o intervalo de 0% a 45% como faixa de referência. Com base nessa classificação, o relevo plano (0% a 3%) corresponde a 28,2% da

área da bacia, o que equivale a 22,88 km². As áreas classificadas como relevo forte ondulado (20% a 45%) representam 11,46% da bacia, totalizando 9,3 km². Já as classes intermediárias, com suave ondulado (3% a 8%) e ondulado (8% a 20%), abrangem juntas 60,33% da área total, evidenciando a predominância de formas moderadamente inclinadas na região.

O relevo é um fator determinante na dinâmica hidrológica de uma bacia, influenciando diretamente aspectos como a distribuição das chuvas, o escoamento superficial, a infiltração da água no solo, os processos de intemperismo e o deflúvio (Coutinho *et al*., 2013). A declividade média da bacia, estimada em 9,4%, enquadra-se na classe de relevo ondulado, conforme os parâmetros estabelecidos pela Embrapa (1979).

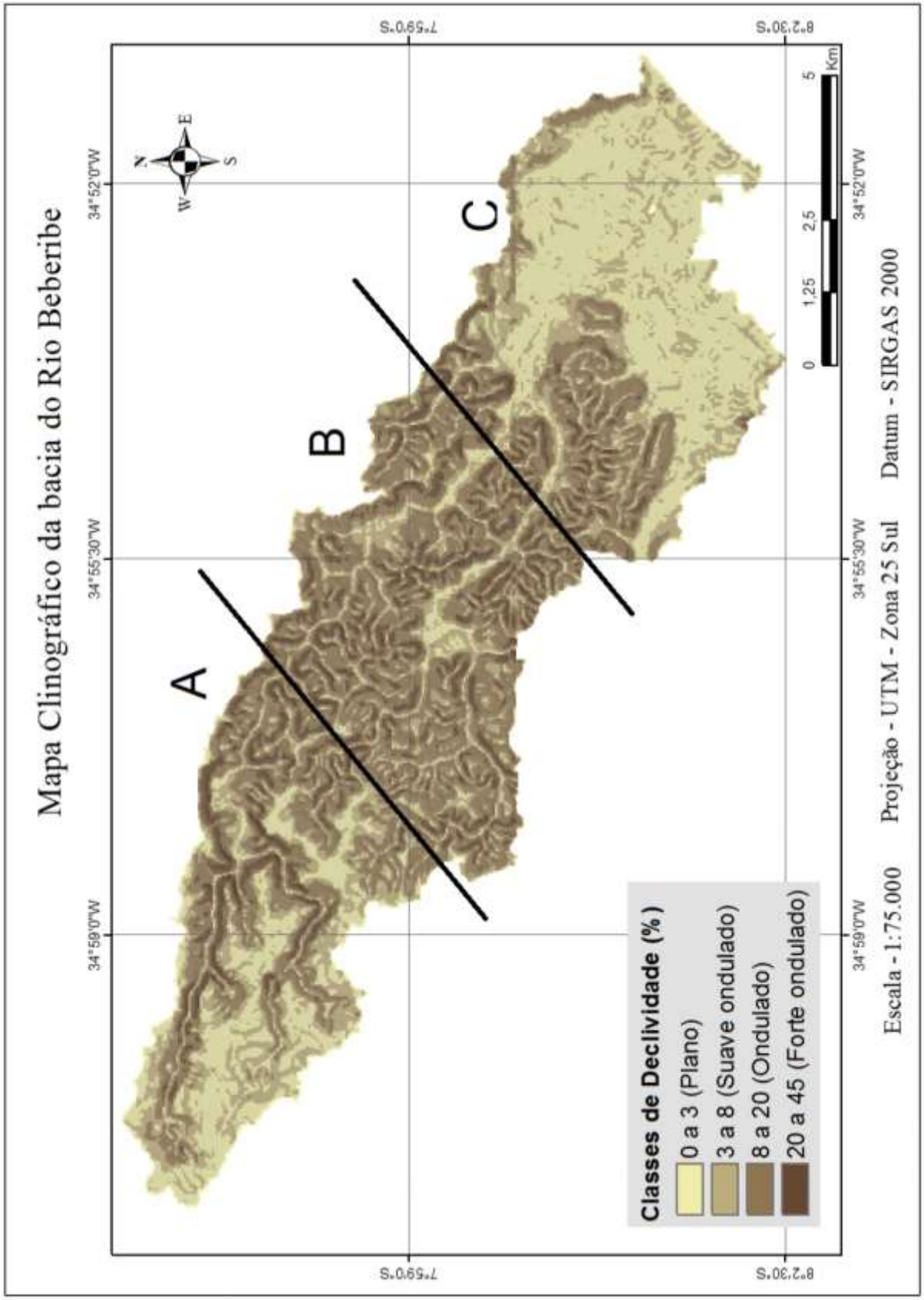
Segundo Villela e Matos (1975), a caracterização das curvas de relevo é essencial para a compreensão da dinâmica hidroclimática de uma bacia, uma vez que a declividade influencia diretamente a velocidade do escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo de concentração e o regime de resposta hidrológica da bacia.

A Figura 28 evidencia a distribuição espacial das classes de declividade ao longo da bacia do Rio Beberibe. No alto curso, observa-se uma mistura das quatro classes de declividade (plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado), sem que haja predominância clara de nenhuma delas. Já no médio Beberibe, há um destaque para o relevo ondulado, o que caracteriza essa porção da bacia como de inclinações moderadas. Por sua vez, o baixo curso apresenta uma clara dominância de áreas classificadas como relevo plano, evidenciando um terreno de baixa declividade.

A declividade média da bacia foi estimada em 9,4%, valor que, segundo a classificação da Embrapa (1979), enquadra a bacia em uma condição de relevo ondulado. Conforme destaca Tonello *et al*. (2006), a declividade média de uma bacia hidrográfica é um parâmetro essencial para o planejamento territorial e ambiental. Além disso, exerce influência significativa na distribuição da água entre o escoamento superficial e o subterrâneo, impactando diretamente a dinâmica hidrológica.

Em comparação, Feitosa *et al*. (2012) identificaram uma declividade média de 3,41% na bacia do Rio Pajeú, utilizando dados altimétricos provenientes de imagem SRTM. Esse valor indica um relevo predominantemente suave, refletindo características morfológicas distintas em relação à bacia do Beberibe.

Figura 28 – Mapa de declividade da bacia do Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)



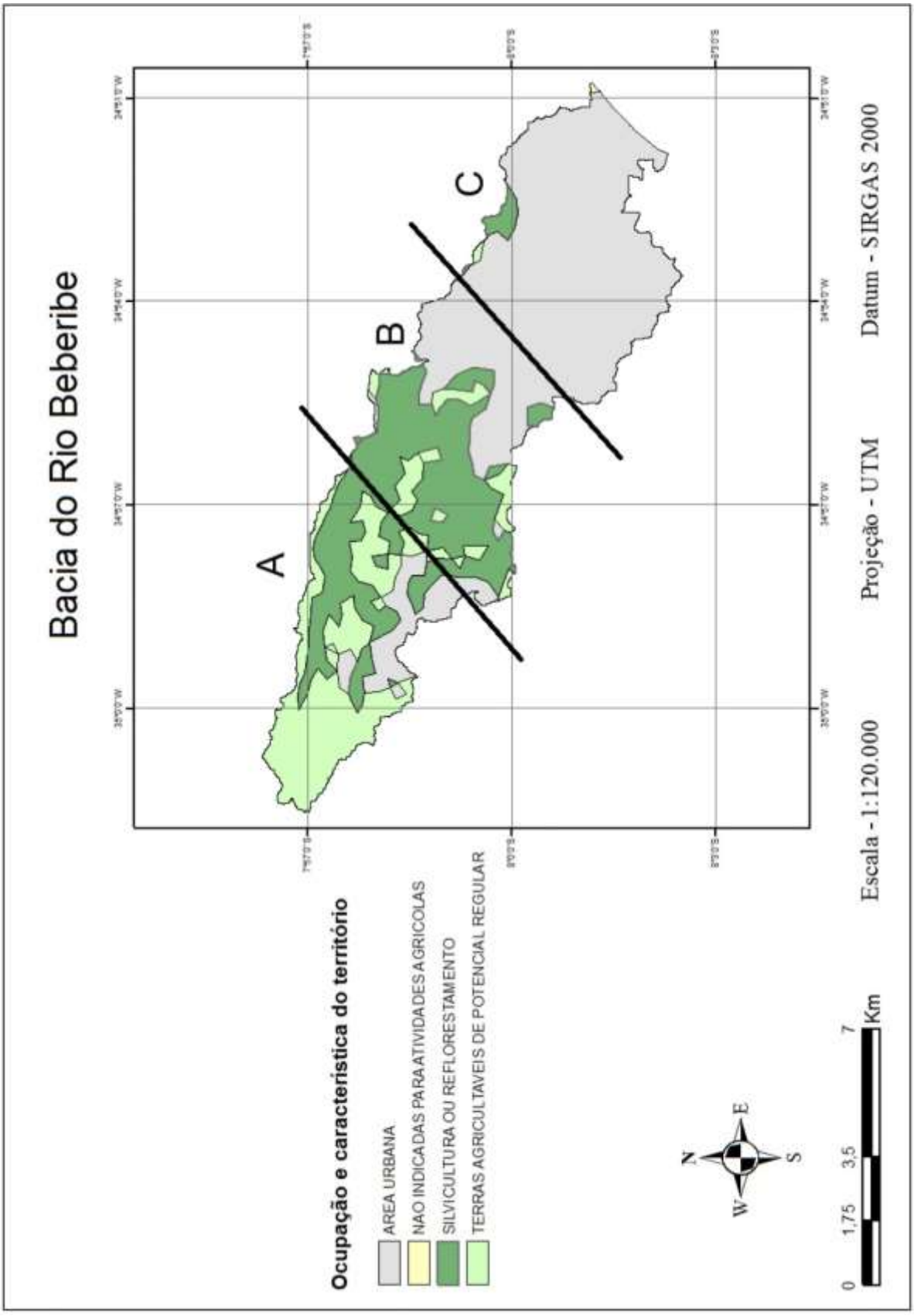
É importante destacar que a associação entre áreas de maior declividade e a ausência de cobertura vegetal contribui para o aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a infiltração da água no solo e favorecendo processos de erosão e ocorrência de enchentes. Nesse sentido, a velocidade com que o escoamento superficial ocorre está diretamente relacionada à declividade do terreno, sendo um fator decisivo na suscetibilidade à degradação ambiental (Tonello *et al*., 2006). Dessa forma, compreender o comportamento topográfico da bacia é essencial para subsidiar políticas públicas de conservação do solo, controle de cheias e manejo sustentável dos recursos hídricos.

A Figura 29 apresenta a ocupação do solo e as características potenciais de uso do território da bacia hidrográfica do Rio Beberibe. Observa-se que as áreas urbanizadas predominam no baixo curso da bacia, o que compromete significativamente os processos naturais de infiltração e drenagem da água no solo. Nessas regiões, o solo encontra-se impermeabilizado, reduzindo sua exposição e capacidade de absorção hídrica, o que pode contribuir para o aumento do escoamento superficial e, consequentemente, para a ocorrência de alagamentos.

Por outro lado, o alto Beberibe e parte montante do médio curso apresentam extensas áreas com cobertura vegetal ou com potencial agrícola, sobretudo voltado para culturas arbóreas e lavouras. Essas áreas contribuem de forma positiva para a recarga do lençol freático, pois favorecem a infiltração da água no solo e ajudam a manter o equilíbrio hídrico da bacia. Ainda que se observem núcleos urbanos a jusante dessas regiões, o predomínio do uso do solo voltado à vegetação nativa e agricultura é notável.

Nesse contexto, destaca-se que o alto e médio Beberibe, por apresentarem maior proporção de áreas vegetadas e potencial agrícola, configuram-se como zonas estratégicas para a manutenção da eficiência dos processos de drenagem e infiltração hídrica. Tais condições favorecem a dinâmica hidrológica regular da bacia, sendo fundamentais para o controle de eventos extremos, como enchentes, e para a conservação dos recursos naturais.

Figura 29 – Características e potencias de uso e ocupação da bacia do Beberibe (A: alto beberibe; B: médio beberibe; C: baixo beberibe)



Em continuação, os parâmetros morfométricos foram calculados e os respectivos resultados encontrados foram classificados de acordo com o que as referências sobre o que aponta cada parâmetro, concluindo, desta forma, a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe. O Quadro 17 evidencia isto.

Quadro 17 – Resultados e caracterização morfométrica da bacia do Beberibe

Parâmetros	Valores	Classificação	Referência
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,94	Baixa tendência à inundações	Silva e Mello (2008)
Fator de forma (Kf)	0,20	Baixa tendência à inundações	Silva e Mello (2008)
Índice de circularidade (Ic)	0,26	Baixa tendência à inundações	Borsato (2005)
Razão de elongação (Re)	0,50	-	-
Densidade de drenagem (Dd)	2,19 km/km²	Drenagem boa	Carvalho e Silva (2006)
Coeficiente de manutenção (Cm)	457,32 m²/m	-	-
Sinuosidade do curso d'água (Sin)	1,21	Transicional/Regular	Alves e Castro (2003)
Índice de sinuosidade (Is)	17,48%	Canal muito reto	Christofoletti (1980)

A partir da análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, obteve-se um coeficiente de compacidade (Kc) de 1,94, indicando uma baixa propensão a grandes inundações. Segundo a classificação proposta por Silva e Mello (2008), bacias com valores de $Kc \geq 1,50$ são consideradas não sujeitas a grandes enchentes, enquanto valores entre 1,25 e 1,50 indicam tendência mediana, e de 1,00 a 1,25 revelam alta propensão a enchentes. Nesse sentido, o valor encontrado para o coeficiente de compacidade da bacia do Beberibe a caracteriza como estável quanto ao risco de inundações, do ponto de vista morfométrico.

Com relação ao fator de forma (Kf), os mesmos autores definem que $Kf \geq 0,75$ indica bacias sujeitas a enchentes, $0,50 < Kf < 0,75$ corresponde a tendência mediana a enchentes, e $Kf \leq 0,50$ aponta para bacias com baixa suscetibilidade a tais eventos. Assim, com um valor de Kf igual a 0,20, a bacia do Rio Beberibe também se enquadra na categoria de baixa vulnerabilidade a enchentes, do ponto de vista do seu formato físico.

O índice de circularidade (Ic) obtido no presente estudo foi de 0,26, valor considerado baixo, o que indica que a bacia hidrográfica do Rio Beberibe possui uma forma alongada. De acordo com Borsato (2005), valores de Ic próximos de 1,0 representam maior semelhança com a forma circular, o que, em termos hidrológicos, pode favorecer um escoamento mais concentrado e rápido. Por outro lado, índices inferiores a 0,51 sugerem bacias com forma mais

alongada, característica que tende a distribuir o escoamento superficial ao longo de um intervalo de tempo maior, reduzindo a possibilidade de picos instantâneos de vazão.

A razão de elongação (Re) calculada para a bacia hidrográfica do Rio Beberibe foi de 0,5, valor considerado baixo, indicando que a bacia possui uma forma alongada, com pouca semelhança à forma circular ideal. Segundo Cardoso *et al*. (2006), quanto mais próximo de 1,0 for o valor da razão de elongação, mais circular será a bacia, e, inversamente, quanto mais distante de 1,0, maior será a sua elongação

Dessa forma, a análise integrada dos descritores morfométricos – fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e razão de elongação – aponta que a bacia hidrográfica do rio Beberibe possui um formato predominantemente alongado. Essa configuração morfológica implica em menor concentração de deflúvio superficial, o que, por sua vez, reduz significativamente o risco de enchentes em condições normais de precipitação.

Segundo Villela e Mattos (1975), bacias com formato alongado tendem a apresentar uma distribuição mais espaçada do escoamento, com baixa acumulação simultânea de vazões, o que contribui para minimizar picos de cheia e favorecer um escoamento mais controlado.

Nesse contexto, o escoamento ao longo dos canais da bacia do Beberibe tende a ocorrer de forma mais linear e contínua, com direcionamento progressivo até a foz. Isso indica uma dinâmica hidrológica com menor concentração de vazões em curtos períodos de tempo, favorecendo o equilíbrio do sistema fluvial e reduzindo a susceptibilidade a eventos extremos, como alagamentos.

A densidade de drenagem (Dd) da bacia hidrográfica do rio Beberibe foi estimada em 2,19 km/km². De acordo com a classificação proposta por Carvalho e Silva (2006), esse valor indica que a bacia possui uma boa capacidade de drenagem. Já segundo a tipificação de Beltrame (1994), esse mesmo valor se enquadra na categoria de alta densidade de drenagem, sugerindo um sistema de drenagem bem desenvolvido e eficiente.

Conforme destaca Guariz (2008), o parâmetro de densidade de drenagem é um indicador fundamental da velocidade com que a água escoa pela bacia, sendo, portanto, um reflexo do grau de desenvolvimento da rede hidrográfica. Valores mais altos tendem a representar maior eficiência de escoamento, além de possivelmente apontarem para características topográficas, climáticas e litológicas que favorecem o surgimento de múltiplos cursos de água.

Dessa forma, com base nos valores obtidos e nas classificações consultadas, infere-se que a bacia do rio Beberibe apresenta um sistema de drenagem eficiente, com bom escoamento superficial e razoável distribuição dos canais de drenagem, corroborando os demais aspectos morfométricos já analisados neste estudo.

O coeficiente de manutenção (Cm) da bacia hidrográfica do rio Beberibe, conforme os cálculos deste estudo, foi de 457,32 m²/m. Esse valor expressa a área mínima necessária para sustentar um metro de curso de água perene, sendo um parâmetro fundamental para a caracterização da eficiência do sistema de drenagem. Segundo Schumm (1956), o coeficiente de manutenção é um dos indicadores mais relevantes na análise morfométrica, por refletir a capacidade da bacia em manter seus canais ativos, relacionando o comprimento do curso de água com a área total da bacia.

No que se refere à sinuosidade do curso de água principal (Sin), o valor obtido foi de 1,21, o que indica uma morfologia transicional, isto é, o canal apresenta características intermediárias entre retilíneo e sinuoso, segundo a classificação proposta por Alves e Castro (2003). De acordo com os autores, canais com sinuosidade próxima a 1,0 são considerados retilíneos, enquanto valores superiores a 2,0 caracterizam canais sinuosos; resultados entre 1,0 e 2,0 representam formas de transição, como é o caso do Rio Beberibe, cujo traçado pode ser classificado como regular, tendendo à retilinidade.

Complementando essa análise, Christofoletti (1980) propôs uma classificação baseada no índice de sinuosidade (Is) do canal, onde valores inferiores a 20% indicam canal muito reto. O índice obtido neste estudo foi de 17,48%, o que confirma a tipificação do canal principal como muito reto. Essa característica geométrica favorece um escoamento mais direto e acelerado, reduzindo o tempo de concentração da bacia e podendo influenciar a resposta hidrológica durante eventos de precipitação intensa.

4.3 Revisão sistemática sobre as três técnicas compensatórias para drenagem urbana

Neste subtópico, vale ressaltar a importância de Tucci para estudos sobre drenagem urbana, desde os anos 90, com contribuições prevalecentes até hoje, sendo citado marjoritariamente nos trabalhos revisados que serão mencionados aqui. Tucci (1995) já afirmava que “drenagem é um subsistema de todo o sistema urbano”, destacando a importância do manejo de águas pluviais.

Foram reunidos, de acordo com as palavras-chaves estabelecidas, e em uma variabilidade temporal de 10 anos, trabalhos que estivessem voltados para as técnicas compensatórias para drenagem urbana: jardim de chuva; pavimento permeável; e telhado verde. Também foi revisada a drenagem urbana sustentável na bacia hidrográfica do Rio Beberibe. Através da plataforma do *Google* Acadêmico, obteve-se os resultados explanados no Quadro 18, bem como a quantidade de trabalhos selecionados para esta revisão.

Quadro 18 – Trabalhos encontrados e trabalhos selecionados

Plataforma	Palavra-chave	Quantidade de trabalhos	
		Encontrados	Selecionados
Google acadêmico	Jardim de chuva no Recife	13.400	6
	Pavimento permeável no Recife	1.150	8
	Telhado verde no Recife	5.870	7
	Drenagem sustentável na bacia do Beberibe	375	3

Fonte: A autora (2025)

Vale ressaltar que o presente trabalho buscou priorizar as publicações realizadas na cidade do Recife, reduzindo drasticamente o quantitativo encontrado e o quantitativo realizado para obter a revisão sistemática.

Posteriormente, tendo feita a seleção dos trabalhos, foi feita a avaliação de qualidade destes trabalhos, como mostra o Quadro 19 abaixo.

Quadro 19 – Avaliação de trabalhos que estão de acordo com o objetivo da revisão

Técnica compensatória	Referências bibliográficas	Ano	Pré-avaliação			Pós-avaliação
			Adequação quanto a questão da revisão	Adequação quanto ao foco da revisão	Qualidade de execução	
Jardim de chuva	Moura e Silva	2015	Média	Média	Alta	Média
	Lopes *et al.*	2020	Alta	Alta	Alta	Alta
	Oliveira *et al.*	2021	Alta	Média	Média	Média
	Barros e*t al.*	2024	Alta	Alta	Alta	Alta
	Saatkamp e Wartchow	2019	Alta	Alta	Alta	Alta
	Medeiros *et al.*	2019	Alta	Média	Alta	Alta
Pavimento permeável	Costa *et al.*	2020	Alta	Alta	Alta	Alta
	Ferreira *et al.*	2019	Alta	Média	Média	Média
	Marinho *et al.*	2018	Alta	Alta	Média	Alta
	Moura e Silva	2016	Média	Alta	Alta	Alta
	Silva e Santos	2019	Alta	Alta	Alta	Alta
	Costa *et al.*	2024	Média	Alta	Alta	Alta
	Costa *et al.*	2019	Média	Média	Alta	Média
	Holanda *et al.*	2020	Alta	Média	Alta	Alta
Telhado verde	Silva e*t al.*	2023	Alta	Alta	Média	Alta
	Leonardo e*t al.*	2021	Média	Média	Alta	Média
	Oliveira e Querette	2018	Média	Alta	Alta	Alta
	Canabrava Neto e*t al.*	2021	Alta	Média	Alta	Alta
	Barros *et al.*	2021	Alta	Alta	Alta	Alta

	Silva e Carvalho	2020	Média	Alta	Alta	Alta
	Silva e Santos	2020	Alta	Alta	Alta	Alta
Drenagem sustentável	Santos *et al.*	2022	Alta	Média	Alta	Alta
	Cabral *et al.*	2019	Média	Média	Alta	Média
	Santos *et al.*	2019	Média	Média	Alta	Média

Fonte: A autora (2025)

Com a devida classificação dos trabalhos, realizou-se a revisão sistemática de cada um deles, como será apresentado nos próximos subtópicos, na justificativa de levantar o desempenho dos estudos sobre as técnicas compensatórias objetivas na presente dissertação na cidade do Recife, mais especificamente voltada para as questões da cidade englobada pela bacia hidrográfica do Rio Beberibe.

4.3.1 Jardim de chuva na cidade do Recife

No contexto urbano recifense, onde a precipitação intensa encontra um solo cada vez mais impermeabilizado, os jardins de chuva têm ganhado espaço como técnica compensatória capaz de reverter parcialmente os impactos do escoamento superficial descontrolado. Em meio à crescente urbanização e à recorrência de eventos extremos, a cidade do Recife se vê diante de uma necessidade urgente: transformar sua abordagem de drenagem urbana de um modelo puramente condutivo e corretivo para outro mais integrado, sustentável e regenerativo.

De acordo com Moura e Silva (2015), o crescimento da impermeabilização do solo em áreas urbanas do Recife, sobretudo na zona sul da cidade, elevou-se de 37,17% para impressionantes 73,13% ao longo de quatro décadas. Essa transformação paisagística comprometeu drasticamente a capacidade de infiltração natural da água da chuva, intensificando alagamentos e sobrecarregando as redes de drenagem convencionais. É nesse cenário que os jardins de chuva se tornam mais que uma alternativa técnica: tornam-se uma necessidade ambiental, social e urbana.

Esses dispositivos são estruturas de biorretenção que promovem o armazenamento temporário e a infiltração das águas pluviais. Projetados com camadas de substratos filtrantes e vegetação adaptada, eles captam a água das superfícies impermeáveis, reduzindo o escoamento superficial, recarregando o lençol freático e melhorando a qualidade da água que atinge os corpos hídricos. Como ressalta Saatkamp (2019), trata-se de uma abordagem de drenagem na fonte, com vantagens não apenas hidráulicas, mas também ecológicas, estéticas e econômicas.

Exemplo emblemático da aplicação prática dessa técnica no Recife é o projeto-piloto analisado por Barros *et al.* (2024), desenvolvido no bairro do Espinheiro. O jardim de chuva foi

dimensionado para suportar chuvas intensas, com picos de 156,63 mm/h, sem apresentar extravasamento. A estrutura foi implantada em área pública e resultou na redução do volume de escoamento, demonstrando a viabilidade técnica e operacional da solução em solo urbano. A pesquisa também evidenciou a importância do uso de espécies vegetais nativas e do planejamento integrado com o mobiliário urbano.

Esse projeto dialoga diretamente com os resultados obtidos por Melo *et al.* (2014), que estudaram um jardim de chuva experimental na cidade. A estrutura, instalada com substrato natural, areia e brita, apresentou uma taxa de infiltração de 312 mm/h, sem qualquer registro de extravasamento mesmo sob chuva intensa. Isso mostra que, bem projetados, os jardins de chuva podem ser capazes de absorver volumes significativos de água em curtos períodos, colaborando com a redução dos picos de vazão e da pressão sobre o sistema de drenagem.

O Quadro 20 faz um comparativo entre os estudos de Melo *et al.* (2014) e Barros *et al.* (2024).

Quadro 20 – Comparativo técnico entre projetos de jardim de chuva em Recife

Autor	**Taxa de infiltração (mm/h)**	**Extravasamento**	**Tipo de solo/substrato**	**Vegetação utilizada**
Melo e*t al*. (2014)	312	Não houve	Solo natural + brita	Grama esmeralda
Barros *et al.* (2024)	240	Não houve	Areia + brita + manta geotêxtil	Espécies nativas arbustivas

Fonte: Adaptado de Melo e*t al.* (2014) e Barros e*t al.* (2024)

Complementando esses estudos, Oliveira et al. (2021) investigaram o papel do solo natural em uma área de relevância acadêmica e comercial do Recife. O estudo demonstrou que mesmo os fragmentos restantes de solo natural — apenas 17% da área total — são capazes de absorver até 49 mm de chuva por dia. Isso reforça o papel dos jardins de chuva como “extensões funcionais” do solo natural, especialmente em zonas completamente impermeabilizadas, onde a drenagem superficial se torna caótica.

A prática, no entanto, ainda enfrenta desafios significativos. Lopes *et al*. (2020) alertam para o fato de que, apesar do crescente interesse pelas técnicas compensatórias, a maioria das cidades brasileiras ainda mantém uma abordagem tradicional, centrada em soluções hidráulicas canalizadas. Segundo os autores, essa resistência se dá por diversos fatores: desde a escassez de recursos e capacitação técnica até a ausência de cultura institucional e de sensibilização pública sobre os benefícios da infraestrutura verde.

Nesse sentido, a experiência de Medeiros (2019) ao comparar jardins de chuva com valas de infiltração é elucidativa. Embora o estudo tenha sido realizado em Apucarana-PR, suas

conclusões são pertinentes ao cenário recifense. O autor demonstrou que, embora a vala tenha maior taxa de infiltração (93,73 mL/min) frente ao jardim de chuva (33,13 mL/min), este último apresenta melhor adaptação estética, flexibilidade de implantação em espaços urbanos e potencial de requalificação paisagística — atributos fundamentais para uma cidade densa e patrimonial como Recife.

A aplicação dessas soluções no Recife demanda, portanto, uma mudança de paradigma que envolve mais que engenharia. Exige planejamento urbano sensível à água, educação ambiental contínua e políticas públicas consistentes. Saatkamp (2019), ao analisar o custo-benefício de jardins de chuva frente a bacias de amortecimento, mostrou que os primeiros não apenas são mais econômicos, como também promovem benefícios adicionais não mensuráveis financeiramente, como biodiversidade urbana, conforto térmico e engajamento comunitário.

Foi observado que todos os estudos convergem em um ponto: os jardins de chuva não são apenas alternativas, mas sim ferramentas concretas e eficazes de adaptação urbana. Em uma cidade costeira, densamente urbanizada e com histórico de eventos extremos, como Recife, essas estruturas podem representar a diferença entre o colapso do sistema de drenagem e a construção de uma cidade mais resiliente, bela e funcional.

4.3.2 Pavimento permeável na cidade do Recife

No Recife, onde a urbanização intensa caminha lado a lado com uma infraestrutura de drenagem frequentemente sobrecarregada, o uso de pavimentos permeáveis representa uma alternativa técnica eficaz e, acima de tudo, uma urgência ambiental. A capital pernambucana, como apontam diversos estudos, tem sofrido com o aumento da impermeabilização do solo urbano, o que tem levado à intensificação de eventos de alagamentos, especialmente em períodos de chuvas intensas. Em meio a esse contexto, os pavimentos permeáveis despontam como elementos estratégicos para o controle do escoamento superficial, a promoção da infiltração da água no solo e a requalificação dos espaços urbanos.

Conforme identificado por Moura e Silva (2015), o aumento da impermeabilização na zona sul do Recife entre 1974 e 2014 foi alarmante: de 37,17% para 73,13%. Essa mudança física e funcional da paisagem urbana comprometeu drasticamente o ciclo natural da água, intensificando a impermeabilização efetiva e tornando o escoamento cada vez mais rápido, concentrado e difícil de controlar. O estudo sugere que, para mitigar os impactos desse processo, medidas como os pavimentos permeáveis devem ser adotadas, especialmente em calçadas, estacionamentos e vias com tráfego leve.

Esses dispositivos, construídos com materiais que permitem a passagem da água – como blocos intertravados porosos, concreto permeável ou revestimentos com juntas abertas –, funcionam como filtros urbanos que devolvem parte da água ao solo. Para além do aspecto técnico, eles integram estética, funcionalidade e sustentabilidade ao ambiente urbano, como demonstrado em Silva (2019), que avaliou o uso conjunto de telhados verdes e pavimentos permeáveis na cidade do Recife.

Na pesquisa de Silva (2019), a aplicação de pavimentos permeáveis em 25% das vias de um bairro recifense levou à redução de até 42,70% no escoamento superficial e 5,67% no volume total alagado. O estudo, que utilizou o software SWMM para simulações hidrológicas, também indicou que, quando combinados com outras técnicas compensatórias, os resultados são ainda mais expressivos, como mostra o Quadro 21. Essa performance destaca o potencial dos pavimentos permeáveis mesmo em ambientes urbanos consolidados, onde há pouco espaço para obras estruturais convencionais.

Quadro 21 – Redução percentual de escoamento superficial com pavimento permeável e outra técnica combinada

Cenário	Aplicação	Redução de escoamento superficial	Redução de volume alagado
Pavimento permeável	25%	42,7%	5,67%
Pavimento permeável + telhado verde	50% + 50%	54,82%	7,90%

Fonte: Adaptado de Silva (2019)

Essa eficiência técnica também foi evidenciada nos estudos experimentais de Marinho (2023), que realizou ensaios de infiltração em pavimento permeável instalado em ambiente controlado. Utilizando pluviômetro e medições contínuas de infiltração, a autora comprovou que a estrutura era capaz de absorver completamente eventos de chuva moderada, promovendo a infiltração vertical em curto espaço de tempo. Marinho (2023) destacou ainda que a manutenção periódica do pavimento – como limpeza das juntas e desobstrução da base filtrante – é crucial para garantir o desempenho ao longo dos anos.

O trabalho de Costa (2021) reforça essa observação ao analisar a variabilidade espaço-temporal da infiltração em pavimento permeável instalado na cidade do Recife. O estudo demonstrou que o comportamento de infiltração não é uniforme em todos os pontos de uma mesma estrutura, sendo influenciado por fatores como compactação, colmatagem superficial e características do solo de base. Apesar das diferenças locais, os índices médios de infiltração foram superiores a 120 mm/h, valor significativo para mitigar picos de vazão em eventos de

curta duração.

Já Ferreira (2020) trabalhou com modelagem computacional na bacia urbana do Riacho Moxotó, em Recife, utilizando o *software* PCSWMM para simular diferentes cenários de uso de técnicas LID (*Low Impact Development*), incluindo os pavimentos permeáveis. A simulação indicou que a aplicação dessas técnicas reduziu de forma significativa o volume e a velocidade de escoamento superficial, além de aumentar o tempo de resposta hidrológica da bacia. Ferreira ressalta que a eficácia das técnicas LID depende diretamente da sua distribuição espacial e da integração com o sistema convencional de drenagem.

O potencial desses dispositivos também foi explorado por Holanda *et al.* (2020), que propuseram o uso de pavimento permeável nos acessos ao Túnel Chico Science, uma área crítica de alagamentos no Recife. O estudo utilizou o modelo *Hydrus-1D* para simular o balanço hídrico do solo local, revelando que o solo arenoso da região permitia até 88,15% de infiltração da água precipitada. A implantação de pavimento permeável nas vias de acesso ao túnel foi considerada viável técnica e economicamente, sobretudo pela redução dos custos com manutenção de bombas de recalque. O Quadro 22 realiza um comparativo entre o pavimento permeável e o pavimento tradicional nos acessos ao túnel Chico Science.

Quadro 22 – Comparativo entre o uso de pavimentos permeáveis e tradicionais nos acessos ao túnel Chico Science

Critério de avaliação	Pavimento tradicional (Asfáltico)	Pavimento permeável
Capacidade de infiltração	Nula/total impermeabilização	Alta, em até 88,15% de infiltração da chuva
Custo com manutenção	Elevado, pelo uso contínuo de bombas de recalque	Reduzido, por menor acúmulo de água superficial
Durabilidade	Alta, porém, sensível a acúmulo de água	Boa, requer manutenção preventiva periódica
Desempenho em eventos críticos	Baixo, com recorrência de alagamentos	Elevado, pois atenua acúmulos e picos de vazão
Contribuição à drenagem urbana	Passiva, pois depende de infraestrutura externa	Ativa, pois infiltra e armazena no próprio local
Custos iniciais de implantação	Menores	Moderadamente maiores, mas compensáveis
Viabilidade técnica	Amplamente aplicada	Viável e eficaz, segundo modelagem Hydrus-1D

Fonte: Adaptado de Holanda *et al*. (2020)

Essa pluralidade de evidências comprova que, embora os pavimentos permeáveis ainda sejam pouco utilizados em escala significativa no Recife, sua adoção pode representar um salto qualitativo na forma como a cidade se relaciona com sua hidrologia urbana. Como destaca

Moura e Silva (2015), não se trata apenas de adotar novas técnicas, mas de construir uma nova cultura de planejamento, em que a água da chuva deixe de ser vista como um problema a ser eliminado e passe a ser tratada como um recurso a ser manejado com inteligência e respeito ao meio ambiente.

Em suma, os pavimentos permeáveis constituem uma alternativa tecnicamente viável, ambientalmente responsável e urbanisticamente compatível com os desafios enfrentados por Recife. Mas, sobretudo, exige uma reconfiguração da lógica de ocupação do espaço urbano, em que soluções verdes e resilientes sejam compreendidas como parte integrante da infraestrutura essencial da cidade.

4.3.3 Telhado verde na cidade do Recife

A intensificação do processo de urbanização e verticalização de Recife tem trazido consigo diversos impactos ambientais negativos, especialmente relacionados à impermeabilização do solo urbano. Esse processo acarreta a redução da infiltração da água da chuva, o aumento do escoamento superficial e, consequentemente, o agravamento dos alagamentos em várias áreas da cidade. Nesse contexto, os telhados verdes surgem como uma importante técnica compensatória, sendo considerados instrumentos eficazes no enfrentamento dos desafios impostos pela expansão urbana desordenada.

Conforme apontado por Canabrava Neto *et al*. (2021), os telhados verdes consistem na instalação de camadas vegetadas sobre coberturas de edificações, permitindo a captação e retenção das águas pluviais, além de proporcionar conforto térmico e acústico, reduzir a poluição atmosférica e colaborar com a biodiversidade urbana. Essa tecnologia é um dos principais elementos das estratégias de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) e de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), pois minimiza a sobrecarga nas redes convencionais de esgotamento das águas pluviais.

De acordo com estudo de Barros *et al*. (2021), que analisou o comportamento do substrato de telhados verdes sob as condições climáticas da Região Metropolitana do Recife (RMR), foi evidenciado que determinadas classes texturais de solo — como a franca arenosa, franca e silte — possuem maior capacidade de retenção hídrica, o que favorece a eficiência da técnica. A escolha do substrato ideal é fundamental, visto que a capacidade de retenção depende não apenas da profundidade do solo, mas também das suas propriedades físicas e da sazonalidade climática local.

Na mesma linha, o estudo de Silva (2019) utilizou simulações hidrológicas com o modelo

SWMM para avaliar a eficiência dos telhados verdes em um bairro da cidade do Recife. Os resultados mostraram que a implantação da técnica em apenas 25% da área de cobertura dos edifícios foi capaz de reduzir em 45,7% o volume de escoamento superficial, além de diminuir em até 9,51% o volume total alagado durante eventos de chuva intensa. Esses números reforçam a importância dos telhados verdes como solução técnica de alta eficiência para o controle das inundações urbanas.

Outro dado relevante é apresentado por Aragão *et al.* (2020), que em sua pesquisa identificou a existência de 143 projetos com telhados verdes em Recife desde a implementação da Lei Municipal nº 18.112/2015, totalizando cerca de 88.393 m² de cobertura vegetal. Essa área verde, embora representando apenas 5% da área de novas construções licenciadas, tem potencial para evitar a emissão de mais de 41 toneladas de CO_2 por ano, remover aproximadamente 176 toneladas de material particulado da atmosfera e reter mais de 1,2 milhão de litros de água que deixariam de ser lançados diretamente no sistema de drenagem.

Além do desempenho ambiental, os telhados verdes também exercem um papel educativo, estético e social. Oliveira (2018) destaca que a técnica, mesmo sendo obrigatória em determinadas tipologias construtivas em Recife desde 2015, ainda é subutilizada, principalmente por falta de informação técnica adequada entre profissionais e pela percepção de custo elevado. No entanto, quando bem planejado, o telhado verde agrega valor ao imóvel, melhora o microclima urbano e contribui para o bem-estar da população.

Sob o ponto de vista estrutural, a aplicação dos telhados verdes exige atenção aos elementos técnicos e construtivos. O trabalho de Silva (2021) analisou a sobrecarga gerada pela implantação da cobertura vegetal sobre lajes apoiadas em radier estaqueado, concluindo que é essencial considerar a carga adicional nas etapas de cálculo estrutural. Nesse sentido, os sistemas extensivos, que utilizam vegetações rasteiras e substratos mais leves, são mais apropriados para edificações convencionais. Já os sistemas intensivos, que permitem maior diversidade de vegetação e até mesmo áreas de convivência, demandam reforço estrutural e manutenção mais constante (Canabrava Neto *et al.*, 2021; Silva, 2021).

Leonardo *et al.* (2021), por sua vez, investigaram o desempenho térmico dos telhados verdes, apontando que eles são capazes de reduzir em até 6°C a temperatura interna dos ambientes cobertos, contribuindo significativamente para o conforto ambiental em áreas urbanas densamente ocupadas. Isso é especialmente importante para uma cidade como Recife, localizada em zona de clima tropical úmido, onde o calor urbano é intensificado pelo efeito de ilhas de calor.

Ainda que existam avanços legislativos e técnicos, a expansão dos telhados verdes na

cidade do Recife requer a superação de barreiras como a falta de incentivos fiscais, a escassez de capacitação técnica e a ausência de políticas de monitoramento da eficácia da norma. Para Aragão (2020), uma das estratégias para impulsionar a técnica seria a criação de instrumentos urbanísticos que bonifiquem empreendimentos sustentáveis com potencial de mitigação climática, como coeficientes de aproveitamento diferenciados ou descontos tributários.

A seguir, o Quadro 23 mostra as vantagens e os desafios da implementação da técnica de telhado verde na cidade do Recife, bem como o Quadro 24 evidencia os locais no Recife que já executaram a técnica.

Quadro 23 – Vantagem e desafios dos telhados verdes no Recife

Vantagens	Desafios
Redução do escoamento superficial	Custo inicial de implantação
Melhoria do conforto térmico	Necessidade de reforço estrutural
Diminuição do efeito de ilha de calor	Pouca capacitação técnica disponível
Aumento da biodiversidade urbana	Baixa fiscalização da legislação
Valorização imobiliária	Falta de incentivos econômicos

Fonte: Adaptado de Canabrava Neto *et al.* (2021) e Barros *et al.* (2021).

Quadro 24 – Lista de telhados verdes no Recife

Telhado Verde	Ano de Construção	Responsável	Endereço Oficial
Empresarial ITBC	2014	SOFTEXRECIFE	R. Domingos José Martins | Edifício SOFTEX / ITBC – Porto Digital Bairro do Recife – Recife/PE – Brasil
Bar Central	2015	ANDRÉ ROSEMBERG	R. Mamede Simões, 144 - Santo Amaro, Recife - PE, 50050-570
Telhado Verde Ecoprodutivo - CPP	2015	ONG – Comunidade Pequenos Profetas	Av. Sul Governador Sampaio 110 – São José, Recife – PE, 50090-010
Colégio Fazer Crescer	2017	Coordenação	R. Salvador de Sá, 1181 - Rosarinho, Recife - PE, 52050-050
Empresarial Charles Darwin	2017	RioAve	R. Sen. José Henrique, 231 - Ilha do Leite, Recife - PE, 50070-460
Estação Ecoturística Cais do Imperador - Deltaexpresso	2017	Prefeitura do Recife	Av. Martins de Barros, 252 - Santana, Recife - PE, 50010-230
Cais do Sertão	2018	Administração	Armazém 10, Av. Alfredo Lisboa, s/n - Recife, PE, 50030-150

Fonte: Adaptado de Aragão (2020)

Ainda, Silva (2019) elabora um comparativo econômico entre o telhado verde, o

pavimento permeável e o jardim de chuva, equiparando seu custo de implantação e nível de manutenção de modo geral, conforme mostra o Quadro 25.

Quadro 25 – Custo estimado de implantação e nível de manutenção de técnicas compensatórias

Estrutura de controle	Manutenção	Custo de implantação (R$)
Telhado verde	Mínima	173,00/m²
Pavimento permeável	Alta	118,57/m²
Jardim de chuva	Moderada	397,38/m²
Vala vegetada	Moderada	151,55/m a 198,70/m

Fonte: Adaptado de Silva (2019)

Em suma, a implantação de telhados verdes no Recife representa uma alternativa viável e necessária para enfrentar os impactos da urbanização e das mudanças climáticas. Para que essa prática se consolide como política pública efetiva, é preciso avançar na articulação entre legislação, planejamento urbano, incentivos econômicos e sensibilização social. A cidade de Recife, que já conta com exemplos relevantes e legislação específica, tem potencial para se tornar uma referência nacional na adoção desta técnica sustentável — desde que haja vontade política e engajamento técnico para transformar projetos pontuais em uma política urbana de largo alcance.

4.3.4 Drenagem sustentável na bacia hidrográfica do rio Beberibe

A bacia hidrográfica do Rio Beberibe representa uma área de elevada relevância para a drenagem urbana da Região Metropolitana do Recife, abarcando trechos dos municípios de Recife, Olinda, Paulista e Camaragibe. Com uma extensão de 71 km² e aproximadamente 680 mil habitantes, essa bacia encontra-se sob forte pressão urbana, especialmente no seu baixo curso, onde o adensamento populacional e a ocupação irregular das margens agravam os problemas de escoamento superficial, alagamentos e poluição dos corpos hídricos.

Ao longo dos últimos anos, a intensificação da urbanização, acompanhada do crescimento desordenado e da impermeabilização do solo, comprometeu significativamente a capacidade de infiltração das águas pluviais. Como resultado, a ocorrência de enchentes passou a ser frequente, mesmo em trechos que, morfologicamente, apresentam características de boa drenagem, como é o caso do Rio Beberibe, cuja forma alongada e declividade moderada favoreceriam uma maior eficiência no escoamento natural.

Nesse cenário, a adoção de práticas sustentáveis de drenagem urbana torna-se essencial. Estudos como o de Santos *et al*. (2022) demonstram a eficácia de medidas estruturais e não estruturais para mitigar os impactos dos eventos pluviais extremos na sub-bacia do Beberibe.

Utilizando o modelo hidrológico ABC6, foi possível simular vazões de pico para tempos de retorno de 5 e 10 anos, cujos valores atingiram 46,61 m³/s e 63,95 m³/s, respectivamente. Com base nesses resultados, os autores propõem a implantação de reservatórios de detenção em áreas permeáveis, que funcionariam como dispositivos de amortecimento das cheias.

Além dos reservatórios, técnicas compensatórias como valas de infiltração, pavimentos permeáveis, jardins de chuva e telhados verdes foram apontadas como ferramentas complementares na contenção e no retardamento do escoamento superficial. Contudo, os autores alertam para o desafio de implementação e manutenção desses dispositivos em contextos urbanos densamente ocupados como o do Recife.

Outro aspecto central na análise da drenagem sustentável na bacia do Beberibe é a dimensão social e institucional do problema. Iniciativas como o Programa de Reabilitação Urbana e Ambiental da Bacia do Beberibe, desenvolvido pela antiga FIDEM, representaram um marco inicial na tentativa de reverter a degradação ambiental da região. O programa visava estruturar um comitê de bacia, um consórcio intermunicipal e um grupo gestor comunitário, configurando uma abordagem de governança participativa. No entanto, a descontinuidade das ações e a ausência de intervenções em trechos como o da margem pertencente a Olinda evidenciam a fragilidade da articulação entre os entes federativos.

A vulnerabilidade da bacia também é destacada no estudo de Santos *et al*. (2019), ao retratar o Recife como um território particularmente sensível a eventos pluviais extremos. A baixa altitude em relação ao nível do mar, a presença de lençol freático superficial e a influência direta das marés agravam o quadro de inundabilidade natural. Tais características tornam a manutenção das áreas de amortecimento e infiltração ainda mais crítica.

Com isso, as ações sustentáveis de drenagem na bacia do Beberibe devem considerar não apenas os aspectos técnicos de dimensionamento de obras, mas também a inserção comunitária, o ordenamento territorial e a educação ambiental como pilares estruturantes. Exemplo disso é a atuação da ONG Mobiliza Beberibe, que tem promovido ações de defesa das populações ribeirinhas e de recuperação dos corpos hídricos locais.

O Quadro 26 traz um comparativo entre técnicas de drenagem sustentável, inclusive as não-estruturais, já utilizadas no Recife, no recorte da bacia hidrográfica do rio Beberibe.

Quadro 26 – Medidas de drenagem sustentável já utilizadas na bacia do rio Beberibe

Medida	Status de implementação	Localização	Observações
Desapropriação de moradias	**Executada parcialmente**	Rua Dalva de Oliveira – Recife	Trecho urbano desocupado como parte das ações de reabilitação ambiental da FIDEM.
Educação ambiental comunitária	**Em andamento (ONG Mobiliza Beberibe)**	Comunidade ribeirinha no entorno do rio Beberibe	Ações educativas e de mobilização para limpeza e preservação do rio.
Intervenções paisagísticas	**Parcialmente implantadas**	Trecho entre a BR-101 e o entroncamento com o rio Morno	Áreas de APP com vegetação preservada, incluindo Parque Dois Irmãos.
Reservatórios de detenção	**Executados parcialmente**	Comunidade do Porto da Madeira, próximo à Ponte do Monteiro (Recife)	Áreas utilizadas para controle de cheia identificadas na sub-bacia segundo Santos et al. (2022).
Pavimento permeável / técnicas compensatórias	**Propostas em estudo**	Sem localização para implementação especificada	Apontadas como alternativas viáveis nos estudos, mas sem confirmação de execução.

Fonte: Adaptado de Santos e*t al.* (2022), Cabral *et al.*(2019) e Silva (2020).

4.4 Comparativo entre as técnicas compensatórias para drenagem urbana estudadas e o PMSB do Recife

O Plano Municipal de Saneamento Básico do Recife (PMSB), instituído como instrumento de gestão participativa para a universalização do saneamento básico na capital pernambucana, apresenta um limitado eixo dedicado à drenagem urbana, no qual são delineadas estratégias e metas voltadas ao enfrentamento dos desafios relacionados ao manejo das águas pluviais. Esta seção dedica-se à análise qualitativa e comparativa entre os objetivos estratégicos e metas desse plano e os atributos das técnicas compensatórias de drenagem urbana estudadas neste trabalho, como o jardim de chuva, pavimento permeável e telhado verde. Tal análise é conduzida à luz de três critérios centrais: sustentabilidade, efetividade e aplicabilidade.

Inicialmente, realizou-se uma leitura sistemática e crítica do conteúdo do PMSB do Recife, com foco especial no Volume II – Diagnóstico Técnico Participativo – e no Volume III – Prognóstico e Planejamento. Nesses documentos, identifica-se a clara preocupação do

município com os impactos do adensamento urbano sobre a drenagem natural, a poluição dos corpos hídricos e a ocorrência de alagamentos frequentes, especialmente nas áreas de maior vulnerabilidade socioambiental .

Um dos pontos centrais do PMSB é a ênfase em soluções baseadas na natureza (SbN) como ferramentas de mitigação e adaptação aos eventos hidrológicos extremos, em consonância com diretrizes internacionais. Entre as estratégias propostas, destacam-se a implantação de dispositivos de retenção e detenção de águas pluviais, a promoção de superfícies permeáveis, a conservação das áreas verdes e o fortalecimento de instrumentos legais e institucionais que incentivem práticas sustentáveis de ocupação do solo .

Cada técnica compensatória estudada neste trabalho foi analisada qualitativamente em relação aos três critérios definidos em primeira situação: sustentabilidade; efetividade; e aplicabilidade. Ainda, a partir destes critérios definiu-se o quão alinhadas estão as três técnicas compensatórias estudadas com o PMSB do Recife. A seguir, foi descrito o que cada critério estabelece:

1) Sustentabilidade:

   O critério da sustentabilidade examina a capacidade das técnicas em promover a conservação ambiental, reduzir a impermeabilização do solo e melhorar a qualidade da água. As três técnicas estudadas mostram-se fortemente alinhadas a esse princípio. O telhado verde, por exemplo, contribui para a melhoria da qualidade do ar e o conforto térmico urbano, ao passo que o pavimento permeável facilita a recarga do lençol freático. Já o jardim de chuva atua na filtragem de poluentes e no controle difuso da poluição. O PMSB reconhece essas abordagens como estratégias desejáveis, destacando a necessidade de integração entre infraestrutura verde e cinza, bem como a proteção de ecossistemas urbanos sensíveis .

2) Efetividade:

   Do ponto de vista da efetividade, isto é, da capacidade de mitigar alagamentos e reduzir o volume de escoamento superficial, as técnicas demonstram respostas positivas, sobretudo quando implementadas em escala territorial integrada. O jardim de chuva e o pavimento permeável têm efeito direto sobre o tempo de concentração e a vazão de pico das águas pluviais, enquanto o telhado verde atua de forma complementar, retardando a chegada das águas ao sistema público de drenagem. O PMSB prevê a implementação de unidades demonstrativas dessas soluções como parte de programas-piloto, além de recomendar a incorporação desses sistemas aos novos projetos urbanos e habitacionais .

3) Aplicabilidade:

A aplicabilidade das técnicas refere-se à viabilidade técnica, econômica e institucional de sua adoção. Este é, talvez, o ponto que mais requer atenção. Apesar do reconhecimento de suas vantagens ambientais, o PMSB aponta para a necessidade de capacitação técnica dos agentes públicos, além de incentivos normativos e financeiros para a adoção em áreas privadas. A técnica do pavimento permeável, por exemplo, depende de investimentos mais elevados e manutenção especializada. O telhado verde ainda encontra barreiras culturais e estruturais, principalmente em edificações populares. Já o jardim de chuva apresenta boa aplicabilidade em áreas públicas e canteiros urbanos, sendo citado explicitamente no PMSB como tecnologia acessível e replicável.

O Quadro 27 a seguir mostra a análise comparativa esquematizada, a partir dos critérios evidenciados e sua relação com o PMSB do Recife.

Quadro 27 – Esquema comparativo entre as técnicas compensatórias e os critérios do PMSB do Recife

Técnica	**Sustentabilidade**	**Efetividade**	**Aplicabilidade**	**Alinhamento com o PMSB**
Jardim de chuva	Alta	Alta	Média-Alta	Forte
Pavimento permeável	Alta	Alta	Média	Moderado
Telhado verde	Alta	Média	Baixa-Média	Moderado

Fonte: A autora (2025)

A análise comparativa evidencia que há um campo fértil para a adoção das técnicas compensatórias no Recife, sobretudo por sua consonância com as metas e diretrizes do PMSB. Contudo, sua efetiva implantação exige um esforço multidimensional, que vai além da técnica e envolve aspectos econômicos, institucionais e culturais. A transição para uma drenagem sustentável demanda articulação entre instrumentos de planejamento urbano, incentivos econômicos e engajamento social.

Nesse sentido, o PMSB do Recife avança ao reconhecer essas práticas como soluções viáveis e desejáveis, mas ainda carece de mecanismos mais robustos de normatização, financiamento e execução. A contribuição das técnicas compensatórias será tanto mais relevante quanto forem integradas às políticas públicas de forma estratégica, inclusiva e participativa.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pequisa teve como objetivo estudar, classificar e entender o comportamento hidrológico e pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, bem como sua caracterização morfométrica, para ser possível mensurar o quanto três técnicas compensatórias para drenagem urbana – jardins de chuva, pavimento permeável e telhado verde – podem ser satisfatórias no controle de alagamentos, principalmente nas limitações da referida bacia hidrográfica no município do Recife, avaliando se as técnicas compensatórias estudadas estão em consonância com o PMSB do Recife.

A caracterização morfométrica revelou-se um componente essencial para a compreensão das dinâmicas hidrológicas da Bacia do Beberibe. A partir da análise de parâmetros como densidade de drenagem, razão de elongação, fator de forma e índice de circularidade, foi possível constatar que se trata de uma bacia com predominância de planícies costeiras, com áreas que combinam trechos de encostas e planícies costeiras, a bacia apresenta variações significativas de declividade, o que influencia diretamente os padrões de escoamento e a vulnerabilidade a inundações, sobretudo nas regiões mais urbanizadas e com relevo suave no baixo curso, o qual abrange alguns bairros da zona norte de Recife, sendo encontrado ali um alto coeficiente de escoamento superficial.

Essas informações contribuíram para fundamentar a escolha das técnicas compensatórias mais adequadas à realidade local, sendo possível relacionar as condições fisiográficas e hidrológicas da bacia com o desempenho esperado de cada técnica. O jardim de chuva, por exemplo, mostrou-se eficaz para regiões de baixa declividade e solos moderadamente permeáveis, presentes no médio curso da bacia. Já os telhados verdes se destacam como alternativa viável em áreas densamente construídas, como no entorno da BR-101, enquanto o pavimento permeável pode ter melhor aplicação em vias secundárias e estacionamentos, sobretudo nas áreas de transição entre zonas morro e planície.

Os dados analisados também evidenciaram que, embora o Recife possua um PMSB relativamente avançado, sua efetiva aplicação ainda enfrenta desafios, principalmente quanto ao financiamento, à fiscalização e à integração entre as diferentes escalas de planejamento urbano.

Entre as contribuições desta pesquisa, destaca-se a demonstração da importância de associar a análise morfométrica de bacias hidrográficas ao planejamento urbano e à escolha de soluções de drenagem. A abordagem integrada adotada permite não apenas conhecer as limitações naturais da bacia, mas também identificar oportunidades para intervenção eficiente, com menor custo e maior retorno ambiental e social, sendo, evidentemente, necessário avaliar se

cabe atrelar as técnicas compensatórias com infraestrutura convencionais de drenagem urbana.

Por outro lado, é preciso reconhecer algumas limitações enfrentadas ao longo do trabalho, como a escassez de dados atualizados e uniformes sobre a implantação das técnicas no território recifense e a ausência de um sistema georreferenciado público que permita análises mais aprofundadas da rede de drenagem existente. Ainda assim, a análise baseada em dados da APAC, EMLURB, INMET e em estudos acadêmicos de autores locais garantiu robustez ao diagnóstico proposto.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se ampliar a análise morfométrica para as bacias dos Rios Capibaribe e Tejipió, possibilitando uma comparação entre os diferentes contextos hidrológicos da cidade. Outra vertente de pesquisa promissora é o uso de modelagem computacional para simular cenários com e sem técnicas compensatórias, auxiliando na tomada de decisões por parte do poder público. Também se propõe a investigação da aceitação social dessas estruturas, bem como o fornecimento de informações sobre a eficiência destas técnicas, uma vez que a participação da população é um fator decisivo para sua manutenção, implicando na durabilidade e eficiência das infraestruturas.

A integração entre conhecimento técnico, territorial e ambiental é fundamental para promover uma drenagem urbana mais eficiente e sustentável no Recife. O fortalecimento das políticas públicas, aliado ao incentivo à adoção de técnicas baseadas na natureza, pode transformar a realidade das bacias urbanas da cidade, promovendo maior resiliência climática e qualidade de vida para sua população.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoameto superficial na fonte.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Alencar, S. G.; Neto, M. M. C.; Sandrin, G. M.; Campos, C. A. B. **Técnicas compensatórias de drenagem urbana para manejo de águas pluviais: revisão sistemática e análise comparativa de métodos convencionais e inovadores no estado de mato grosso.** XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas, 2022.

ALMEIDA, M. F. **Aplicação De Técnicas Compensatórias Na Drenagem Urbana, Sob a Ótica Dos Usuários Do Espaço: Estudo De Caso Em São Carlos - Sp**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4388. Acesso em: 17 fev. 2025

ALVES, G.; NASCIMENTO, C. A. M. do; LIMA, F. R. S. **Metodologia para obtenção de dados hidrológicos em áreas urbanas: estudo de caso na bacia do rio Ipojuca-PE**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 2, p. 130–139, 2020.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, n.2, p.117-127, 2003.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual de Drenagem Urbana**. Brasília: ANA, 2013.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Relatório Técnico de Monitoramento Hidrológico do Estado de Pernambuco**. Recife: APAC, 2022.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Dados hidrológicos e pluviométricos**. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br. Acesso em: abril 2025.

ARAGÃO, M. S. **Análise da implementação dos telhados verdes como estratégia para cidades sustentáveis: um estudo da cidade do Recife**, Pernambuco. 2020. 209 f. Monografia (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2020.

ARAÚJO, C. E. L. de; LIMA, A. F. B. de; SILVA, T. L. **Análise de dados pluviométricos da bacia do rio Capibaribe com base em dados da APAC**. Revista Saneamento Ambiental, v. 7, n. 1, p. 1–10, 2023.

ARAVENA, J. E.; DUSSAILLANT, A. **Storm-Water Infiltration and Focused Recharge Modeling WithFinite-Volume Two-Dimensional Richards Equation: application to an experimental rain garden**. Journal of Hydraulic Engineering, v. 135, n. 12, p. 1073-1080. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **Tecnicas compensatórias em drenagem urbana.** 2. ed. rev. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BARROS, E. N. *et al.* **Jardins de chuva para mitigação dos alagamentos urbanos: análise de um projeto piloto.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 2, p. 1396–1411, 2024.

BARROS, C. B. R.; SOARES, W. A.; HOLANDA, Ribeiro, M. A. C. **Influência do substrato dos telhados verdes na redução do escoamento superficial quando submetido às condições climáticas da Região Metropolitana do Recife**. Research, Society and Development, v. 10, n. 5, e57710515401, 2021.

BEAN, E. Z; HUNT, W.F; BIDELPACH, D . A; BURAK, R . J. **Study on the surface infiltration rate of permeable pavements**. 1st Water and Environment Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 2004.

BERGAMO, E. P. **Legislação Ambiental e Urbana: a necessidade do planejamento ambiental em bacias hidrográficas urbanizadas na escala Municipal**. Geonordeste. Núcleo de Pós-Graduação em Geografia – NPGEO. Universidade Federal de Sergipe – UFS, ano XV. Nº 1 (p. 2-40), 2006.

BERRÊDO, E. D.; BONATTO, D. A. M. **Desafios e possibilidades para as águas urbanas nas cidades contemporâneas: a bacia hidrográfica como unidade de planejamento para o desenvolvimento e a reabilitação urbana e ambiental**. In: Anais XVIII ENANPUR 2019. Natal, 2019.

BORSATO, F.H. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. 2005.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2007/l11445.htm. Acesso em: 17 out. 2024.

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

CABRAL, J. J. S. P.; BRAGA, R. A. P.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, P. L.; SANTOS, S. N. **Abordagem multidisciplinar no processo de início de revitalização de três riachos da Bacia do rio Capibaribe**. Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu - PR. 2019.

CAMPOS, J. G. S. **Características Físicas e Ambientais da Bacia do Rio Beberibe**. Revista brasileira de geografia física. Recife, 2003.

CANABRAVA NETO, E. G.; ALMEIDA, A. K.; LEITE, I. R.; GUARIENTI, J. A.; ALMEIDA, I. K. **Telhado verde: alternativa sustentável para a drenagem do escoamento superficial.** Mix Sustentável, v. 7, n. 2, p. 125–136, abr. 2021.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de textos, 2005.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Apostila Hidrologia**. UFRRJ. Rio de Janeiro – RJ. 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia. 2**. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COSTA, E. R.; MOURA, C. M. **Análise morfométrica da Bacia do Capibaribe com base em geotecnologias.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 4, p. 1397-1410, 2020.

COSTA, I. R. A. **Variabilidade espaço-temporal da infiltração em um pavimento permeável na cidade do Recife-PE**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – UFPE, 2021.

COUTINHO, Artur Paiva. **PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA NA DRENAGEM URBANA DA CIDADE DO RECIFE**.. 2011. Dissertação (Pós-graduação) - Universidade federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2011.

COUTINHO, L.M.; ZANETTI, S.S.; CECÍLIO, R.A.; GARCIA, G.O.; XAVIER, A.C. **Usos da Terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia do Rio da Prata**, Castelo-ES. Floresta e Ambiente, v.20, n.4, p.425-434, 2013.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais: Rio Beberibe**. Recife, 2011.x

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. **Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas**. Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DONG, J.; LIN, M.; ZUO, J.; LIN, T.; LIU, J.; SUN, C.; LUO, J. **Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban Area - A case study of Xiamen, China**. Journal of Cleaner Production, 255, 12 pp., 2020.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 204p.

DUNNETT, N.; CLAYDEN.**A Rain Gardens: managing water sustainably in the garden and designed landscape**. Portland: Workman, 2007.

ELLIS, J. B.. **Third generation urban surface water drainage: from rooftop to the receiving water subcatchment**. 11th International Conference on Urban Drainage, Anais.., Edinburgh, UK, August, 2008.

EMLURB. Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife. **Diagnóstico da Drenagem Urbana da Cidade do Recife.** Recife: Prefeitura do Recife, 2013.

EMLURB. **Relatório de Andamento do RAP - Caracterização da Área de Influência Direta – AID**. In: Estudo elaboração dos estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife. Recife, out. 2013.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **GIS Dictionary**. Disponível em: <http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/DEM> Acesso em: 18/04/2025.

FEITOSA, A.; SANTOS, B. O.; ARAÚJO, M. D. S. B. **Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE**. Revista Brasileira de Geografia Física, 4(4), 820-836. 2012.

Fernandes, A. S.; Gama, A. M. C. F.; Saorim, R. N.S. **A Gestão Integrada da Bacia do Rio Beberibe, no Governo do Estado de Pernambuco, Brasil**. *In* Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011.

FERREIRA, E. C. **Modelagem computacional com aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto na bacia urbana do Riacho Moxotó na cidade de Recife/PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UFPE, 2020.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 2. ed. Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. *et al*. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

FREITAS, D. A. **Uso da técnica de filtração em margem para remoção de cryptosporidium spp. e giardia spp. e outros micro-organismos patogênicos no rio Beberibe – Pernambuco**. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado, Recife – PE, 2014.

G1 Pernambuco. **Pesquisadores investigam causas da tragédia que deixou 133 mortos após fortes chuvas em 2022 no Grande Recife**. *G1 Pernambuco*, 1 jun. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2023/06/01/pesquisadores-investigam-causas-da-tragedia-que-deixou-133-mortos-apos-fortes-chuvas-em-2022-no-grande-recife.ghtml>. Acesso em: 24 fev. 2025.

GALVÃO, T. F. **Revisões sistemáticas da literatura:** passos para sua elaboração. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2014.

GÓES, V. C. **Simulação hidrológico-hidrodinâmica integrada ao geoprocessamento para avaliação da macrodrenagem em centros urbanos**. Tese de doutorado (Doutorado em engenharia civil) – Universidade federal de Pernambuco, Recife, 2009.

GONÇALVES, J. J. **Bacia hidrográfica do Rio Beberibe-PE: caracterização morfométrica**. UFRPE, 2017.

GOVERNO DE PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Recife, 2021.

HOLANDA, M. A. C. R. *et al*. **Análise da viabilidade de implantação de medidas sustentáveis para reduzir alagamentos nos túneis de Recife**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 4, p. 1904–1913, 2020.

IBGE. **Censo Demográfico de 2022**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 16 dez. 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos de precipitação – Estação Recife**. Brasília: INMET, 2022.

Kasprzyk, M., Szpakowski, W., Poznańska, E., Boogaard, F. C., Bobkowska, K., & Gajewska, M. (2022). **Technical solutions and benefits of introducing rain gardens–Gdańsk case study**. Science of The Total Environment, 835, 155487. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155487

KÖPPEN, Wladimir. **Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Moraes, 1991.

LEONARDO, H. R. A. L. **Desempenho de telhados ecológicos em área urbana**. 2021. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.

LI, J. Q.; ZHAO, W. W. **Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-Purpose Rain Garden: Beijing case study**. In: INTERNATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, Seattle, 2008.Proceedings…Seattle, 2008.

LIMA, Fellipe. **Análise comparativa de técnicas compensatórias de drenagem urbana nos municípios de Natal e Mossoró.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Curso de Engenharia Ambiental. 2022.

LIMA, G. C. O.. **Avaliação do Desempenho de Telhados Verdes: Capacidade de Retenção Hídrica e Qualidade da Água Escoada**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru - PE, 128 p., 2013.

LINS, A. R. G.; MELO, J. F.; CUNHA, S. M. M. **A bacia do Capibaribe: características e desafios para a gestão dos recursos hídricos.** Revista Ambiente & Sociedade, v. 16, n. 4, p. 129-146, 2013.

LIRA, B. R. P. *et al*. **Análise morfométrica, hidrológica e pluviométrica da bacia do rio Piriá-PA.** Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 10, p. 45–54, 2020.

LOPES, W. G. R.; LIMA JÚNIOR, J. M.; MATOS, K. C. **Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana.** Research, Society and Development, v. 9, n. 9, e213997102, 2020.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. **Clima da região Amazônica**. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. p. 197–212.

MARINHO, M. N. **Experimentação e simulação da infiltração da água pluvial em um pavimento permeável**. Monografia (Engenharia Civil) – UFPE, 2023.

MCT/CGE . Ministério de Ciência e Tecnologia / Centro de Estudos e Gestão Estratégica. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, Brasília, 2001.

MEDEIROS, I. R. **Análise comparativa de sistemas de drenagem compensatória: vala de infiltração e jardim de chuva**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Apucarana: UTFPR, 2019.

MEDEIROS, M. M. (2011). **Diagnóstico da ocorrência de inundações no Brasil como ferramenta de planejamento: o atlas de vulnerabilidade a inundações**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, novembro de 2011.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A.. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas**. Ambiente Construído, 14 (4), 147-165, 2014.

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MONDARDO, M. L. (2007). Uma caracterização geral do processo de urbanização do sudoeste do Paraná – Brasil. **Revista Electronica de Geografia y Ciências Sociales**, v. XI, n. 239, 15 de maio de 2007.

MOURA, R. L. **Atlas Ambiental do Recife. Recife**: UFPE, 2022.

MOURA, F. J. S. (2022). **Estudo sobre drenagem urbana e bacias hidrográficas no Recife**. UFPE.

MOURA, L. S.; **MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA À REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS: estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do Rio TejipióRecife/PE**. 2022. 137. (Dissertação de mestrado) – UFPE, Recife, 2022.

MOURA, E. F. da S.; SILVA, S. R. da. **Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife-PE.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 3, n. 15, p. 78–93, 2015.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.. **Capítulo 4 - Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais.** Em: RIGHETTO, A. M. (org.) Volume 4 - Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB, p. 149 - 197, 2009.

NUNES, A. N.; RIBEIRO, C.; FIORI, A. P. **Morfometria de bacias hidrográficas como instrumento de análise ambiental.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 7, n. 1, 2006.

OHNUMA JÚNIOR, A. A., ALMEIDA NETO, P., MEDIONDO, E. M.. **Análise da Retenção Hídrica em Telhados Verdes a Partir da Eficiência do Coeficiente de Escoamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 19 (2), P. 41-52, 2014.

OLAYA, J. A. Si**stemas de informação geográfica**. 2. ed. Brasília: Parêntese, 2014.

OLIVEIRA, A. K. F. **A aplicabilidade do telhado verde na cidade do Recife**. 2018. 58 f. Monografia (Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade Damas da Instrução Cristã, Recife, 2018.

OLIVEIRA, D. B. C. de; SOARES, W. A.; SILVA, S. R. da. **Contribuição do solo natural na drenagem urbana em uma área suscetível a alagamentos no Recife – PE.** Research, Society and Development, v. 10, n. 7, e4110716269, 2021.

OLIVEIRA, N. R. et al. **Análise da variabilidade hidrológica na bacia hidrográfica do rio Purus**. Congresso da ABES, 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA (OMM). **Guia de práticas hidrológicas**. 4. ed. Genebra: OMM, 1984.

ONU-HABITAT. **Estado de las ciudades de Améria Latina y el Caribe**, 2012. Disponível em:<www.onuhabitat.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=362&ltemid=235>. Acesso em: 10 dez. 2024

OSÓRIO, Letícia Marques. Direito à moradia adequada na América Latina. **In: Direito à moradia e segurança da posse no Estatuto da Cidade: diretrizes, instrumentos e processos de gestão**. Belo Horizonte: Fórum, 2004.

Pennsylvania Department of best management practices (PA BMP). (2006). "**Pennsylvania stormwater best management practices manual**." PA DEP Rep. No. 363-0300-002, Harrisburg, Pa.

PESSOA, F. C. et al. **Regionalização de curvas de permanência de vazões da região da Calha Norte no estado do Pará.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 2, p. 65–74, 2011.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F.. Drenagem Urbana. Em: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 943 p., 2001.

PREUSS, S. L. C.; SILVA, A. A.; BRAGA, R. A. P.; CABRAL, J. J. S. P. **Adequação Estrutural e Ambiental para a Drenagem Urbana Sustentável:** o caso do Recife, Pernambuco. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió – AL, 2011.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. HAND, **A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia**. Remote Sensing of Environment, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

REZENDE, O. M.; AREND FILHO, L. A.; MATHEUS, M. S.; MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, P. C.. **Projeto para controle de inundações: conceito de canalização x conceito de reservação**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais.., 20 p., Campo Grande - MS, 2009.

SAATKAMP, G. **Jardim de chuva: estudo comparativo de um sistema de biorretenção e uma bacia de amortecimento pluvial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Porto Alegre: UFRGS, 2019.

SANTOS, A. R.; FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C.; CHACALTANA, J. T. A.; SOARES, V. P.; SANTOS, G. M. A. D. A. **Metodologia para análise estatística multivariada utilizando geotecnologias para correlacionar variáveis ambientais**. In: DOS SANTOS, A. R. et al (Orgs). Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. 2012.

SANTOS, C. R. L. et al. **Drenagem urbana: uma análise de vazão de cheia para a sub-bacia do rio Beberibe utilizando o modelo ABC6**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 04, p. 2104-2120, 2022.

SANTOS, E. C. M. **O papel da comunidade para a construção de cidades resilientes:** O caso do jardim de chuva do largo das Araucárias, Pinheiros (SP). Revista LABVERDE. FAUUSP. São Paulo, v. 10, n. 01, e171431, 2020.

SANTOS, E. et al. **Análise da viabilidade econômica de implantação de pavimento permeável como instrumento de drenagem urbana nas vias mais alagadas dos munícipio**

de Nova Xacantina – MT. Revista Interação Interdisciplinar. v. 03, nº. 02, p.62-77, Jul-Dez., 2019.

SANTOS, L. D. J. et al. **Vulnerabilidades a eventos pluviais de alta magnitude da cidade do Recife – Pernambuco/Brasil**. Revista Geonorte, v. 9, n. 2, 2019.

SANTOS, R. D. et al. **Aplicação de geotecnologias na análise ambiental de bacias hidrográficas.** Revista Geonorte**,** v. 3, n. 5, 2012.

SECTMA. **Atlas Ambiental de Pernambuco**. Recife, 2009.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Caracterização das bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife, 1998.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras. Disponível em: Acesso em: 27/04/2025.

SILVA, G. B. L. **Avaliação Experimental sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas.** Tese (Doutorado Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, J. F. F. **Alternativas para controle de alagamentos urbanos utilizando telhados verdes e pavimentos permeáveis em um bairro da cidade do Recife.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UFPE, 2019.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; CABRAL, J. J. S. P.; FONSECA NETO, G. C.; SILVA, P. O.; GUERRA, C. M. F.; SILVA, S. R. **Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE.** *Journal of Environmental Analysis and Progress.* v.5, n.3, 2020.

SILVA JUNIOR, M. A. B. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE**. Orientadora: Simone Rosa da Silva. Co-orientador: Jaime Joaquim

da Silva Pereira Cabral. 2015. Dissertação de mestrado (mestrado em engenharia civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

SILVA, L. N. P. **Análise do impacto da sobrecarga de telhado verde gerado sobre o radier estaqueado de uma edificação.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

SILVA, P. O.; CABRAL, J. J. .S. P. **Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, v. 19, n. 2, p. 7 – 18, abr./jun de 2014.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: Tucci, C.E.M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de saneamento básico – 2021**. Brasília: MDR, 2022.

SOUSA, W. S.; ASSIS, J. M. O.; SILVA, R. F.; CORREIA, A. M. (2013). **Análise do comportamento das chuvas durante os últimos 50 anos (1961 – 2011), na cidade do Recife/PE**. Revista Pernambucana de Tecnologia. Recife, p. 6 - 14 out. 2013.

SOUZA, J. P.; MOURA, L. M.; FERREIRA, J. H. **Uso de dados da APAC para a caracterização climatológica da bacia do rio Ipojuca**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 28, n. 1, p. 189–202, 2023.

SOARES, G. A. S. **Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe- PE.** Revista Brasileira de Geografia Física, RBGF. v. 13, n. 17, p. 3659-3674. 2020.

STIPP, M. L. et al. **Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas: subsídios para o planejamento ambiental**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 3, n. 4, 2010.

TOMINAGA, E. N. S.. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte.** Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo - SP, 137 p., 2013.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG**. Revista Árvore, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M.; ARAÚJO, P. R.; GOLDENFUM, J. A. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. In: Curso de gestão de águas pluviais. Apresentação em PowerPoint. São Paulo, 10 de agosto de 2013.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2008.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre (RS): Curso de Gestão das Inundações Urbanas, junho de 2005.

UN, 2009. Disponível em: http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007**.** Acessado em: 15 dez. 2024.

URBONAS, B; STARHE, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 450, 1993.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

YANNOPOULOS, S. I.; GRIVAKI, G.; GIANNOPOULOU, Io.; BASBAS, S.; OIKONOMOU, E. K. **Environmental impacts and best management of urban stormwater runoff***:* measures and legislative framework. Global NEST Journal, Vol. 20, Nº 10, p. 1-9, 2013.

ZANETTI, S. S.; AGRIZZI, D. V.; SCÁRDUA, M. D.; FUKUNAGA, D.; OLIVEIRA, K. D. **Estimativas do escoamento superficial em uma sub-bacia hidrográfica no município de rio novo do sul**, ES. In: DOS SANTOS, A. R. et al (Orgs). Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. 2012.

ANEXO A - LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE RECIFE NOS ÚLTIMOS 10 ANOS

Código	Posto	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média	Acumulado
265	Recife (Alto da Brasileira)	2015	50	53,8	274,6	41,2	217	391,7	488,2	68,7	45	20,7	9,8	45,2	142,16	1705,9
265	Recife (Alto da Brasileira)	2016	85,9	10,3	113,5	314,6	364,8	140,8	115,3	64,3	42,3	11,2	8,3	27,6	108,24	1298,9
265	Recife (Alto da Brasileira)	2017	12,9	25	121,3	222	252,4	339,6	357,4	100,2	63,3	54,3	10,2	31,8	132,53	1590,4
265	Recife (Alto da Brasileira)	2018	112,9	126,1	154,7	483,7	132,4	114,7	97,3	62	38,1	5,1	46,5	33,6	117,26	1407,1
265	Recife (Alto da Brasileira)	2019	75,9	41,9	107	214,3	197,1	405,4	484,5	149,3	85,7	58,6	4,7	19,7	153,68	1844,1
265	Recife (Alto da Brasileira)	2020	31,8	70,1	118,6	251,8	99,4	277,4	213,2	56,2	36,5	24,4	31,9	23	102,86	1234,3
265	Recife (Alto da Brasileira)	2021	57,5	97	234,1	324,7	429,3	185,8	223	203	45,4	20,3	28,8	117,9	163,9	1966,8
265	Recife (Alto da Brasileira)	2022	224,7	84,8	368,7	185,1	679,1	449,2	235,7	241,5	55,4	38,5	65,6	46,6	222,91	2674,9
265	Recife (Alto da Brasileira)	2023	76,1	223,6	286,8	218,2	212,7	374,7	185,3	117,4	68,3	18,7	33,2	148,7	163,64	1963,7
265	Recife (Alto da Brasileira)	2024	141,4	212,3	125,1	323,2	178,5	489,8	140,5	67,5	79,3	21,8	8	31,7	151,59	1819,1
265	Recife (Alto da Brasileira)	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2017	-	-	-	216,7	282,2	496	413,6	150,7	58,3	18,3	5,8	19,6	184,58	1661,2
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2018	78	136,4	171,9	548,4	106,3	112,2	71,6	69,4	36	10,6	58,6	35,1	119,54	1434,5
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2019	126,4	92,6	133,1	202,8	134,7	466,4	422,3	133,5	99,3	52,5	2,1	10,2	156,33	1875,9
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2020	6,6	71,4	169,8	242,5	260,6	294,2	251,7	93,8	44,6	18,4	29,5	26	125,76	1509,1
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2021	44,3	108,4	225,3	494,1	573,8	232,5	222,2	348,8	24	19,6	17	94,4	200,37	2404,4
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2022	224,3	75,1	368,8	203,8	686,4	531,4	201,8	220,3	48,5	50,9	62,5	31,8	225,47	2705,6
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2023	61,2	332	174,4	180,4	238,4	441,5	211	122,2	59,9	16,5	14	87	161,54	1938,5
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2024	67,8	167,4	79,5	225,5	268,5	484,6	97,9	40	38,7	25	8,5	8,5	125,99	1511,9
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30	Recife (Várzea)	2015	64,6	54	341,8	74,4	171	449,4	445,5	116,6	29,7	16,2	30,6	91,8	157,13	1885,6
30	Recife (Várzea)	2016	119,6	70,9	244,3	291,6	478,8	146,7	111,1	58,3	46,6	13,7	16,2	67,8	138,8	1665,6
30	Recife (Várzea)	2017	28,7	20,9	139,2	291,7	397,7	487	486,2	109,1	83,8	60	14,8	30,1	179,1	2149,2
30	Recife (Várzea)	2018	153,6	119,8	120,6	466,4	183,1	133,6	94,2	105,5	50,3	21,1	37,4	74,5	130,01	1560,1
30	Recife (Várzea)	2019	143,5	111,1	159,9	281	205	462,8	306,1	183,4	110	59,5	3,9	22,2	170,7	2048,4
30	Recife (Várzea)	2020	56,2	84,3	166,2	251,1	246,9	329	186,9	119,4	62,4	17,4	55,4	62,9	136,51	1638,1
30	Recife (Várzea)	2021	54,2	120	223,4	450,4	549,4	193,8	255,8	309	50,8	42,8	8,6	-	205,29	2258,2
30	Recife (Várzea)	2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30	Recife (Várzea)	2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30	Recife (Várzea)	2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
30	Recife (Várzea)	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

ANEXO B - LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE OLINDA NOS ÚLTIMOS 10 ANOS

Código	Posto	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média	Acumulado
199	Olinda	2015	24,6	33,9	176	67,7	173,2	355,5	322,7	124	42,6	9,5	9,4	75,4	117,88	1414,5
199	Olinda	2016	110,5	74	170,7	285	658,3	166	95,3	43,1	30,3	11,2	13,4	15,8	139,47	1673,6
199	Olinda	2017	-	8,7	189,5	213,3	245,5	416,2	348,8	117	55,9	32	5,6	18,4	150,08	1650,9
199	Olinda	2018	105	78,1	127,5	522,2	155,1	135,1	72,7	46,7	33,7	7,5	21,5	20,4	110,46	1325,5
199	Olinda	2019	100,5	113,4	160,3	232,3	136,2	422,2	501,3	143,3	64,8	32,1	-	1,9	173,48	1908,3
199	Olinda	2020	2,9	67,2	77,7	307,9	351,6	295,8	216,9	76,4	46,2	8,1	15,8	29,7	124,68	1496,2
199	Olinda	2021	50,4	63,3	70,6	394,6	576,6	244,8	199,3	261,1	35,9	18,7	16,8	72,3	167,03	2004,4
199	Olinda	2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
199	Olinda	2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
199	Olinda	2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
199	Olinda	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2015	21,6	42	212,1	71,7	160,5	358	327,7	88,5	36,1	19,6	12,2	86,7	119,73	1436,7
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2016	146,2	73	199,5	235,7	503,1	204	68,9	32,9	27,2	6,6	13,9	10,7	126,81	1521,7
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2017	5,2	12,7	139,9	223,4	255,5	398,2	308,8	94,1	54,2	39,5	12,1	8,5	129,34	1552,1
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2018	91,8	69,8	137,3	474,2	146,9	153,4	65,9	61,9	46	5,9	41,9	35,8	110,9	1330,8
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2019	103,3	112,7	161,5	196,1	109,5	400,5	392,1	135,8	80,2	50,9	2	10,7	146,28	1755,3
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2020	8,4	51,2	171,3	221,2	281,5	296,9	190,4	54,6	41,7	13,3	18,4	9,4	113,19	1358,3
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2021	36,5	122	140,8	404	494,7	188,9	195,5	369,6	28,2	22,9	13,9	105,3	176,86	2122,3
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2022	145,6	95,7	260,7	208,4	496,1	508,9	180,2	241,4	41	45,3	51,5	60,8	194,63	2335,6
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2023	49	268	193,3	225,3	287,3	446,9	171,7	115,6	51,9	17,9	44,4	65,3	161,38	1936,6
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2024	77,7	176,3	96,7	276,9	253,8	359,8	96,8	41,7	55,2	6,6	1,1	14,1	121,39	1456,7
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2015	44,7	33,3	209,8	36,7	211,1	354,6	393,2	120,4	67,5	21,6	14,8	104,6	134,36	1612,3
209	Olinda (Alto da Bondade)	2016	149,6	85,1	180,5	298,9	628,8	139,7	87,8	52,6	40	11,7	11,9	17,1	141,98	1703,7
209	Olinda (Alto da Bondade)	2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
209	Olinda (Alto da Bondade)	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

ANEXO C - LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE CAMARAGIBE NOS ÚLTIMOS 10 ANOS

Código	Posto	Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média	Acumulado
201	Camaragibe	2015	45,2	54,8	346,9	43,2	151	379,5	411	97,9	33,6	12,1	16	105,3	141,38	1696,50
201	Camaragibe	2016	144,8	69,7	226,1	328,4	453	128,2	107,3	62,5	35,2	16,3	20,5	52,8	137,07	1644,80
201	Camaragibe	2017	23,8	54,4	141,1	262,4	291,3	474,6	418,7	117,5	78,6	65	23,2	44,3	166,24	1994,90
201	Camaragibe	2018	156,5	164,8	176,4	447,4	200,1	152,8	97,2	80,9	40	29,5	58	79,7	140,28	1683,30
201	Camaragibe	2019	96,8	139,9	180,2	229	213,9	425	434,6	163,5	101,1	42,8	0,4	13,1	170,03	2040,30
201	Camaragibe	2020	20,6	85,2	100,4	80,3	278	268,8	172,9	102,9	48,9	3,1	40	30,8	102,66	1231,90
201	Camaragibe	2021	63,6	170,4	159,9	414,6	473,1	126,2	220,7	264,1	51,1	27,1	15	104,6	174,20	2090,40
201	Camaragibe	2022	200,8	127,4	582,4	243	684,5	393,5	266,7	233	81,8	54,5	69,1	44,5	248,43	2981,20
201	Camaragibe	2023	152,3	234,4	186,2	244,7	296,7	433,5	212,4	161,2	128	27,6	44,5	123,1	187,05	2244,60
201	Camaragibe	2024	136,1	199	132	198,7	173,6	509,4	126,1	34,1	49,2	18,5	3	40,6	135,03	1620,30
201	Camaragibe	2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00