



**Uema**  
CAMPUS BACABAL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BACABAL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

**THYAGO VINÍCIUS SANTOS DA SILVA**

**SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAIS:** Um estudo de caso na  
cidade de Bacabal/MA

Bacabal

2023

**THYAGO VINÍCIUS SANTOS DA SILVA**

**SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAIS:** Um estudo de caso na  
cidade de Bacabal/MA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual do Maranhão para o grau de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Denny Gonçalves dos Santos.

Bacabal

2023

S581s Silva, Thyago Vinícius Santos da.

Sistemas de drenagem urbana de águas pluviais: Um estudo de caso na cidade de Bacabal-MA / Thyago Vinícius Santos da Silva–Bacabal-MA, 2023.

52 f: il.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil Bacharelado - Universidade Estadual do Maranhão-UEMA/ Campus Bacabal-MA, 2023.

Orientador: Profº Esp. Denny Gonçalves dos Santos.

1.Drenagem Urbana 2.Águas pluviais 3.Saneamento Básico  
4. Impermeabilização do solo.

CDU: 624.131.1 (81)

Elaborada por Poliana de Oliveira J. Ferreira CRB/13-702 MA

**THYAGO VINÍCIUS SANTOS DA SILVA**

**SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAIS: Um estudo de caso na cidade de Bacabal/MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota:

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**DENNY GONCALVES DOS SANTOS**

Data: 14/03/2024 14:55:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Esp. Denny Gonçalves dos Santos (Orientador)**

Especialista em Gerenciamento de Obras, Qualidade e Desempenho da Construção

Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**NATALIA BARROS FALCAO CUTRIM**

Data: 11/03/2024 15:02:23-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Esp. Natália Barros Falcão Cutrim**

Especialista em Gestão de Metrô e Transporte Ferroviário

Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**JOSELIO DA CONCEICAO CRUZ**

Data: 13/03/2024 07:35:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Esp. Josélio da Conceição Cruz**

Especialista em Gestão da Automação Industrial

Universidade Estadual do Maranhão

Dedico este trabalho a Deus, a minha família, aos meus amigos e colegas de curso pelo incentivo e motivação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por ter permitido que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os anos de estudos.

Aos meus familiares, por todo o apoio e toda a ajuda, que contribuíram bastante para a realização deste trabalho, em especial aos meus pais, Teresinha e Valdeci.

Aos meus amigos, Maria Gabriela e Sâmyo Rodrigues, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o curso, principalmente durante o período dedicado a este trabalho.

Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Aos professores que passaram pelo Curso Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão - Campus Bacabal, pela contribuição na minha formação acadêmica, em especial ao meu orientador Prof. Denny Gonçalves dos Santos, pelas correções e ensinamentos que permitiram apresentar um melhor desempenho em cada fase de elaboração deste trabalho.

## RESUMO

A drenagem urbana é um tema de grande relevância para a gestão das águas pluviais nas áreas urbanas. Este trabalho aborda os conceitos, os desafios e as soluções relacionadas à drenagem urbana, visando minimizar os impactos das enchentes e promover a sustentabilidade ambiental. O estudo ressalta a importância da infraestrutura e das técnicas adequadas para lidar com as águas pluviais, incluindo a coleta, o transporte, o armazenamento temporário e o tratamento dessas águas. Além disso, destaca-se a necessidade de soluções sustentáveis, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e cisternas para captação de águas pluviais, que contribuem para a redução dos danos causados pelas enchentes e melhoram a qualidade das águas. No entanto, é ressaltado que a drenagem urbana é um desafio contínuo, especialmente diante do crescimento urbano acelerado e das mudanças climáticas. Com isso, é fundamental investir em planejamento adequado, políticas públicas efetivas e conscientização da população sobre a importância da gestão sustentável das águas pluviais. Este trabalho visa fornecer uma visão geral sobre a drenagem urbana, destacando a necessidade de práticas integradas e sustentáveis, que possam contribuir para a melhoria da gestão das águas pluviais nas áreas urbanas.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana. Águas pluviais. Saneamento básico. Impermeabilização do solo.

## **ABSTRACT**

Urban drainage is a topic of great relevance for the management of rainwater in urban areas. This work addresses the concepts, challenges and solutions related to urban drainage, aiming to minimize the impacts of floods and promote environmental sustainability. The study highlights the importance of adequate infrastructure and techniques to deal with rainwater, including collection, transport, temporary storage and treatment of this water. In addition, there is a need for sustainable solutions, such as permeable pavements, rain gardens and cisterns for capturing rainwater, which contribute to reducing the damage caused by floods and improving water quality. However, it is emphasized that urban drainage is an ongoing challenge, especially in the face of accelerated urban growth and climate change. Therefore, it is essential to invest in adequate planning, effective public policies and public awareness of the importance of sustainable management of rainwater. This work aims to provide an overview of urban drainage, highlighting the need for integrated and sustainable practices that can contribute to the improvement of stormwater management in urban areas.

**Keywords:** Urban drainage. Rainwater. Basic sanitation. Soil waterproofing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação dos municípios que compõem a bacia do Mearim.....	23
Figura 2 - Rio Mearim durante o período de cheias na cidade de Bacabal.....	23
Figura 3 - Sistema coletor pluvial.....	27
Quadro 1 – Manutenção de sistemas de drenagem.....	31
Figura 4 - Exemplo de jardim de chuva.....	33
Figura 5 - Execução de concregrama.....	34
Figura 6 - Exemplo de piso permeável drenante.....	36
Figura 7 - Exemplo de pavimento intertravado permeável.....	37
Figura 8 - Camadas do pavimento intertravado permeável.....	37
Figura 9 - Localização do perímetro urbano da cidade de Bacabal - MA.....	40
Figura 10 - Localização da estação de tratamento de esgoto de Bacabal - MA.....	41
Figura 11 - Trecho da rua Firmino Neto.....	41
Figura 12 - Boca de lobo na rua Magalhães de Almeida.....	42
Figura 13 - Trecho da BR-316.....	42
Figura 14 - Cruzamento entre a rua Osvaldo Cruz e a av. Carlos Sardinha.....	43
Figura 15 - Trecho da rua Magalhães de Almeida próximo à agência do Banco do Brasil.....	44
Figura 16 - Trecho da rua Osvaldo Cruz próximo ao cruzamento com a av. Carlos Sardinha.....	44
Figura 17 - Trecho da rua Magalhães de Almeida próximo à agência do Banco do Brasil.....	45
Figura 18 - Localização dos pontos de maior destaque para a incidência de alagamentos.....	45
Figura 19 - Tipo de pavimento intertravado permeável.....	46

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Quantidade de chuva, em milímetros, na cidade de Bacabal – MA.....	25
Tabela 2 - Pavimento permeável com bloco de concreto poroso - Infiltração total.....	47
Tabela 3 - Pavimento permeável com bloco de concreto poroso – Sem infiltração.....	47

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Justificativa.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Drenagem urbana.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Macrodrenagem.....	17
2.1.2 Microdrenagem.....	18
<b>2.2 Saneamento básico.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Bacia hidrográfica.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 A bacia do Mearim.....	22
<b>2.4 Índice pluviométrico e variação climática.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Estudos e projetos relacionados à drenagem urbana.....</b>	<b>25</b>
2.5.1 Estudos hidrológicos.....	26
2.5.2 Estudos hidráulicos.....	27
2.5.3 Projetos hidráulicos.....	28
<b>2.6 Manutenção dos sistemas de drenagem.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7 Sustentabilidade e urbanização.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8 Estruturas que podem auxiliar a drenagem urbana.....</b>	<b>33</b>
2.8.1 Jardim de chuva.....	33
2.8.2 Concregrama.....	34
2.8.3 Piso permeável drenante.....	35

2.8.4 Pavimento intertravado permeável.....	36
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
4.1 Panorama atual da cidade.....	40
4.2 Área de estudo.....	43
4.3 Proposta de solução para o problema.....	46
4.4 Estimativa de custos.....	47
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É de amplo conhecimento que a vida nas cidades em tempos contemporâneos é bastante dinâmica e está em constante transformação, em decorrência disso, o conceito de urbanização está diretamente ligado a um fenômeno chamado de concentração urbana. Com o crescimento das cidades, o aumento da impermeabilização do solo e, ainda, a ocorrência de chuvas advindas das mudanças climáticas, os problemas de drenagem se tornam cada vez mais frequentes.

A urbanização acelerada tem levado ao aumento da impermeabilização do solo, com a substituição de áreas verdes por construções, asfalto e concreto. Como resultado, a capacidade de absorção e infiltração natural da água é comprometida, gerando um excesso de escoamento superficial. Isso sobrecarrega os sistemas de drenagem existentes, que muitas vezes não são dimensionados para lidar com volumes elevados de água em curtos períodos de tempo. Além dos desafios relacionados à quantidade de água, a qualidade também é um aspecto crítico, visto que a água pluvial carrega consigo poluentes, como resíduos sólidos, produtos químicos e substâncias tóxicas, que podem contaminar os corpos d'água locais e comprometer a saúde pública e a biodiversidade, como trata Tucci (2012).

Diante dessas questões, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estratégias e soluções eficientes de drenagem urbana, que visem minimizar os impactos negativos e promover uma gestão mais sustentável das águas pluviais. Isso envolve a adoção de medidas de controle, como a construção de sistemas de captação e armazenamento da água da chuva, a implantação de áreas verdes permeáveis e a utilização de técnicas de retenção e infiltração.

Além disso, é fundamental considerar a integração da drenagem urbana com outras áreas do planejamento urbano, como o desenvolvimento sustentável, a gestão de resíduos sólidos e o ordenamento territorial. A abordagem multidisciplinar e a participação de diversos atores, como gestores públicos, especialistas em engenharia, arquitetura e meio ambiente, e a própria comunidade, são essenciais para alcançar resultados efetivos.

Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo analisar e propor soluções para os desafios enfrentados pela drenagem urbana, tendo como foco a cidade de Bacabal/MA. Serão considerados aspectos relacionados às normas e legislações vigentes, à análise da infraestrutura existente e à identificação de medidas sustentáveis que se adequem às características locais. Através desse estudo, busca-se contribuir para a mitigação dos problemas causados pelas águas pluviais, promovendo uma cidade mais resiliente, segura e ambientalmente sustentável.

Em virtude disso, é de fundamental importância a adoção de medidas efetivas para o manejo das águas pluviais, visando garantir a segurança, saúde e bem-estar da população. Desse modo, a drenagem urbana constitui um desafio crucial para a administração das cidades e uma das principais áreas de atuação para a busca de soluções inovadoras e sustentáveis.

### **1.1 Justificativa**

A drenagem urbana é um tema de extrema importância para a gestão urbana, especialmente diante dos desafios enfrentados pelas cidades no que diz respeito ao manejo adequado das águas pluviais. A urbanização acelerada e o crescimento populacional nas áreas urbanas têm gerado impactos significativos no sistema de drenagem das cidades, resultando em inundações, alagamentos, erosões, danos à infraestrutura e prejuízos socioeconômicos, além de afetar a qualidade ambiental e a saúde pública.

Com isso, a necessidade de compreender e solucionar os problemas enfrentados pela sociedade em decorrência da inadequada gestão das águas pluviais, é percebida, a partir da falta de planejamento eficiente, da ausência de infraestrutura adequada e do desconhecimento das melhores práticas de drenagem contribuem para a ocorrência de transtornos urbanos, afetando diretamente a qualidade de vida da população.

Além disso, a drenagem urbana desempenha um papel crucial na preservação do meio ambiente e na mitigação dos impactos ambientais. A impermeabilização do solo e a descarga descontrolada das águas pluviais nos corpos d'água podem resultar em erosão do solo, assoreamento de rios, contaminação da água, degradação dos ecossistemas aquáticos e comprometimento da biodiversidade. Logo, é fundamental adotar práticas sustentáveis de drenagem que minimizem esses impactos e promovam a preservação ambiental.

Outro aspecto importante é a necessidade de atender às exigências legais e normativas relacionadas à drenagem urbana. No Brasil, a Lei nº 11.445/2007 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, incluindo a drenagem urbana como um dos componentes essenciais. Portanto, é imprescindível conhecer e aplicar as normas e legislações vigentes, a fim de garantir a conformidade legal e a qualidade dos serviços de drenagem.

Diante desse contexto, é crucial desenvolver estudos e pesquisas que abordem a drenagem urbana, buscando soluções inovadoras e sustentáveis para os desafios enfrentados pelas cidades. A implementação de técnicas eficientes de drenagem, o planejamento adequado dos sistemas, a adoção de medidas de controle e a conscientização da sociedade são medidas essenciais para minimizar os impactos negativos e promover uma gestão mais eficiente das águas pluviais.

Portanto, a justificativa para o estudo da drenagem urbana está fundamentada na necessidade de promover o bem-estar da população, preservar o meio ambiente, atender às exigências legais e normativas, e contribuir para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e sustentáveis. Ao avançar na compreensão e no aprimoramento dos sistemas de drenagem urbana, será possível reduzir os danos causados pelas enchentes e melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas.

## **1.2 Objetivos**

No que tange aos objetivos, os mesmos visam contribuir para a análise e posterior melhoria dos sistemas de drenagem em áreas urbanas. É importante que sejam definidos claramente os objetivos para direcionar a pesquisa, coleta de dados e análise, a fim de obter resultados relevantes e contribuir para a melhoria dos sistemas de drenagem em áreas urbanas.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Com relação ao objetivo geral deste trabalho, pode-se inferir que o mesmo busca encontrar possíveis soluções relacionadas à problemas comuns no dia a dia urbano, que ocorrem primordialmente nos períodos chuvosos, estando relacionados diretamente com a drenagem pluvial na cidade de Bacabal/MA.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Em decorrência do objetivo geral, tem-se os objetivos específicos relacionados ao tema, que visam atingir os resultados, e são os seguintes:

- Realizar um estudo abrangente sobre drenagem urbana: Analisar os conceitos fundamentais e os princípios da drenagem urbana. Compreender os processos hidrológicos envolvidos na drenagem pluvial. Investigar as principais técnicas e tecnologias utilizadas na gestão da drenagem urbana.
- Estudar as normas e legislações vigentes relacionadas ao tema: Analisar as leis, regulamentos e diretrizes relacionadas à drenagem urbana em vigor na cidade de Bacabal e em nível nacional. Compreender as obrigações legais e os critérios técnicos que devem ser considerados no planejamento e na execução de sistemas de drenagem.
- Analisar a situação atual da drenagem urbana na cidade: Identificar e avaliar os problemas existentes relacionados à drenagem pluvial em Bacabal. Investigar as áreas mais afetadas por alagamentos, inundações ou outros eventos relacionados à drenagem

inadequada. Avaliar a capacidade e a eficiência dos sistemas de drenagem existentes na cidade.

- Propor soluções adequadas aos sistemas existentes: Desenvolver alternativas de soluções para os problemas identificados, levando em consideração as características específicas da cidade de Bacabal. Apresentar diferentes opções de tecnologias e práticas de drenagem que sejam apropriadas para a realidade local. Avaliar as vantagens e possíveis desvantagens das soluções propostas em termos de eficiência, custos, impacto ambiental e benefícios para a comunidade.

Ao alcançar esses objetivos, espera-se contribuir para a melhoria da drenagem pluvial em Bacabal, proporcionando uma redução dos problemas enfrentados pela população durante os períodos chuvosos. Além disso, busca-se garantir a conformidade com as normas e legislações vigentes, promovendo uma abordagem mais sustentável e eficiente para a gestão da drenagem urbana na cidade.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Tendo em vista o atual cenário estrutural e populacional em que se encontra a cidade de Bacabal, é de fácil entendimento que os sistemas de drenagem pluvial existentes se encontram aquém da capacidade necessária atualmente. No decorrer deste tópico, será abordada a temática da drenagem urbana, seus elementos e legislação, bem como, serão expostos os dados referentes à atual conjuntura da cidade e a evolução do crescimento populacional verificado na mesma.

### **2.1 Drenagem urbana**

Quando se fala em drenagem urbana, é possível defini-la como um conjunto de medidas e técnicas que são utilizadas em centros urbanos com o intuito de gerenciar a água proveniente das chuvas, bem como a mesma visa minimizar os impactos negativos causados por enchentes e inundações, fazendo com que seja preservada a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, os processos relacionados à drenagem urbana incluem a coleta, transporte, armazenamento, tratamento e disposição final das águas pluviais. Da mesma forma, existem os elementos que compõem os sistemas de drenagem, como por exemplo as galerias, bueiros, canais e reservatórios.

Ademais, a drenagem pluvial também envolve o planejamento e a gestão territorial para a ocupação adequada das áreas urbanas e a utilização do escoamento superficial. Em contraponto a isso, a falta desses aspectos pode causar graves problemas, como enchentes,

alagamentos, deslizamentos de encostas, erosões, poluição das águas, ou mesmo danos às construções e à infraestrutura urbana.

Assim, o gerenciamento das águas pluviais nas áreas urbanas, leva em consideração o ciclo da água na superfície terrestre, bem como os avanços tecnológicos nas práticas e técnicas atualmente utilizadas, em decorrência do desenvolvimento da compreensão sobre o recurso hídrico. O objetivo principal da drenagem urbana consiste em remover o escoamento das águas pluviais o mais rapidamente possível das áreas urbanas, a fim de prevenir danos à cidade e garantir que não haja impactos negativos nos corpos d'água, que são os receptores dessas águas pluviais, conforme a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Portanto, assim como discorre Tucci (2016), a drenagem e o gerenciamento das águas pluviais urbanas englobam uma série de ações relacionadas à infraestrutura e às instalações necessárias para controlar o escoamento das águas da chuva. Isso inclui o transporte e o armazenamento temporário das águas pluviais, visando a redução do volume e do fluxo das enchentes.

De acordo com Tucci (2012), os elementos institucionais necessários para que a gestão da drenagem urbana dentro da cidade seja implantada vão desde a criação de uma legislação para controle dos impactos devido ao desenvolvimento sobre o sistema de rios urbanos, como o gerenciamento municipal para drenagem urbana e controle dos impactos. Estes elementos estão relacionados ao plano diretor de drenagem urbana, que pode ser definido como um instrumento de gestão das águas pluviais na cidade, onde são expostas as medidas legais para controlar os impactos existentes e futuros na drenagem urbana.

Segundo Canholi (2014), o processo de expansão das áreas urbanas, assim como o aumento da impermeabilização do solo, ocorreu inicialmente nas regiões mais baixas, próximas às margens dos rios, e posteriormente se estendeu em direção às áreas montanhosas. A questão da drenagem também envolve a alocação adequada de espaços, incluindo a remoção de áreas inundáveis, o que implica em sua transferência para áreas a jusante. O mesmo ocorre com a perda de áreas de infiltração devido às infraestruturas urbanas, resultando na formação de extensas áreas impermeáveis.

Conforme afirma Cardoso Neto (2014), o escoamento superficial passa por mudanças significativas, pois desde a fase inicial de implantação de uma cidade, o desmatamento e a remoção de faixas de solo resultam em aumento dos picos e volumes de fluxo de água, o que leva à erosão do solo. Se o subsequente desenvolvimento urbano ocorrer de maneira desorganizada, esses efeitos se agravam com o acúmulo de sedimentos em canais e galerias, reduzindo a capacidade de escoamento de água em excesso. Além disso, a ineficiência na coleta

de lixo, juntamente com o comportamento indisciplinado da população, resulta no entupimento de bueiros e galerias. Em decorrência disto, ao se elaborar um plano diretor, é fundamental levar em conta que a drenagem é um fenômeno que requer abordagens em nível regional, tendo como unidade de gestão a bacia hidrográfica.

Os desafios relacionados ao controle de inundações são resultados diretos do aumento dos níveis máximos das enchentes, ocasionado pela intensificação do escoamento superficial devido à densidade das construções e à consequente impermeabilização da superfície. Além disso, os tempos de concentração e de recessão também são reduzidos, contribuindo para agravar esses problemas, como também descreve Cardoso Neto (2014).

As medidas adotadas para o controle de enchentes em áreas próximas a córregos proporcionam soluções localizadas, reduzindo os danos na área afetada. No entanto, devido à transferência de vazão, os problemas passam a se concentrar rio abaixo. Os sistemas de drenagem urbana possuem fundamental importância na alocação de espaços, pois a urbanização resulta na supressão das áreas alagáveis utilizadas pelos rios durante as cheias. No entanto, essas áreas alagáveis continuarão sendo necessárias rio abaixo, o que acarreta sérias consequências, como inundações e erosão, devido ao aumento do fluxo de água gerado pela canalização, de acordo com Canholi (2014).

### 2.1.1 Macrodrenagem

A macrodrenagem é uma importante área de estudo e atuação dentro do campo do saneamento e da gestão urbana, que se refere ao conjunto de medidas e infraestruturas necessárias para o manejo e controle das águas pluviais em larga escala, visando evitar inundações e minimizar os impactos causados por eventos climáticos intensos. O principal objetivo da macrodrenagem é o gerenciamento eficiente do escoamento das águas pluviais em áreas urbanas. Isso envolve a criação de sistemas de captação, transporte, tratamento e disposição final das águas de chuva, de forma a garantir a segurança e o bem-estar da população, além de proteger o meio ambiente.

Um dos desafios da macrodrenagem é lidar com o crescimento urbano acelerado e desordenado, que muitas vezes resulta na impermeabilização excessiva do solo. A pavimentação de ruas, construção de edifícios e outras estruturas urbanas reduzem a capacidade de absorção natural do solo, aumentando a quantidade de água que precisa ser drenada de forma artificial. Nesse sentido, a macrodrenagem busca adotar soluções sustentáveis e integradas, que priorizem a infiltração da água no solo, a retenção temporária em reservatórios e a utilização de técnicas de drenagem sustentável. A implantação de áreas verdes, a construção de bacias de

detenção, a utilização de pavimentos permeáveis e a criação de parques lineares são exemplos de medidas que podem ser adotadas para promover a sustentabilidade na macrodrenagem.

No planejamento da macrodrenagem, é necessário adotar uma abordagem sistêmica, que visa garantir o escoamento adequado das águas superficiais. Isso envolve a implementação de estruturas como galerias, canais e rios de grande porte. A fim de evitar um estado caótico no controle de enchentes, é essencial realizar ações integradas que abranjam toda a bacia hidrográfica, independentemente de estar localizada em um ou vários municípios, segundo afirma Gabriel (2020).

De acordo com Tucci (2008), as áreas urbanas são predominantemente espaços destinados ao consumo e moradia, podendo apresentar diversas dimensões ou integrações, como é o caso das regiões metropolitanas. O mundo está passando por um processo crescente de urbanização devido ao desenvolvimento econômico, o que gera pressão sobre o ambiente ocupado pelas cidades. Esse processo de urbanização está diretamente ligado ao crescimento econômico, à mudança nos perfis de renda e à concentração de empregos nos setores de serviços e indústria, em detrimento da agricultura. Com a urbanização, é comum que a taxa de natalidade diminua devido a diversos fatores sociais.

### 2.1.2 Microdrenagem

A microdrenagem é uma área fundamental no contexto do saneamento básico e da infraestrutura urbana, responsável pelo gerenciamento das águas pluviais em escala localizada. Abrange um conjunto de medidas e técnicas voltadas para a captação, condução e destinação adequada das águas de chuva em áreas urbanas. Evitar problemas como enchentes, alagamentos e erosão do solo, que podem causar danos à infraestrutura urbana e afetar a qualidade de vida da população, é fundamental. Para isso, são adotadas diversas soluções, incluindo a construção de redes de drenagem pluvial, galerias, canais, bueiros, caixas de retenção e outros dispositivos de captação e condução das águas pluviais.

Dito isso, a mesma também engloba o planejamento e a implementação de medidas de drenagem sustentável, que visam reduzir o impacto negativo do escoamento superficial e promover a recarga de aquíferos, a infiltração da água no solo e o uso eficiente dos recursos hídricos. Nesse sentido, técnicas como a construção de áreas permeáveis, jardins de chuva, valas de infiltração e pavimentos permeáveis são cada vez mais utilizadas para minimizar os efeitos das chuvas intensas e contribuir para a sustentabilidade urbana.

Logo, é importante ressaltar que a microdrenagem está intimamente ligada à ocupação e ao desenvolvimento urbano. À medida que as cidades crescem e se expandem, a

impermeabilização do solo e o aumento da área urbanizada resultam em maior volume de água a ser drenada. Portanto, o planejamento adequado da microdrenagem se torna essencial para garantir o correto funcionamento do sistema de drenagem pluvial, evitando transtornos e prejuízos para a comunidade.

No entanto, conforme menciona Tucci (2012), com o rápido processo de urbanização ocorrido após a década de 1970, os problemas relacionados a inundações na drenagem urbana começaram a surgir, e os municípios não possuíam a capacidade técnica necessária para resolvê-los. A prática da microdrenagem foi aplicada também à macrodrenagem, resultando em efeitos destrutivos e economicamente insustentáveis. Isso ocorre porque a velocidade de escoamento da água pluvial aumentou consideravelmente, assim como a distância percorrida.

Diante desse contexto, é fundamental atualizar os conhecimentos e as práticas relacionadas à drenagem urbana. É necessário adotar abordagens mais abrangentes e sustentáveis, que considerem o planejamento integrado de micro e macrodrenagem, assim como a preservação de áreas permeáveis e o uso de técnicas de retenção e infiltração. Somente dessa forma será possível promover uma gestão adequada das águas pluviais nas cidades, mitigar os impactos das inundações e garantir um ambiente urbano mais resiliente e sustentável.

## **2.2 Saneamento básico**

Como já abordado anteriormente, existem processos relacionados à drenagem urbana, que incluem a coleta, transporte, armazenamento, tratamento e disposição final das águas pluviais. No Brasil, esses processos podem ser regulados pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Segundo a referida lei, a drenagem urbana pode ser tratada como o conjunto de ações, infraestruturas e serviços que tem como objetivo garantir a adequada disposição das águas pluviais urbanas, visando a prevenção de inundações e a preservação da qualidade ambiental.

A mesma afirma, ainda, que os municípios devem elaborar planos de drenagem urbana em consonância com os planos diretores municipais e com as normas técnicas e padrões de qualidade estabelecidos pelos órgãos reguladores, visando à melhoria da qualidade de vida da população e à preservação do meio ambiente.

Desse modo, o Art. 33 do plano diretor da cidade trata do gerenciamento da rede hídrica no território municipal, objetivando o equilíbrio sistêmico de absorção, retenção e escoamento das águas pluviais, devendo o serviço público de drenagem urbana das águas pluviais do município objetivá-lo. Discorre, também, acerca de consórcios públicos que o município pode formar, visando à realização conjunta de ações de controle e monitoramento da

macrodrenagem das águas pluviais. Porém, o mesmo plano diretor, cita a elaboração de um Plano Setorial de Macrodrenagem, sendo um instrumento de planejamento que deve indicar intervenções estruturais, medidas de controle e monitoramento, além de definir critérios para o uso do solo compatível aos serviços de drenagem, considerando as bacias hidrográficas presentes na região.

De maneira análoga, o Art. 35 definidas as ações prioritárias no manejo das águas pluviais, dentre as quais se destacam: A implantação de medidas de prevenção contra inundações, incluindo controle de erosão, especialmente em movimentos de terra, controle de transporte e deposição de entulho e lixo, combate ao desmatamento e assentamentos clandestinos; além de investimentos na renaturalização e melhorias das calhas fluviais e na recuperação dos sistemas de macro e microdrenagem.

Conforme descreve, ainda, a lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil, define o saneamento como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais relacionadas aos seguintes aspectos: abastecimento de água potável, abrangendo desde a captação até as conexões prediais e os medidores correspondentes, bem como, o esgotamento sanitário, abrangendo a coleta, transporte, tratamento adequado e disposição final dos resíduos, desde as conexões prediais até a liberação final no meio ambiente.

A referida lei também discorre acerca da limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos, englobando a coleta, transporte, tratamento e destino final dos resíduos domésticos e provenientes da varrição e limpeza de ruas e espaços públicos, e ainda, sobre a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, incluindo atividades, infraestruturas e instalações para a drenagem de águas pluviais nas áreas urbanas, o transporte, retenção ou armazenamento para reduzir o impacto das cheias, além do tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas.

### **2.3 Bacia hidrográfica**

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma área geográfica delimitada por divisores de água, onde todas as águas que caem na forma de chuva ou outros tipos de precipitação são coletadas e escoam para um único ponto de saída, como um rio, lago ou oceano. São compostas por uma rede de rios e riachos interconectados, juntamente com seus afluentes, que coletam e transportam a água ao longo do terreno. Essa água pode ser proveniente de nascentes, chuvas ou lençóis freáticos, por exemplo.

Uma das características essenciais de uma bacia hidrográfica é sua delimitação natural, determinada pelos divisores de água, que são as elevações do terreno que separam as áreas de

drenagem. Esses divisores podem ser cordilheiras, montanhas ou até mesmo pequenas colinas. A água que cai dentro desses limites é coletada e escoada por meio de uma rede de cursos d'água, formando o sistema fluvial da bacia. Assim, estão presentes na gestão dos recursos hídricos, uma vez que todas as atividades humanas em uma determinada área afetam a qualidade e a disponibilidade da água. A ocupação do solo, a agricultura, a indústria e o crescimento urbano têm impacto direto na quantidade de água disponível e na qualidade dos ecossistemas aquáticos.

Além disso, são importantes para a conservação da biodiversidade e a preservação dos habitats aquáticos e terrestres. As mesmas fornecem água para irrigação agrícola, abastecimento público, geração de energia hidrelétrica, navegação e uma variedade de outras atividades econômicas. Conforme afirma Cardoso et al. (2006, apud Gabriel, 2020), a demarcação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais frequentes procedimentos realizados em análises hidrológicas ou ambientais. Para isso, é comum utilizar informações como o relevo, mapas e cartas topográficas, pois proporcionam confiabilidade e permitem a obtenção de resultados mais precisos e reproduzíveis.

Lopes (2007, apud Gabriel, 2020) apontam que a bacia hidrográfica pode ser definida como uma região delimitada topograficamente em torno de um ponto no curso de água, onde toda a vazão do escoamento pode ser medida ou liberada por meio desse ponto, chamado de exutório. Além disso, a bacia hidrográfica pode ser entendida como uma representação de uma unidade ecossistêmica na paisagem, envolvendo a integração dos ciclos naturais de energia, nutrientes e água.

A área desempenha um papel fundamental na caracterização da bacia, pois permite avaliar o potencial de escoamento, o qual é estimado com base na espessura da lâmina de água da chuva em milímetros. A área da bacia pode ser expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) e pode ser obtida por meio de mapas topográficos ou por cálculos a partir de mapas digitalizados, utilizando ferramentas computacionais de SIG (Sistemas de Informações Geográficas). Adicionalmente, é importante ressaltar que uma espessura de 1 mm corresponde à precipitação de 1 litro de água em uma superfície plana e impermeável de 1m<sup>2</sup> de área:  $1\text{L}/\text{m}^2$  ( $1\text{dcm}^3/100\text{dcm}^2$ ) = 0,1cm = 1mm, de acordo com Carvalho e Silva (2006, apud Gabriel, 2020).

Conforme afirma Porto et al. (1999, apud Gabriel, 2020), o comprimento axial é um atributo utilizado para estimar a forma da bacia hidrográfica, sendo baseado na medida do curso principal do rio, desde o seu ponto mais distante, ou entrada, até a sua saída. Essa medida desconsidera os meandros, que são as curvas acentuadas do rio que podem ser ocupadas pelas águas durante períodos de cheias.

Ainda segundo Porto et al. (1999, apud Gabriel, 2020), a inclinação do terreno é um aspecto relevante na caracterização física da bacia hidrográfica, uma vez que influencia a velocidade do escoamento da água. Quanto maior a inclinação, maior será a velocidade do fluxo e menor será o tempo de concentração da água. A declividade é calculada ao dividir a diferença de altitude entre o ponto mais alto e o mais baixo do curso de água pelo comprimento desse curso. Este é um dos fatores essenciais que influenciam o tempo de escoamento da água superficial e a concentração das chuvas, sendo diretamente relacionada às enchentes. Quanto maior for a inclinação, maior será a variação das vazões instantâneas na bacia em questão. Uma das formas de calcular a inclinação média do terreno da bacia é aplicar uma grade quadrada sobre o mapa planialtimétrico da área.

Ao lidar com a estimativa das chuvas de projeto e dos picos de vazão, um dos principais desafios é determinar os tempos de concentração nas bacias e sub-bacias hidrográficas. O tempo de concentração ( $t_c$ ) é o período necessário para que a água da precipitação flua do ponto mais distante da bacia até o exutório ou ponto de controle.

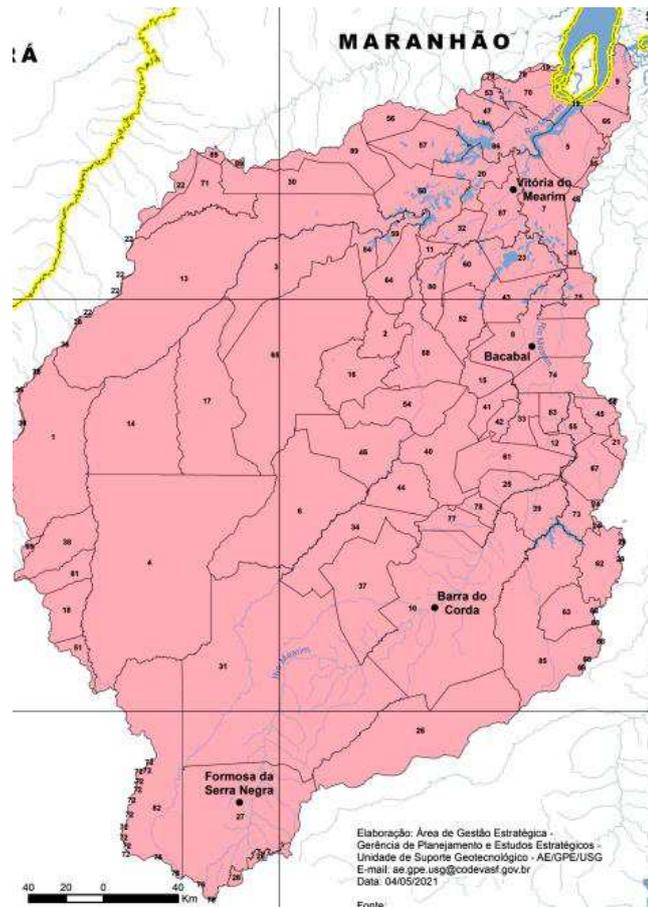
Portanto, as mesmas são vitais na gestão dos recursos hídricos e na manutenção dos ecossistemas aquáticos. A compreensão de sua estrutura e funcionamento é essencial para o desenvolvimento sustentável e a preservação dos recursos naturais, bem como, a implementação de práticas de manejo integrado e conservação em bacias hidrográficas é fundamental para garantir a disponibilidade de água de qualidade.

### 2.3.1 A bacia do Mearim

A bacia hidrográfica do rio Mearim é a maior do Maranhão e ocupa 29,84% da área total do estado, o que corresponde aproximadamente a 99.058 quilômetros quadrados, em 83 municípios, que juntos somam 1.681.307 habitantes, o que representa 25,6% da população maranhense, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O rio Mearim, com 930 quilômetros de extensão, nasce na serra da Menina, entre os municípios de Formosa da Serra Negra, Fortaleza dos Nogueiras e São Pedro dos Crentes, com altitude que varia entre 400 e 500 metros aproximadamente, e deságua na baía de São Marcos, entre a capital São Luís e o município de Alcântara. Na foz do Mearim encontra-se a maior área contínua de mangues do país, uma área de aproximadamente 30 mil hectares, conhecida como ilha dos Caranguejos, segundo afirma a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf).

**Figura 1** - Representação dos municípios que compõem a bacia do Mearim.



Fonte: Codevasf (2020).

A cidade de Bacabal está situada no trecho correspondente ao Médio Mearim, que se situa entre a barra do rio das Flores e o Seco das Almas, localizados na região central do estado, tendo aproximadamente 180km de extensão.

**Figura 2** - Rio Mearim durante o período de cheias na cidade de Bacabal.



Fonte: Site Sua cidade (2023).

O rio Mearim, no ano de 2023, presenciou uma de suas maiores cheias não só dos últimos anos, como também historicamente. Segundo informado pela Prefeitura de Bacabal, o nível da água chegou à marca de 8,36m, no dia 29 de março de 2023, na região próxima ao

perímetro urbano da cidade. Segundo Cunha (2003), a profundidade média do rio varia de 1,50m a 2,00m, no trecho que corresponde ao Médio Mearim. Portanto, a análise desse cenário ressalta a importância de uma gestão integrada da drenagem urbana, que envolva não apenas ações emergenciais, mas também um planejamento estratégico a longo prazo.

#### **2.4 Índice pluviométrico e variação climática**

O índice pluviométrico é uma medida utilizada para quantificar a quantidade de chuva que ocorre em determinada região durante um determinado período de tempo. Pode ser expresso em milímetros e é uma das principais informações utilizadas no estudo e no monitoramento do clima e do ciclo hidrológico de uma área.

O registro e a análise do índice pluviométrico são de extrema importância para diversos setores, como a agricultura, a meteorologia, a gestão de recursos hídricos e, especialmente, para os estudos relacionados à drenagem urbana. Com base nessas informações, é possível compreender a frequência, a intensidade e a distribuição das chuvas em uma determinada região, auxiliando na previsão de eventos climáticos extremos, como enchentes e secas.

Os índices pluviométricos são obtidos por meio de estações pluviométricas, que são equipamentos responsáveis por medir a quantidade de chuva que cai em uma área específica. Os dados obtidos com as estações pluviométricas são coletados e registrados periodicamente, geralmente diariamente, e são compilados em séries históricas. A partir dessas séries históricas, é possível calcular médias mensais, anuais e até mesmo períodos maiores, como décadas ou séculos. Essas informações são valiosas para compreender padrões climáticos, identificar variações sazonais e realizar comparações entre diferentes períodos.

No contexto da drenagem urbana, o índice pluviométrico é utilizado para dimensionar as estruturas de drenagem e prever o escoamento das águas pluviais nas áreas urbanas. Com base nos dados pluviométricos, é possível determinar a capacidade de absorção do solo, a vazão máxima dos rios e canais, calcular a intensidade das chuvas e avaliar os riscos de enchentes e alagamentos. O mesmo pode, inclusive, ser utilizado para o desenvolvimento de modelos matemáticos e hidrológicos que simulam o comportamento das águas pluviais, auxiliando na elaboração de projetos de infraestrutura e na implementação de medidas de controle e gestão adequadas.

A variação climática refere-se às mudanças que ocorrem no clima de uma determinada região ao longo do tempo. Essas variações podem ser observadas em diferentes escalas, desde variações sazonais até alterações de longo prazo que ocorrem ao longo de décadas ou séculos.

O clima de uma região é influenciado por diversos fatores, como a radiação solar, a circulação atmosférica, as correntes oceânicas, a topografia e os padrões de precipitação. Alterações nesses elementos podem levar a mudanças significativas nas condições climáticas.

Nesse sentido, foram feitas pesquisas e análises dos dados referentes ao índice pluviométrico e às variações climáticas na cidade de Bacabal. Com relação ao primeiro, a quantidade de chuva total e acumulada nos meses de maior pluviosidade do ano de 2023, correspondem ao período de janeiro a abril, está representada na tabela a seguir:

**Tabela 1** - Quantidade de chuva, em milímetros, na cidade de Bacabal – MA, no ano de 2023.

<b>Meses</b>	<b>Total mensal (mm)</b>	<b>Acumulado (mm)</b>	<b>Nº de dias sem chuva</b>	<b>Nº de dias com chuva</b>
<b>Janeiro</b>	265,8	265,8	10	16
<b>Fevereiro</b>	237,2	503,0	8	16
<b>Março</b>	507,0	1010,0	6	20
<b>Abril</b>	232,6	1242,6	10	15
<b>Total</b>	1242,6	-	-	-

Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA).

Portanto, ao se analisar os dados disponíveis na tabela, é possível perceber que a maior pluviosidade ocorre no mês de março, que corresponde a praticamente o dobro do registrado nos outros meses do período mais com maior concentração de chuva no ano. Além disso, o mesmo representa, sozinho, algo em torno de 40,8% do total de chuvas desses quatro meses estudados.

Historicamente, a cidade de Bacabal possui um acumulado de 1133 mm de chuva entre os meses de janeiro e abril, segundo dados do Climatempo, utilizando como base os últimos 30 anos de medições, ou seja, esse acumulado é um pouco menor do que o registrado no ano de 2023. Além disso, no ano estudado houve uma concentração pluviométrica maior do que o percebido nos últimos anos. Isso se verifica na altura a qual o rio Mearim chegou no referido ano, como já foi abordado anteriormente.

## **2.5 Estudos e projetos relacionados à drenagem urbana**

No que tange à drenagem urbana, são inúmeros os desafios enfrentados pelas cidades em relação às inundações, alagamentos e outros problemas decorrentes do manejo inadequado das águas pluviais. A mesma abrange um conjunto de técnicas e medidas para gerenciar

eficientemente o escoamento das águas pluviais nas áreas urbanas, visando minimizar os impactos negativos e garantir a segurança e o bem-estar da população.

Com base nisso, os estudos e projetos acerca da drenagem urbana têm como objetivo principal desenvolver soluções sustentáveis e eficientes para o controle e a gestão das águas pluviais nas cidades. Englobam diversas etapas, desde a análise das características físicas e hidrológicas da região até o planejamento e a implementação de infraestruturas e medidas de controle. É de suma importância destacar alguns dos estudos e projetos relacionados à drenagem urbana, que é o foco principal do presente tópico, algo que será abordado a seguir.

### 2.5.1 Estudos hidrológicos

No âmbito dos estudos, são realizadas pesquisas e análises detalhadas sobre o comportamento das chuvas na região, levando em consideração dados climáticos históricos, padrões de precipitação, intensidade das chuvas, entre outros fatores. Essas informações são essenciais para dimensionar adequadamente as estruturas e sistemas de drenagem, bem como para prever e mitigar os riscos de enchentes e alagamentos.

Os estudos hidrológicos utilizam dados para planejar, projetar e operar sistemas de aproveitamento e controle dos recursos hídricos. Para alcançar esses objetivos, é necessário quantificar de forma confiável as variabilidades espaciais e temporais presentes nos fenômenos hidrológicos, como precipitação, escoamento, armazenamento, propriedades da água, transporte de sedimentos, entre outros fatores. Esses aspectos têm um impacto direto no controle das drenagens pluviais e exigem uma atenção específica para que o estudo leve em consideração todas as características distintas da região em análise, especialmente em relação às precipitações anuais e tempos de recorrência, de acordo com Naghettini e Pinto (2007, apud Gabriel, 2020).

A quantidade de chuva registrada, conhecida como precipitação pluviométrica, é um dos elementos climáticos que mostra uma grande variação ao longo do tempo e do espaço. Tanto o excesso quanto a falta de chuva podem causar danos significativos à produção agrícola e às áreas urbanas. A determinação do tamanho adequado das estruturas de drenagem superficial é realizada utilizando valores de chuvas de projeto, que são chuvas que ocorrem com frequência variando geralmente entre 5 e 100 anos. Para obter essas chuvas, é comum utilizar séries de máximas anuais observadas ao longo de um período superior a dez anos, e ajustar distribuições teóricas de probabilidade para estimar a chuva máxima com um determinado período de retorno ou probabilidade de ocorrência, segundo Back (2014, apud Gabriel, 2020).

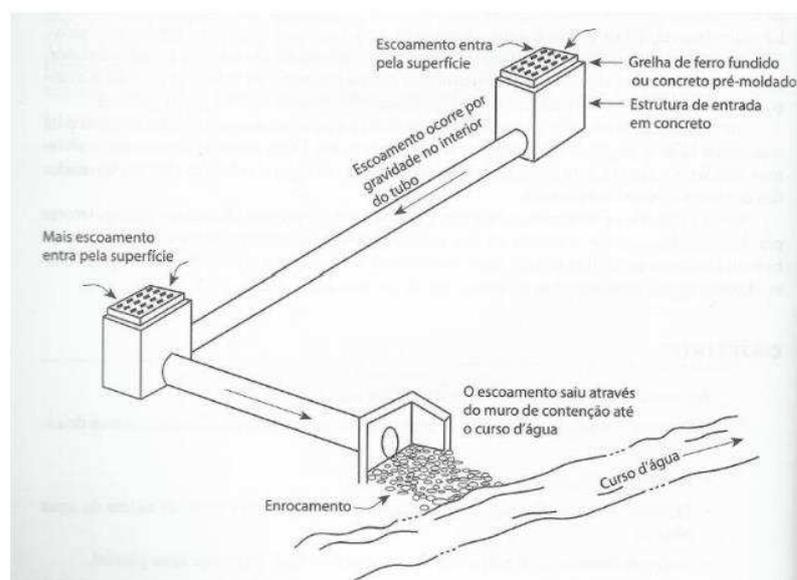
### 2.5.2 Estudos hidráulicos

Os sistemas de drenagem de águas pluviais nas áreas urbanas englobam todas as superfícies e canais responsáveis por direcionar as águas da chuva para os corpos d'água. Ao contrário das bacias permeáveis, onde a chuva é distribuída uniformemente no solo após a infiltração, as bacias urbanas refletem o impacto imediato da precipitação sobre o terreno, conforme afirma Gabriel (2020).

O mesmo autor destaca que a coleta eficiente do fluxo de água durante chuvas intensas é essencial para o adequado funcionamento do sistema de drenagem pluvial. Durante picos de chuva, grandes quantidades de água são direcionadas para o sistema de drenagem, sendo necessário escoá-las para evitar que a lâmina de água nas vias urbanas ultrapasse os limites de drenagem e cause alagamentos em calçadas e residências.

Já para Gribbin (2013), o pré-dimensionamento das estruturas que compõem o sistema de coleta de águas pluviais envolve alguns componentes cruciais, como as estruturas de entrada, a tubulação e o muro de contenção, conforme ilustrado na figura 4 abaixo. A estrutura de entrada é projetada para receber o fluxo de água proveniente das chuvas no sistema de coleta, a tubulação conduz as águas pluviais em direção a um corpo receptor e o muro de contenção permite a saída das águas pluviais do sistema.

**Figura 3 - Sistema coletor pluvial.**



Fonte: Gribbin (2013).

A seleção adequada da tubulação é um aspecto crucial em um projeto de drenagem pluvial, onde é necessário escolher um diâmetro e declividade que sejam capazes de acomodar a vazão projetada. É imprescindível que a capacidade de escoamento estabelecida no projeto seja plenamente atendida pela tubulação durante a implementação do sistema. No planejamento

de um trecho de tubulação, é fundamental levar em consideração o fator de velocidade de escoamento. É essencial encontrar um equilíbrio para evitar que a velocidade seja muito baixa, o que poderia resultar no acúmulo de detritos ao longo da tubulação. Ao mesmo tempo, é importante evitar uma velocidade excessivamente alta.

Na prática da engenharia, são seguidas algumas diretrizes básicas para selecionar os diâmetros mínimos das tubulações de drenagem. Algumas leis municipais estabelecem diâmetros mínimos de 300mm, visando prevenir obstruções e facilitar a manutenção. Além disso, é recomendado que cada trecho de tubulação tenha um diâmetro igual ou superior ao trecho anterior, como medida preventiva contra obstruções, segundo também afirma Gribbin (2013).

### 2.5.3 Projetos hidráulicos

A partir dos estudos, são elaborados os projetos que contemplam a implementação de medidas como sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais, pavimentos permeáveis, áreas verdes e parques lineares, canais de drenagem, bacias de retenção, entre outros. Essas soluções visam reduzir a quantidade e a velocidade do escoamento das águas pluviais, permitindo sua infiltração no solo e sua retenção temporária, de forma a evitar sobrecargas nos sistemas de drenagem e minimizar os impactos negativos.

Os projetos hidráulicos envolvem várias etapas, desde a análise do local da construção até a fase de implementação. Entre essas etapas, podemos mencionar: levantamento topográfico, reconhecimento do local, regulamentos sobre uso e ocupação do solo local, e relatórios ou projetos de engenharia relacionados. A realização do levantamento topográfico é essencial para a elaboração dos projetos de drenagem e também para compreender as áreas de escoamento, a fim de calcular o fluxo ou realizar análises.

Gribbin (2013), ao contar com um mapeamento detalhado do sistema e a delimitação das áreas de contribuição, afirma que é possível avaliar se os diâmetros das tubulações instaladas atendem à demanda prevista para a região. Além disso, é necessário considerar cuidadosamente a seleção dos corpos d'água ou córregos como pontos de descarga das águas pluviais coletadas, garantindo que ocorra de forma segura, sem causar danos por erosão ou inundação.

As águas de superfície provenientes de uma bacia hidrográfica no contexto da drenagem urbana demandam medidas de controle que visam conciliar as necessidades de crescimento do espaço urbano com as funções desempenhadas pelos elementos naturais da bacia no ciclo hidrológico. Essas funções incluem a capacidade de transporte e armazenamento

dos canais, a capacidade de retenção das áreas deprimidas, a permeabilidade do solo, a cobertura vegetal e o armazenamento das áreas alagáveis, segundo Stefani et al. (2005, apud Gabriel, 2020).

Tucci (2008) afirma que os principais desafios enfrentados no contexto das medidas de controle das águas de drenagem estão relacionados à busca pela melhor opção que se adeque às características locais, seja por meio de medidas estruturais ou não estruturais. As medidas estruturais referem-se à implementação de obras com o objetivo de corrigir ou prevenir problemas relacionados à drenagem. Por outro lado, as medidas não estruturais envolvem a regulamentação do uso do solo, a implementação de sistemas de alerta e a manutenção dos dispositivos de drenagem.

Segundo Vargas et al. (2008, apud Gabriel, 2020), a análise das chuvas intensas é importante para encontrar soluções adequadas para problemas de enchentes. No entanto, é por meio do estudo dos processos hidrológicos que são definidas as ações concretas a serem tomadas.

Portanto, ao lidar com os impactos das cheias, é necessário levar em consideração os seguintes aspectos:

- Bacias de pequeno porte, onde se concentra a área impermeabilizada;
- Aumento do pico e antecipação da ocorrência;
- Aumento do volume do escoamento superficial;
- Diminuição da evaporação e da recarga subterrânea;
- Aumento da poluição de origem pluvial;
- Aumento da produção de sedimentos.

## **2.6 Manutenção dos sistemas de drenagem**

A manutenção e desobstrução de bueiros e bocas de lobo devem ser realizadas regularmente, levando em consideração as condições climáticas tanto em períodos secos quanto chuvosos. Isso se deve ao fato de que tanto a chuva quanto o vento podem causar obstruções nesses locais devido ao acúmulo de resíduos, como plásticos, papéis, recipientes descartáveis e até mesmo folhas e pequenos galhos provenientes de árvores, de acordo com o Manual de drenagem e manejo de águas pluviais da Prefeitura de São Paulo (2012).

De acordo com o mesmo manual, o objetivo principal do serviço de manutenção é garantir que o sistema de drenagem esteja sempre apto a receber, transportar, armazenar e tratar as águas pluviais, a fim de minimizar os riscos de falhas, inundações e a poluição da água na área em questão. Dessa forma, a manutenção pode ser compreendida como um conjunto de

ações que visam assegurar as condições operacionais estabelecidas para o sistema de drenagem, com o intuito de reduzir os riscos de falhas e mau funcionamento. Isso abrange a manutenção adequada das bocas de coleta, poços de visita e tubulações, que foram dimensionados previamente.

A manutenção é geralmente dividida em três práticas básicas, conforme descrito no Manual de drenagem e manejo de águas pluviais da Prefeitura de São Paulo (2012):

- Manutenção corretiva: consiste em intervir após a ocorrência de possíveis falhas no sistema, inclusive após seu funcionamento, como no caso da necessidade de limpeza dos reservatórios de detenção após eventos de chuva.

- Manutenção preventiva: é uma intervenção programada que tem como objetivo manter o sistema de drenagem disponível quando necessário, evitando falhas e problemas futuros.

- Manutenção preditiva: permite garantir a qualidade desejada do funcionamento do sistema de drenagem por meio de análises e supervisões sistemáticas. O objetivo é reduzir as manutenções corretivas e preventivas, tornando a manutenção preditiva uma técnica de gerenciamento do sistema de manutenção.

Além das práticas de manutenção mencionadas, os sistemas de drenagem urbana também incluem os serviços de conservação e manutenção. Esses serviços englobam atividades de inspeção, limpeza e reparo dos componentes do sistema de drenagem, seguindo o Plano de Manutenção. Esse plano é elaborado com base em rotinas e procedimentos aplicados regularmente nos equipamentos do sistema.

Ainda segundo o Manual de drenagem e manejo de águas pluviais da Prefeitura de São Paulo (2012), as atividades de inspeção, limpeza e manutenção serão realizadas em diversos componentes, incluindo:

- Sarjetas;
- Bocas de lobo, bueiros e galerias;
- Canais abertos e fechados;
- Reservatórios de armazenamento;
- Equipamentos eletromecânicos, como bombas, painéis eletrônicos, tubulações e comportas, entre outros.

**Quadro 1** – Manutenção de sistemas de drenagem.

<b>Estrutura</b>	<b>Rotina</b>	<b>Frequência Mínima</b>
<b>Sarjetas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inspeccionar os pontos de acesso bem como a superfície na área dos pontos de acesso;</li> <li>-Inspeccionar revestimento das estruturas para determinar quaisquer danos e deteriorações;</li> <li>-Procurar por obstruções causadas por acúmulo de resíduos e sedimentos.</li> </ul>	A cada 60 dias.
<b>Bocas de lobo, bueiros, galerias e canais abertos e fechados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inspeccionar os pontos de acesso bem como a superfície na área dos pontos de acesso;</li> <li>-Inspeccionar revestimento das estruturas para determinar quaisquer danos e deteriorações;</li> <li>-Procurar por obstruções causadas por acúmulo de resíduos e sedimentos.</li> </ul>	A cada 60 dias.
<b>Reservatórios de armazenamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inspeccionar o revestimento do reservatório para determinar quaisquer danos e deteriorações;</li> <li>-Verificar se ocorre acúmulo de detritos ou decomposição anaeróbia no reservatório;</li> <li>-Inspeccionar grades de retenção de resíduos para garantir que estão livres de detritos e lixo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nos períodos de estiagem inspeccionar mensalmente. Durante o período chuvoso, as inspeções deverão ser quinzenais ou imediatamente após a ocorrência de evento chuvoso.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de São Paulo (2012).

Em suma, é de responsabilidade do poder público municipal estabelecer uma entidade responsável pela manutenção, que esteja pronta para responder prontamente a qualquer evento

ou problema que surja nas estruturas e equipamentos do sistema de drenagem, assim como afirma Gabriel (2020).

## **2.7 Sustentabilidade e urbanização**

O conceito de desenvolvimento sustentável busca encontrar soluções e oportunidades para satisfazer as necessidades humanas sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias demandas. Esse enfoque abrange diferentes dimensões, incluindo aspectos sociais, econômicos e ambientais.

O crescimento urbano tem ocasionado não apenas o aumento significativo da canalização de rios e córregos, mas também a formação de extensas áreas cobertas por superfícies impermeáveis, como asfalto, calçadas e estacionamentos. Essas áreas urbanizadas apresentam uma taxa de infiltração bastante reduzida, muitas vezes inferior a 10%. Essa situação agrava os desafios relacionados ao escoamento de água na superfície, já que a ausência de um sistema adequado de drenagem resultará em frequentes episódios de alagamento nessas regiões, de acordo com Gabriel (2020).

Os pavimentos permeáveis oferecem uma solução para a captação da água da chuva no local em questão. Esses dispositivos de infiltração redirecionam o escoamento da água superficial através de uma superfície permeável para um reservatório de pedras localizado na superfície do terreno. Esses pavimentos desempenham um papel importante no controle do volume e do fluxo da água superficial, além de promoverem a recarga das águas subterrâneas quando ocorre a infiltração no solo. São especialmente adequados para áreas com baixo tráfego, como estacionamentos, calçadas, praças e quadras esportivas, conforme trata Agostinho e Poletto (2012, apud Gabriel, 2020). A temática dos pavimentos permeáveis será tratada mais a frente, no presente trabalho.

De acordo com Tucci (2016), com o processo de urbanização, a chuva cai sobre áreas impermeáveis, resultando em um aumento do escoamento superficial e da velocidade de movimento através de canais e tubulações, o que reduz a capacidade de infiltração e a evapotranspiração. Esse processo leva a um aumento no fluxo de enchentes e no volume de água na superfície do terreno. O aumento na vazão média de enchentes em uma bacia hidrográfica totalmente urbanizada é cerca de seis a sete vezes maior em comparação com o escoamento em condições rurais na mesma bacia.

Após a ocorrência dos impactos, a implementação de medidas estruturais na macrodrenagem das cidades é realizada, resultando em altos custos para o poder público. Nesse contexto, é possível intervir no conjunto do saneamento básico, incluindo o esgotamento

sanitário, a drenagem e os resíduos sólidos, seguindo os princípios de gestão das águas urbanas. É necessário estabelecer um limite para a vazão máxima de saída das propriedades privadas para a rede pública, levando em consideração um valor máximo pré-determinado com base nas condições naturais existentes. Dessa forma, o desenvolvimento urbano não resultará em um aumento da vazão máxima para áreas abaixo devido à urbanização. A definição da vazão máxima permitida tem o objetivo de evitar que as propriedades transfiram para a rede pública de drenagem os impactos causados pela urbanização, ainda segundo Tucci (2016).

## 2.8 Estruturas que podem auxiliar a drenagem urbana

Existem algumas medidas que podem ser aplicadas em sistemas de drenagem já existentes, com o emprego de estruturas que auxiliem a drenagem e o escoamento das águas pluviais, assim como outras medidas envolvendo as estruturas locais, como pavimentação na via de tráfego e calçadas, por exemplo, as quais podem proporcionar uma alternativa ao encaminhamento do fluxo da água em relação aos sistemas de drenagem, proporcionando, assim, uma alternativa de escape para a água. Assim sendo, a seguir tem-se soluções que podem vir a ser aplicadas em alguns casos.

### 2.8.1 Jardim de chuva

Os jardins de chuva, que também são conhecidos como jardins de infiltração, representam uma solução sustentável para o gerenciamento de águas pluviais em áreas urbanas. Os mesmos são projetados para ajudar a reduzir o escoamento superficial das águas da chuva, minimizando problemas de enchentes e melhorando a qualidade da água. Na figura a seguir, é possível ver a aplicação de um jardim de chuva:

**Figura 4** - Exemplo de jardim de chuva.



Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro (2021).

Primeiramente, são estruturas que consistem em áreas ajardinadas, geralmente localizadas em terrenos inclinados ou próximo a superfícies impermeáveis, como calçadas. A principal função dos jardins de chuva é permitir que a água da chuva seja coletada e infiltrada no solo de forma gradual, em vez de ser direcionada diretamente para os sistemas de drenagem pluvial. Os mesmos são construídos em níveis, com diferentes camadas de materiais permeáveis, como solo, cascalho e areia, que ajudam a filtrar e reter as impurezas presentes na água da chuva.

A água da chuva que é coletada pelos jardins de chuva passa por um processo de filtração natural, no qual as impurezas e sedimentos são retidos, ajudando a melhorar a qualidade da água antes de ser absorvida pelo solo ou escoada para os lençóis freáticos. Isso contribui para a redução da poluição dos corpos d'água e para a preservação dos recursos hídricos.

Em suma, os jardins de chuva são uma solução de baixo custo e baixa manutenção, que pode ser integrada ao planejamento urbano e aos projetos de infraestrutura, contribuindo para a sustentabilidade das cidades.

### 2.8.2 Concregrama

Concregrama, também conhecido como pavimento permeável de concreto ou pavimento ecológico, consiste em uma estrutura de concreto para aplicação como opção em relação às calçadas tradicionais, com uma grande quantidade de vãos livres, nos quais é cultivado um tipo de vegetação. A seguir, tem-se o procedimento de execução do concregrama:

**Figura 5** - Execução de concregrama.



Fonte: OterPrem (2023).

A vegetação mencionada fica protegida devido ao certo nível de elevação da estrutura, e mantêm o solo drenando água, constituindo, assim, uma medida para reduzir a elevada quantidade de água destinada aos elementos de drenagem nas proximidades do local em questão.

Esse tipo de estrutura é uma solução inovadora utilizada na pavimentação de áreas urbanas, que consiste em um tipo de pavimento que permite a infiltração da água da chuva no solo, ajudando a reduzir problemas de drenagem e contribuindo para a preservação dos recursos hídricos. Ao contrário dos pavimentos convencionais, que são impermeáveis e direcionam a água da chuva para os sistemas de drenagem pluvial, o concregrama é projetado com uma superfície permeável, composta por blocos ou peças vazadas. Esses blocos possuem espaços entre si, que permitem a passagem da água, para ser posteriormente absorvida pelo solo ou armazenada em camadas de base permeáveis.

O concregrama é composto por uma mistura de agregados (como pedras, brita e areia) e cimento, que são compactados de forma a criar uma estrutura resistente, porém permeável. A espessura e a resistência do concregrama podem variar de acordo com o tráfego esperado e a finalidade do local onde será aplicado. Assim como nos jardins de chuva, a água da chuva infiltrada no solo ajuda a recarregar os lençóis freáticos, contribuindo para o equilíbrio do ciclo hidrológico e a sustentabilidade hídrica. Além disso, o concregrama auxilia no controle de enchentes, uma vez que permite a absorção da água em vez de direcioná-la para sistemas de drenagem sobrecarregados.

### 2.8.3 Piso permeável drenante

Esse tipo de piso tem como vantagem na sua utilização o fato de que na sua estrutura há pequenos vãos que permitem o escoamento e passagem da água e é normalmente aplicado em calçadas, contribuindo para evitar o alagamento. Esse tipo de aplicação consiste em uma solução prática e de grande viabilidade para a área estudada.

O piso permeável drenante é uma solução inovadora e sustentável para a pavimentação de áreas urbanas. Diferentemente dos pisos convencionais, que são impermeáveis e dificultam a absorção da água da chuva pelo solo, o piso permeável permite que a água escoe livremente, reduzindo problemas de enchentes e contribuindo para a gestão sustentável das águas pluviais. Está apresentado a seguir a imagem de um piso permeável drenante.

**Figura 6** - Exemplo de piso permeável drenante.



Fonte: Mevo do Brasil (2022).

Esse tipo de piso é projetado com materiais porosos ou com vazios estruturais que permitem a passagem da água, pode ser composto por diferentes materiais, como concreto poroso, blocos vazados, grades de concreto, brita, entre outros. A escolha do material depende das características e demandas do local onde será aplicado. Uma vantagem deste tipo de estrutura é a capacidade de absorver e infiltrar a água da chuva diretamente no solo. Isso evita o acúmulo de água na superfície, reduzindo o risco de enchentes e alagamentos. Além disso, a infiltração da água no solo ajuda a recarregar os lençóis freáticos, contribuindo para o equilíbrio do ciclo hidrológico e a preservação dos recursos hídricos.

No entanto, é importante ressaltar que o piso permeável drenante requer uma boa manutenção e limpeza periódica para garantir seu desempenho e funcionalidade ao longo do tempo. É necessário remover detritos, folhas e sedimentos que possam obstruir os vazios do piso e comprometer a sua capacidade de drenagem.

#### 2.8.4 Pavimento intertravado permeável

O pavimento intertravado pode proporcionar inúmeras vantagens no que diz respeito ao seu uso, aplicação, manutenção e auxílio à drenagem. A aplicação desse tipo de pavimento pode condicionar uma significativa redução no fluxo de água, combatendo a lentidão do processo de escoamento e drenagem da mesma, uma vez que esse tipo de pavimentação permite e facilita a passagem de água direto para o solo, de modo que a quantidade de águas pluviais direcionadas para os elementos de drenagem dos arredores do local estudado sejam reduzidas,

podendo até mesmo propiciar a possibilidade de redução de dimensões de determinados elementos de drenagem. É possível ver a aplicação do pavimento intertravado na imagem a seguir:

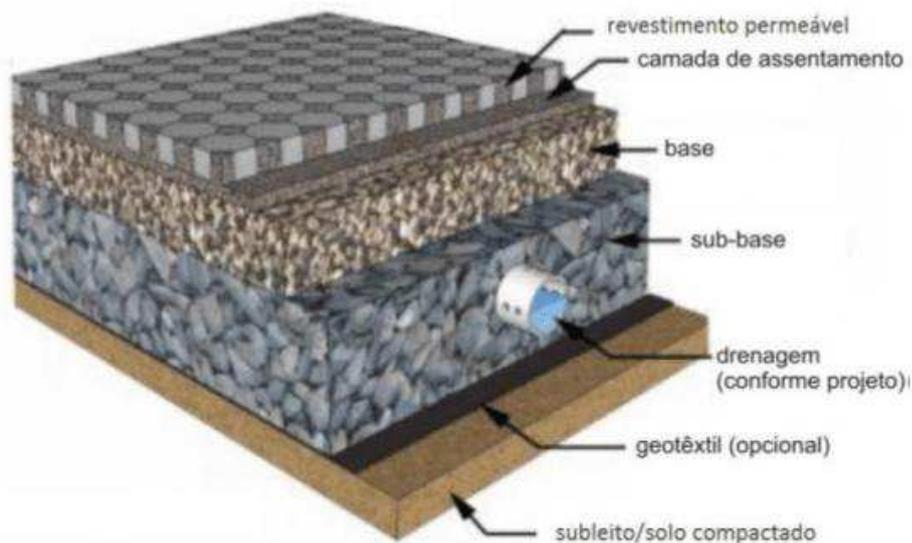
**Figura 7** - Exemplo de pavimento intertravado permeável.



Fonte: OterPrem (2023).

O mesmo se torna uma solução versátil e sustentável para a pavimentação de áreas urbanas. Consiste em blocos pré-moldados de concreto que se encaixam entre si, formando um sistema de pavimentação resistente e durável. Esses blocos são projetados com saliências e rebaixos que permitem o encaixe perfeito, evitando o deslocamento lateral das peças. Sua capacidade de distribuir as cargas de maneira uniforme, é uma de suas vantagens. A seguir, tem-se uma imagem representando as camadas de um pavimento intertravado permeável.

**Figura 8** - Camadas do pavimento intertravado permeável.



Fonte: Motta (2019, apud Mello, 2023).

Como os blocos são intertravados, os mesmos compartilham as forças aplicadas sobre a superfície, proporcionando uma distribuição eficiente das cargas, algo que resulta em maior resistência estrutural e redução do surgimento de deformações e fissuras. Além disso, o pavimento intertravado possui características permeáveis, o que significa que permite a infiltração da água da chuva no solo. Isso contribui para a gestão adequada das águas pluviais, evitando enchentes e ajudando a recarregar os lençóis freáticos. Essa capacidade de drenagem também ajuda a reduzir o acúmulo de poças de água na superfície.

Diferentemente do piso permeável drenante, o pavimento intertravado possui maior facilidade de manutenção. Caso ocorra algum problema em uma determinada área, é possível substituir apenas os blocos danificados, sem a necessidade de desfazer toda a pavimentação. Isso torna as intervenções mais rápidas, econômicas e menos impactantes.

### **3 METODOLOGIA**

No que tange a metodologia, a mesma é definida como um conjunto de técnicas e procedimentos que permitem a elaboração de uma pesquisa científica de forma sistemática e rigorosa, garantindo a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos. científica como um elemento fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, como destaca Demo (2006). Portanto, a importância de se estabelecer um planejamento adequado da pesquisa é fundamental, definindo os objetivos, as hipóteses, as variáveis a serem analisadas, além da estratégia metodológica para a coleta e análise dos dados.

O presente estudo de caso tem como ponto de partida, a partir da pesquisa bibliográfica relacionada a modelos de hidrografia, estruturas de drenagem e planejamento e gestão da drenagem urbana. Além disso, foram exploradas abordagens sustentáveis de projetos de drenagem, com ênfase na aplicação de pavimentos permeáveis. Para acessar dados relevantes disponíveis na plataforma da ANA - Agência Nacional de Águas, será realizado o mapeamento de uma bacia hidrográfica em uma carta topográfica, a fim de quantificar a área de drenagem e examinar os aspectos fisiográficos dessa bacia específica. Essa abordagem permitiu a obtenção de informações sobre as vazões máximas e médias no ponto de interesse.

Logo, o procedimento metodológico adotado ao longo do presente trabalho se dá a partir de um levantamento bibliográfico em periódicos, artigos científicos relacionados ao tema da pesquisa, bem como normas técnicas estabelecidas pela ABNT, além da legislação vigente, tanto no âmbito municipal, como também nacional. Em seguida, a análise e a comparação de dados disponibilizados por instituições que coletam e registram os mesmos, com o intuito de

interpretar o atual panorama da cidade, para a partir de então, definir de que modo os sistemas de drenagem urbana poderão vir a serem modernizados.

O nível de pesquisa adotado é do tipo exploratório, cujo objetivo principal é desenvolver conceitos e ideias a partir da formulação precisa de problemas e hipóteses relacionados ao objeto em estudo. Esse tipo de pesquisa envolve a realização de levantamento bibliográfico, análise documental e estudo de caso, proporcionando uma visão geral que se aproxima do possível fenômeno a ser investigado, conforme Gil (2008).

Portanto, a metodologia utilizada na elaboração deste trabalho se dá a partir da condução de uma pesquisa bibliográfica, na qual foram selecionados artigos científicos pertinentes ao tema em análise para a realização da revisão de literatura. Essa abordagem adotada é de natureza qualitativa e foi utilizada como fonte de dados as plataformas Google Acadêmico, SciELO, CAPES e Repositórios Institucionais de Universidades, com o objetivo de acessar os dados planejados e seguindo os delineamentos de estudo mencionados.

Com base nisso, os resultados que serão apresentados neste estudo sobre drenagem urbana envolvem a utilização de concregramas e pavimentos intertravados drenantes como técnicas de infraestrutura para o gerenciamento das águas pluviais. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, buscando compreender os princípios e benefícios dessas soluções. Em seguida, foram selecionadas áreas urbanas representativas para implantação dos sistemas mencionados. A análise dos resultados foi feita por meio de comparação com áreas de drenagem convencional, levando em consideração a capacidade de retenção de água e os custos de implementação e manutenção. Essa metodologia permite avaliar a viabilidade e eficácia dessas soluções sustentáveis na gestão da drenagem urbana, fornecendo informações valiosas para futuros projetos e intervenções nessa área.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Como o foco do presente trabalho se volta ao estudo acerca das propostas que podem ser colocadas em prática, visando a readequação dos sistemas existentes ao atual cenário urbano da cidade, este tópico tem como premissa, apresentar maneiras que visam solucionar os problemas causados pela insuficiência de drenagem pluvial em alguns pontos da cidade, com enfoque nos dois trechos já mencionados no presente trabalho.

#### 4.1 Panorama atual da cidade

Conforme mencionado anteriormente neste trabalho, a cidade de Bacabal está localizada na região geográfica do Médio Mearim e possui uma topografia plana, com altitudes que variam de 50 a 100 metros. Com relação ao clima, pode ser definido como sendo do tipo tropical, com chuvas concentradas, principalmente, no período de janeiro a abril, tendo uma estação de seca prolongada pelos meses seguintes. Segundo o registro de dados climáticos Climate-Data, a precipitação média registrada na cidade nos quatro meses mais chuvosos é de 283,25 mm, algo que por si só corresponde por cerca de 73% de toda a pluviosidade anual da cidade.

**Figura 9** - Localização do perímetro urbano da cidade de Bacabal - MA.



Fonte: Google Earth (2023).

Todavia, existe uma estação de tratamento de esgoto na cidade de Bacabal, onde também chegam algumas das águas pluviais captadas nos dispositivos de drenagem existentes e canalizadas a céu aberto, que está localizada no bairro Novo Bacabal, porém, a mesma se encontra inativa. Entretanto, as águas advindas dos sistemas de drenagem continuam sendo encaminhadas para este local.

**Figura 10** - Localização da estação de tratamento de esgoto de Bacabal - MA.



Fonte: Google Earth (2023).

A seguir, as figuras possibilitam visualizar alguns pontos por onde as águas pluviais passam atualmente. O primeiro, é localizado em um trecho da rua Firmino Neto, no centro da cidade. Já o segundo, mostra o ponto da BR-316, por onde a canalização corta a mesma.

**Figura 11** - Trecho da rua Firmino Neto.



Fonte: Google Earth (2022).

**Figura 12** - Boca de lobo na rua Magalhães de Almeida.



Fonte: Google Earth (2022).

Também é importante destacar que alguns dos sistemas de drenagem existentes podem estar entupidos ou mesmo danificados, como por exemplo, uma boca de lobo existente na rua Magalhães de Almeida, onde é possível observar a presença de lixo no local, o que atrapalha a execução plena da função da mesma.

**Figura 13** - Trecho da BR-316.



Fonte: Google Earth (2022).

Ao se analisar os dados disponibilizados pelo IBGE, com base na estimativa populacional da cidade no ano de 2021, percebe-se um aumento de pouco mais de 5.000 habitantes quando comparado com a população residente na cidade no último censo, que

ocorreu em 2010, e o mesmo correspondia a 100.014 pessoas. Em vista disso, ao se comparar com o decênio anterior, foi registrado um crescimento de aproximadamente 10.000 habitantes. Em decorrência desse aumento populacional e a crescente urbanização nas últimas décadas, é possível concluir que os sistemas de drenagem pluvial existentes na cidade já estão defasados, visto que os mesmos datam de mais de 30 anos.

## 4.2 Área de estudo

Nos meses mais chuvosos, a incidência de alagamentos é constante em vários pontos da cidade. Dentre eles, os que merecem maior destaque são: o cruzamento entre a rua Osvaldo Cruz e a av. Carlos Sardinha (Ponto 1) e o trecho da rua Magalhães de Almeida próximo à agência do Banco do Brasil (Ponto 2). As figuras a seguir, mostram imagens retiradas do Google Earth, utilizando a ferramenta Street View, destes pontos.

**Figura 14** - Cruzamento entre a rua Osvaldo Cruz e a av. Carlos Sardinha.



Fonte: Google Earth (2022).

**Figura 15** - Trecho da rua Magalhães de Almeida próximo à agência do Banco do Brasil.



Fonte: Google Earth (2022).

Na sequência, são apresentadas algumas imagens encontradas durante pesquisas na internet acerca de alagamentos que ocorreram nesses pontos, que mostram alguns dos trechos mencionados anteriormente durante períodos chuvosos.

**Figura 16** - Trecho da rua Osvaldo Cruz próximo ao cruzamento com a av. Carlos Sardinha.



Fonte: Reprodução de rede social (2017).

**Figura 17** - Trecho da rua Magalhães de Almeida próximo à agência do Banco do Brasil.



Fonte: Reprodução de rede social (2021).

Desse modo, é necessário se fazer a delimitação da área de estudo. Para tal, a mesma envolve a definição do perímetro que será abrangido pelo estudo, considerando os limites geográficos e as características da área em questão. No contexto da drenagem urbana, a delimitação da área de estudo deve levar em consideração alguns fatores importantes, como o tamanho da área urbana a ser analisada, considerando as características do município ou da região em estudo. No caso do trecho em questão, ele compreende cerca de 20 metros a partir do centro do cruzamento entre as duas ruas no ponto 1, e de aproximadamente 80 metros no ponto 2.

A partir dessa delimitação, é possível desenvolver estratégias e soluções adequadas para a gestão das águas pluviais, visando minimizar os impactos das enchentes e promover a sustentabilidade urbana. A seguir, são apresentadas as localizações dos dois pontos analisados no presente estudo.

**Figura 18** - Localização dos pontos de maior destaque para a incidência de alagamentos.



Fonte: Google Earth (2023).

### 4.3 Proposta de solução para o problema

Uma solução para os problemas de drenagem urbana percebido na cidade, seria a adoção de técnicas de drenagem sustentável, buscando correlacionar os sistemas de drenagem com os processos naturais de infiltração, armazenamento e evapotranspiração das águas advindas das chuvas. Essas técnicas incluem, por exemplo, a utilização de sistemas que auxiliem a drenagem das águas pluviais, conforme mencionado no referencial teórico do presente trabalho, como os jardins de chuva, os concregramas, os pavimentos permeáveis, ou ainda, os pisos permeáveis drenantes.

Então, é possível se utilizar de alguns desses sistemas nas áreas de estudo deste trabalho. No cruzamento entre a rua Osvaldo Cruz e a av. Carlos Sardinha, é possível se instalar concregramas e/ou pisos permeáveis drenantes nas calçadas próximas ao mesmo. Bem como, a substituição do pavimento existente, que pode ser da própria via como um todo ou apenas no trecho definido no tópico anterior, por um pavimento intertravado permeável, como é possível visualizar na imagem a seguir.

**Figura 19** - Tipo de pavimento intertravado permeável.



Fonte: Pavibloco (2019).

Em seguida, no trecho da rua Magalhães de Almeida próximo à agência do Banco do Brasil, pode-se também utilizar os mesmos elementos adotados para o caso anterior, que assim como o anterior, o mesmo pode ser utilizado tanto na extensão da rua entre uma esquina e outra, bem como apenas no trecho em si, algo que poderia não ser tão eficaz.

#### 4.4 Estimativa de custos

Neste sentido, foi feita uma breve avaliação de custos que estima o valor que pode ser gasto para a aplicação desses sistemas. Segundo o levantamento realizado por Mello (2023), utilizando dois tipos de pavimento permeável, o primeiro, mais simples, com infiltração total, e um segundo, mais complexo, sem infiltração, foram apresentados os seguintes dados.

**Tabela 2** - Pavimento permeável com bloco de concreto poroso - Infiltração total.

Item	Referência	Descrição do serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
1	Composição	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 MPa), esp. > 8cm, sobre colchão de pedrisco esp. > 0,05m.	m <sup>2</sup>	157,94
2	DER-43327	Base de brita graduada	m <sup>3</sup>	144,42
3	DER-40660	Meio fio de concreto	m	69,46

Fonte: Adaptado de Mello (2023).

**Tabela 3** - Pavimento permeável com bloco de concreto poroso – Sem infiltração.

Item	Referência	Descrição do serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
1	Composição	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 MPa), esp. > 8cm, sobre colchão de pedrisco esp. > 0,05m.	m <sup>2</sup>	157,94
2	DER-43327	Base de brita graduada.	m <sup>3</sup>	144,42
3	DER-40660	Meio fio de concreto.	m	69,46
4	DER-41185	Dreno em PEAD perfurado diâmetro = 100mm.	m	12,43
5	DER-40424	Corpo BSTC (greide) diâmetro = 0,40m.	m	288,03
6	DER-41174	Berço em brita para BSTC diâmetro = 0,40m.	m	118,68
7	DER-41167	Poço de visita em bloco pré-moldado para diâmetro = 0,40m (0,80 x 0,80m).	und.	3.495,17
8	Composição	Geomembrana em (PEAD) de 1,00mm.	m <sup>2</sup>	30,26

Fonte: Adaptado de Mello (2023).

Com base nesses dados, tem-se um preço unitário, para o primeiro tipo de pavimento, de cerca de R\$ 371,82. Trazendo para os trechos em estudo, tomando como base que as vias possuem uma largura de 7m e 80m de comprimento, têm-se um orçamento na casa de R\$ 208.219,20. Todavia, considerando o segundo tipo de pavimento, tem-se um preço unitário de R\$ 4.316,39. Fazendo a mesma substituição para os trechos em estudo, têm-se um orçamento próximo de R\$ 2.417.178,40.

Portanto, o mesmo autor citado afirma que, a implantação do pavimento permeável de concreto do tipo infiltração total apresenta um custo de aproximadamente 2,4% inferior ao custo de implantação do pavimento convencional, sendo esse resultado principalmente atribuído à eliminação dos gastos com dispositivos de drenagem.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tendo em vista que a drenagem urbana é de fundamental importância na gestão adequada das águas pluviais nas áreas urbanas. Este estudo abordou a importância e os desafios enfrentados no manejo das águas pluviais, destacando a necessidade de infraestrutura e técnicas adequadas para minimizar os impactos das enchentes, bem como, afim de garantir a sustentabilidade ambiental.

Ficou evidente que a implementação de soluções sustentáveis, como o uso de dispositivos como pavimentos permeáveis e jardins de chuva, mostrou-se eficaz na redução dos impactos das enchentes e na melhoria da qualidade das águas. Todavia, é importante destacar que a drenagem urbana é um desafio contínuo, principalmente diante do crescimento urbano acelerado e das mudanças climáticas. É necessário um planejamento adequado, a adoção de políticas públicas efetivas e a conscientização da população sobre a importância da gestão sustentável das águas pluviais.

Em suma, este estudo reforça a necessidade de investimentos em infraestrutura, capacitação técnica e aprimoramento das práticas de drenagem urbana. A busca por soluções inovadoras e sustentáveis é fundamental para enfrentar os desafios presentes e futuros, visando a promoção de cidades mais resilientes, seguras e ambientalmente conscientes.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA) – **Atlas Águas: Nordeste**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-aponta-acoes-e-investimentos-necessarios-em-todas-as-cidades-brasileiras-para-garantir-abastecimento-de-agua-ate-2035/atlas-aguas-nordeste.pdf/view>. Acesso em: 14 de junho de 2023.

ALMEIDA, Dione Santana de; COSTA, Isaias Tavares da. **A drenagem urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana**. 2014.

BACABAL. **Lei 1.029/2006**. Plano diretor do município de Bacabal. Bacabal, MA, 2006.

BRASIL. **Lei nº 11.445/2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026/2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2020.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 280 p.

CARDOSO NETO, Antonio. **Sistemas urbanos de drenagem**. 2014. Disponível em: [http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=apostila\\_de\\_drenagem\\_urbana\\_do\\_prof\\_cardoso\\_netto.pdf](http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=apostila_de_drenagem_urbana_do_prof_cardoso_netto.pdf). Acesso em: 11 de junho de 2023.

CARLINHOS FILHO. **Forte chuva causa alagamento em diversos pontos de Bacabal**. Disponível em: <https://www.carlinhosfilho.com.br/2021/03/forte-chuva-causa-alagamento-em.html>. Acesso em: 21 de junho de 2023.

CLIMATE-DATA. **Clima**. Maranhão. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/maranhao/bacabal-31928/>. Acesso em: 06 de março de 2023.

CODEVASF. **Bacia do Mearim é a maior do Maranhão**. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2014/bacia-do-mearim-e-a-maior-do-maranhao#:~:text=A%20bacia%20hidrogr%C3%A1fica%20do%20rio,Brasileiro%20de%20Geografia%20e%20Estat%C3%ADstica%20>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

CODEVASF. **Mearim**. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/mearim>. Acesso em: 17 de abril de 2023.

CUNHA, Hermeneilce Wasti Aires Pereira. **Caracterização sócio-ambiental do rio mearim na cidade de Arari-MA**. Universidade Estadual do Maranhão, 2003.

DEMO, Pedro. **PESQUISA: princípio científico e educativo**. 12<sup>a</sup> ed. São Paulo: Cortez, 2006.

EOS CONSULTORES. **Como funciona a drenagem urbana**. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/como-funciona-drenagem-urbana/>. Acesso em: 18 de abril de 2023.

GABRIEL, Maurício. **Drenagem urbana: Estudo de caso de um município do oeste catarinense**. Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GRIBBIN, John. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

IBGE. **Panorama da cidade de Bacabal/Maranhão**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/bacabal/panorama>. Acesso em: 07 de março de 2023.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e saneamento: Bacabal (MA)**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/ma/bacabal>. Acesso em: 08 de março de 2023.

IPEA. **Controle de enchentes**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>. Acesso em: 16 de junho de 2023.

IPEA. **Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o brasil adotar**. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11420/1/TD\\_2791.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11420/1/TD_2791.pdf). Acesso em: 16 de junho de 2023.

MELLO, Fernanda Barbosa Gomes. RIGO, Daniel. **Comparativo de custos de implantação de pavimento convencional e pavimento permeável**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 2023.

MEVO DO BRASIL. **Piso Permeável Drenante de Concreto**. Disponível em: <https://www.mevodobrasil.com/piso-permeavel-drenante/>. Acesso: 21 de junho de 2023.

NASCIMENTO, Gabriel Oliveira. **A importância do sistema de drenagem urbana: um estudo de caso na cidade de Rio Real-Bahia**. AGES, 2021.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL – UEMA. **Bacias hidrográficas maranhenses.** Disponível em: [https://www.nugeo.uema.br/?page\\_id=255](https://www.nugeo.uema.br/?page_id=255). Acesso em: 16 de abril de 2023.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL – UEMA. **Chuvas das Últimas 24 horas.** Disponível em: <https://www.nugeo.uema.br/?cat=55>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

OTERPREM. **Concregrama.** Disponível em: <https://oterprem.com.br/alvenaria/concregrama/>. Acesso: 21 de junho de 2023.

PAVIBLOCO. **Pavimento intertravado permeável:** solução de pavimentação para enchentes. Disponível em: <https://pavibloco.com.br/pavimento-intertravado-permeavel-solucao-de-pavimentacao-para-enchentes/>. Acesso: 22 de junho de 2023.

PREFEITURA DE BACABAL. **Dados do município.** Disponível em: <https://www.bacabal.ma.gov.br/dados-do-municipio>. Acesso em: 07 de março de 2023.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais.** Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento\\_urbano/arquivos/manual-drenagem\\_v1.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf). Acesso em: 11 de junho de 2023.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Jardim de Chuva de Copacabana ganha equipamentos especiais para monitoramento de drenagem.** Disponível em: <https://prefeitura.rio/meio-ambiente/jardim-de-chuva-de-copacabana-ganha-equipamentos-especiais-para-monitoramento-de-drenagem/>. Acesso em: 21 de junho de 2023.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.050/2014.** Política de Desenvolvimento Urbano e Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo. São Paulo, 2014.

SUA CIDADE. **Bacabal:** Nível do rio Mearim preocupa moradores. Disponível em: <http://www.suacidade.com/noticias/bacabal-nivel-do-rio-mearim-preocupa-moradores>. Acesso em 14 de junho de 2023.

TECNOSIL. **Pavimento intertravado:** porque ele pode ser uma ótima solução para a sua construção. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/pavimento-intertravado-por-que-ele-pode-ser-uma-otima-solucao-para-a-sua-construcao/>. Acesso: 21 de junho de 2023.

THE WORLD BANK. **Urban Development.** Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>. Acesso em: 14 de junho de 2023.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Águas urbanas**. Estudos avançados, 2008.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão da drenagem urbana**. CEPAL-IPEA, 2012.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Regulamentação da drenagem urbana no Brasil**. Revista de Gestão de água da América Latina, 2016.

TWITTER. **Bacabal – MA**. Disponível em:

<https://twitter.com/bacabal/status/842470171763720196>. Acesso em: 21 de junho de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. **Tecnologias sociais de saneamento rural**.

Disponível em: [https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/saneamento-e-saude-](https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/saneamento-e-saude-ambiental/modulos/5_modulo_saneamento/02-4.html)

[ambiental/modulos/5\\_modulo\\_saneamento/02-4.html](https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/saneamento-e-saude-ambiental/modulos/5_modulo_saneamento/02-4.html). Acesso em: 14 de junho de 2023.