



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BENEDITO NETO SANTIAGO ELOI**  
**JORDÂNIA SANTOS PEREIRA**

**PROJETO DE REVITALIZAÇÃO DO CANAL AREINHA: UM ESTUDO DE CASO**  
**FOCADO NA MELHORIA DA DRENAGEM URBANA EM SÃO LUÍS - MA**

**SÃO LUÍS- MA**

**2026**

BENEDITO NETO SANTIAGO ELOI  
JORDÂNIA SANTOS PEREIRA

**PROJETO DE REVITALIZAÇÃO DO CANAL AREINHA: UM ESTUDO DE CASO  
FOCADO NA MELHORIA DA DRENAGEM URBANA EM SÃO LUÍS – MA**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado  
à coordenação do curso de Engenharia Civil  
como requisito para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Jadneiza  
Guilherme de Albuquerque Almeida

**SÃO LUÍS – MA  
2026**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Santiago Eloi, Benedito Neto.

PROJETO DE REVITALIZAÇÃO DO CANAL AREINHA: UM ESTUDO DE  
CASO FOCADO NA MELHORIA DA DRENAGEM URBANA EM SÃO LUÍS MA  
/ Benedito Neto Santiago Eloi, Jordânia Santos Pereira. -  
2026.

60 f.

Orientador(a): Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque  
Almeida.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luís/ma, 2026.

1. Drenagem Urbana. 2. Modelagem Computacional. 3.  
Canal de Concreto. I. Albuquerque Almeida, Alice Jadneiza  
Guilherme de. II. Pereira, Jordânia Santos. III. Título.

BENEDITO NETO SANTIAGO ELOI  
JORDÂNIA SANTOS PEREIRA

**PROJETO DE REVITALIZAÇÃO DO CANAL AREINHA: UM ESTUDO DE CASO  
FOCADO NA MELHORIA DA DRENAGEM URBANA EM SÃO LUÍS - MA**

Aprovado em 20 /01 / 2026

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida  
(UFMA)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Priscila Maria Sousa Goncalves Luz  
(UFMA)

---

Prof. Antônio Italcy de Oliveira Júnior  
(UFPE)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimento Benedito:

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter sido meu amparo constante, me concedendo força, sabedoria e perseverança para superar cada desafio ao longo desta jornada acadêmica.

Aos meus pais, Wilson Eloi e Maria Diva, deixo minha mais profunda e sincera gratidão. Todo esforço, renúncia e dedicação de vocês foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Enfrentar os desafios de sustentar um filho que estuda na capital exigiu coragem, fé e amor incondicional, e nada disso passou despercebido. Este trabalho também é de vocês.

À minha orientadora, Alice Jadneiza, agradeço pelo suporte, paciência, disponibilidade e pelas valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que foram essenciais para sua concretização.

Aos meus tios Luísa, Elineude, Rita, Leocádio, Welson, Elice, Junior e Edieloi, meu muito obrigado pelo suporte imensurável, pelo apoio constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha colega de curso Jordânia, agradeço pelo companheirismo, parceria e apoio ao longo de toda essa caminhada acadêmica, tornando essa jornada mais leve e significativa.

Aos meus primos Eloilson e Lucas, agradeço pelo incentivo, companheirismo e apoio ao longo dessa trajetória.

À Sabrina Ferraz, meu sincero agradecimento pelo apoio, cuidado e presença durante parte significativa dessa jornada, contribuindo de forma especial para que este momento se tornasse possível.

Aos meus amigos Maria de Jesus, Daniel e Marcos Renan, agradeço pela amizade, incentivo e apoio ao longo desse percurso, que foram fundamentais para manter a motivação e a força nos momentos de dificuldade.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa trajetória e contribuíram para a realização deste sonho.

Agradecimentos Jordânia:

Agradeço, primeiramente, a Deus, que foi meu sustento em todos os momentos, me deu forças para permanecer de pé diante das dificuldades e me conduziu até a conclusão deste curso. Sem Sua presença constante, nada disso seria possível.

Ao meu pai, Josimar, por ter sido, desde cedo, uma grande inspiração para que eu seguisse a área da construção civil. Obrigada pelo incentivo, pelo apoio incondicional e por

sempre acreditar em mim. Tenho por você profundo orgulho, admiração e respeito, e espero, um dia, conseguir ser ao menos metade do grande homem que você é.

À minha mãe, Ducilene, que nunca mediu esforços para me ajudar, sendo minha base e minha força nos momentos em que pensei não conseguir continuar. Obrigada por cada palavra de motivação, pelo amor incondicional e pela educação tão valiosa que me proporcionou. Sou imensamente grata por ter vocês como pais.

À minha irmã, Josiele, que é alegria mesmo nos momentos mais difíceis, e ao meu sobrinho, Théo Vitor, que é minha maior motivação. É por vocês que eu luto todos os dias. Esta conquista também é nossa.

Aos meus professores, por todo o conhecimento compartilhado, pela dedicação ao ensino e pelas contribuições fundamentais para minha formação acadêmica e profissional. Aos meus amigos discentes, que caminharam comigo ao longo dessa jornada, compartilhando desafios, aprendizados e conquistas, tornando esse percurso mais leve e significativo.

Um agradecimento especial à minha dupla de curso, Benedito Eloi, com quem tive a oportunidade de compartilhar conhecimentos, dividir responsabilidades e crescer academicamente. Fomos apoio um do outro em cada etapa, e essa parceria foi essencial para a construção deste trabalho, fortalecendo não apenas o aprendizado, mas também uma amizade verdadeira.

Por fim, meus sinceros agradecimentos à minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dra. Alice, por conduzir este trabalho com responsabilidade, por toda a dedicação, disciplina, paciência e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho. À Prof.<sup>a</sup> Priscila, pelos feedbacks construtivos e contribuições tão importantes. Vocês foram essenciais para a realização deste projeto.

A todos que estiveram presentes ao longo dessa caminhada, contribuindo com apoio, incentivo e aprendizado, deixo minha sincera gratidão. Cada ajuda foi fundamental para a concretização desta conquista.

## **LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS**

|      |                                          |
|------|------------------------------------------|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NBR  | Norma Brasileira Regulamentadora         |
| SBN  | Soluções Baseadas na Natureza            |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Boca de lobo .....                              | 20 |
| <b>Figura 2:</b> Sarjeta em concreto .....                       | 20 |
| <b>Figura 3:</b> Galeria de drenagem .....                       | 21 |
| <b>Figura 4:</b> Poço de visita .....                            | 21 |
| <b>Figura 5:</b> Canal de drenagem.....                          | 22 |
| <b>Figura 6:</b> Bacia de detenção .....                         | 23 |
| <b>Figura 7:</b> Dispositivo de lançamento.....                  | 23 |
| <b>Figura 8:</b> Estrutura do Telhado verde .....                | 28 |
| <b>Figura 9:</b> Camadas típicas de um pavimento permeável ..... | 29 |
| <b>Figura 10:</b> Escoamento para o jardim de chuva .....        | 30 |
| <b>Figura 11:</b> Vista aérea do Canal da Areinha .....          | 31 |
| <b>Figura 12:</b> Mapa de localização do Canal da Areinha.....   | 32 |
| <b>Figura 13:</b> Canal da Areinha.....                          | 33 |
| <b>Figura 14:</b> Resíduos sólidos .....                         | 34 |
| <b>Figura 15:</b> Assoreamento ao longo do canal .....           | 34 |
| <b>Figura 16:</b> Ocupação irregular.....                        | 35 |
| <b>Figura 17:</b> Layout do Contour Map Creator.....             | 36 |
| <b>Figura 18:</b> Curvas de níveis do terreno .....              | 37 |
| <b>Figura 19:</b> Mapa topográfico com curvas de níveis .....    | 38 |
| <b>Figura 20:</b> Curvas de níveis do terreno .....              | 39 |
| <b>Figura 21:</b> Seção do canal trapezoidal.....                | 49 |
| <b>Figura 22:</b> Modelagem do Canal trapezoidal .....           | 51 |
| <b>Figura 23:</b> Modelagem do Canal trapezoidal .....           | 52 |
| <b>Figura 24:</b> Tabela de elevações.....                       | 52 |
| <b>Figura 25:</b> Tabela de elevações.....                       | 53 |
| <b>Figura 26:</b> Tabela de elevações.....                       | 54 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Resumo do dimensionamento ..... | 48 |
|--------------------------------------------------|----|

## RESUMO

A expansão desordenada das cidades impacta diretamente os sistemas de drenagem pluvial, agravando problemas como alagamentos, erosão e poluição das águas. Nesse contexto, o Canal da Areinha, localizado no município de São Luís–MA, apresenta deficiências estruturais que comprometem o escoamento das águas pluviais e afetam a qualidade de vida da população local. Diante disso, este trabalho teve como objetivo propor a revitalização do canal por meio do dimensionamento de uma seção em concreto, visando melhorar a eficiência do sistema de drenagem urbana. A metodologia adotada consistiu na análise da área de estudo, obtenção de dados topográficos digitais, modelagem do terreno no software Civil 3D e aplicação de cálculos hidráulicos, utilizando parâmetros como área e perímetro molhado, equação de Manning e freeboard. Os resultados indicaram que a seção proposta apresenta condições adequadas para conduzir a vazão de projeto com segurança, contribuindo para a redução de processos erosivos, do acúmulo de resíduos e dos riscos associados à exposição a águas contaminadas. Conclui-se que a solução proposta representa uma alternativa tecnicamente viável para a melhoria da drenagem pluvial e da infraestrutura urbana da área estudada.

**Palavras-chaves:** Drenagem urbana, canal de concreto, alagamentos, modelagem, dados, vazão

## **ABSTRACT**

Urban expansion directly impacts stormwater drainage systems, intensifying problems such as flooding, erosion, and water pollution. In this context, the Areinha Canal, located in the city of São Luís, Maranhão, presents structural deficiencies that compromise stormwater flow and negatively affect the quality of life of the local population. Therefore, this study aimed to propose the revitalization of the canal through the design of a concrete channel section, seeking to improve the efficiency of the urban drainage system. The methodology consisted of analyzing the study area, obtaining digital topographic data, terrain modeling using Civil 3D software, and performing hydraulic calculations based on parameters such as wetted area and perimeter, Manning's equation, and freeboard. The results indicated that the proposed section presents adequate conditions to safely convey the design flow, contributing to the reduction of erosive processes, debris accumulation, and risks associated with exposure to contaminated water. It is concluded that the proposed solution represents a technically feasible alternative for improving stormwater drainage and urban infrastructure in the studied area.

**Keywords:** Stormwater management; Hydraulic design; Concrete channel; Urban infrastructure.

## SUMÁRIO

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1.INTRODUÇÃO.....                                                | 14 |
| 1.1 Justificativa .....                                          | 16 |
| 1.2 Objetivos.....                                               | 16 |
| 1.2.1 Objetivo Geral.....                                        | 16 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....                                | 17 |
| 2.REFERENCIAL TEÓRICO.....                                       | 17 |
| 2.1 Sistemas de Drenagem Urbana .....                            | 17 |
| 2.2 Dispositivos de drenagem.....                                | 19 |
| 2.2.1 Bocas de lobo.....                                         | 19 |
| 2.2.2 Sarjeta .....                                              | 20 |
| 2.2.3 Galeria.....                                               | 20 |
| 2.2.4 Poços de visita .....                                      | 21 |
| 2.2.5 Poços de visita .....                                      | 22 |
| 2.2.6 Bacias de retenção .....                                   | 22 |
| 2.2.7 Dispositivos de lançamento .....                           | 23 |
| 2.3 Problemáticas associadas a ausência de drenagem.....         | 23 |
| 2.3.1 Inundações e alagamentos .....                             | 23 |
| 2.3.2 Despejo incorreto de resíduos sólidos.....                 | 25 |
| 2.4 Soluções sustentáveis e inovadoras para drenagem urbana..... | 27 |
| 2.4.1 Telhados verdes .....                                      | 27 |
| 2.4.2 Pavimentos permeáveis.....                                 | 28 |
| 2.4.3 Jardins de chuva.....                                      | 29 |
| 3.METODOLOGIA.....                                               | 30 |
| 3.1 Apresentação da área de estudo .....                         | 30 |
| 3.2 Diagnóstico da situação atual.....                           | 33 |
| 3.3 Coleta e tratamento de dados .....                           | 35 |
| 3.3.1 Escolha da área de interesse.....                          | 36 |
| 3.3.2 Definir as configurações da região .....                   | 36 |
| 3.3.3 Escolha do Intervalo das Curvas de Nível .....             | 36 |
| 3.3.4 Obtenção das Curvas de Níveis .....                        | 37 |
| 3.3.5 Exportação das curvas para o civil 3D.....                 | 38 |
| 3.4 Dimensionamento .....                                        | 39 |
| 3.4.1 Largura de base (b) .....                                  | 39 |

|         |                                                             |    |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2   | Profundidade do escoamento (y) .....                        | 39 |
| 3.4.3   | Inclinação dos taludes (m) .....                            | 40 |
| 3.4.4   | Cálculo dos parâmetros hidráulicos .....                    | 40 |
| 3.4.4.1 | Vazão de projeto ( $Q_p$ ) .....                            | 40 |
| 3.4.4.2 | Área molhada (A).....                                       | 40 |
| 3.4.4.3 | Raio hidráulico (R).....                                    | 41 |
| 3.4.5   | Características do escoamento .....                         | 41 |
| 3.4.5.1 | Velocidade média (V) .....                                  | 42 |
| 3.4.5.2 | Vazão pelo método de Manning (Q) .....                      | 42 |
| 3.4.6   | Análise da estabilidade hidráulica .....                    | 43 |
| 3.4.6.1 | Tensão de cisalhamento no fundo ( $\tau_b$ ).....           | 43 |
| 3.4.6.2 | Freeboard (f).....                                          | 43 |
| 3.4.6.3 | Profundidade construtiva ( $y_{(cons)}$ ).....              | 44 |
| 3.4.7   | Justificativa geral da metodologia adotada .....            | 44 |
| 4.      | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                | 45 |
| 4.1     | Dimensionamento analítico da seção do canal .....           | 45 |
| 4.1.1   | Vazão de projeto ( $Q_p$ ).....                             | 45 |
| 4.1.2   | Área molhada .....                                          | 45 |
| 4.1.3   | Perímetro molhado.....                                      | 46 |
| 4.1.4   | Raio hidráulico.....                                        | 46 |
| 4.1.5   | Velocidade média .....                                      | 47 |
| 4.1.6   | Vazão calculada pela fórmula de manning .....               | 47 |
| 4.1.7   | Tensão de fundo.....                                        | 47 |
| 4.1.8   | Freeboard adotado .....                                     | 48 |
| 4.1.9   | Profundidade construtiva .....                              | 48 |
| 4.2     | Modelagem no software Autodesk Civil 3D .....               | 49 |
| 4.3     | Análise computacional da área de assentamento do canal..... | 51 |
| 4.3.1   | Diagrama de elevação .....                                  | 51 |
| 4.3.2   | Diagrama de inclinação .....                                | 53 |
| 5.      | CONCLUSÃO.....                                              | 54 |
|         | REFERÊNCIAS .....                                           | 56 |
|         | APÊNDICE .....                                              | 60 |

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades brasileiras tem causado impactos significativos na infraestrutura urbana, especialmente no que se refere à drenagem pluvial. A urbanização desordenada, a impermeabilização do solo e a ocupação irregular de áreas de várzea contribuem para o agravamento dos problemas de escoamento das águas pluviais, resultando em alagamentos frequentes, erosão, assoreamento de canais e contaminação hídrica (Souza *et al.*, 2021). Esses fenômenos não apenas comprometem a qualidade de vida da população, mas também acarretam prejuízos econômicos e ambientais expressivos. Segundo Tucci e Bertoni (2023), a ineficiência dos sistemas de drenagem pode intensificar danos estruturais em vias públicas, edificações e equipamentos urbanos, além de representar riscos à saúde pública devido à proliferação de doenças de veiculação hídrica.

Os sistemas de drenagem são fundamentais para garantir a funcionalidade das cidades, sendo compostos por dispositivos projetados para coletar, conduzir e escoar as águas pluviais de maneira eficiente. Esses sistemas podem ser superficiais, como sarjetas e canais, ou subterrâneos, como galerias pluviais e drenos, e devem ser dimensionados considerando fatores como volume de precipitação, declividade do terreno e nível de urbanização (ANA, 2020). De acordo com Miguez e Veról (2017), um sistema de drenagem bem planejado reduz os impactos das chuvas intensas, garantindo segurança à população e preservação do patrimônio público e privado. Além disso, Souza *et al.* (2021) destacam que a integração entre drenagem urbana e planejamento ambiental é essencial para minimizar os impactos negativos da urbanização, evitando a sobrecarga dos sistemas de escoamento e promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos.

Fernandes e Costa (2020) propõe que a drenagem urbana eficiente deve combinar medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais incluem a construção e ampliação de galerias pluviais, bacias de retenção, canais e reservatórios de amortecimento, visando controlar o escoamento superficial e reduzir enchentes. Já as medidas não estruturais englobam ações como planejamento urbano adequado, regulamentação do uso do solo, sistemas de alerta para eventos extremos e a conscientização da população sobre o descarte correto de resíduos. Segundo o autor, a eficiência da drenagem depende da adoção simultânea dessas abordagens, garantindo um sistema mais resiliente e adaptável às condições ambientais e urbanísticas.

Nesse mesmo contexto, Miguez e Veról (2020) enfatizam que a gestão sustentável das águas pluviais deve tratar a drenagem urbana como parte de um sistema integrado de planejamento ambiental, reforçando a necessidade de soluções que articulem infraestrutura, meio ambiente e ocupação urbana.

Segundo Miguez e Veról (2020), a gestão sustentável das águas pluviais exige o controle da impermeabilização do solo e o incentivo à infiltração da água, por meio de soluções como pavimentos permeáveis e jardins de chuva, além da conservação e recuperação de áreas de várzea e de corpos d'água naturais. Os autores ressaltam que a drenagem urbana eficiente não deve se limitar apenas à condução rápida das águas pluviais para fora das cidades, mas deve buscar alternativas que possibilitem o armazenamento, a reutilização e a redução dos impactos ambientais e sociais decorrentes de eventos de chuva intensa.

No contexto da cidade de São Luís-MA, o Canal da Areinha representa um exemplo emblemático da necessidade de revitalização dos sistemas de drenagem urbana. Atualmente, a ausência de infraestrutura adequada compromete a eficiência do escoamento pluvial, favorecendo alagamentos frequentes e a degradação da qualidade ambiental da região. Essas condições impactam diretamente a população residente no entorno do canal, conforme observado durante as visitas técnicas e o diagnóstico da área de estudo. Diante desse cenário, este trabalho propõe a revitalização do canal por meio da construção de um canal de concreto, visando mitigar os principais problemas identificados.

Essa proposta de intervenção fundamenta-se na adoção de soluções estruturais capazes de melhorar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem. Nesse sentido, a utilização de um canal de concreto permitirá um escoamento mais eficiente das águas pluviais, reduzindo a erosão das margens e minimizando o assoreamento, fatores que frequentemente comprometem a capacidade do canal de desempenhar sua função (Fernandes; Costa, 2020). Além disso, a estabilização das margens contribuirá para evitar o desmoronamento do solo e o avanço de construções irregulares sobre a área do canal, promovendo maior segurança estrutural para a região.

Outro benefício essencial dessa revitalização é a redução do acúmulo de águas contaminadas, diminuindo a proliferação de doenças de veiculação hídrica, como leptospirose e dengue, que afetam especialmente comunidades vulneráveis em áreas sujeitas a alagamentos (OPAS, 2023). Com a melhoria na drenagem, espera-se também um impacto positivo na mobilidade urbana, uma vez que o controle das inundações contribuirá para a conservação das vias públicas e para a redução dos prejuízos materiais decorrentes de enchentes.

Dessa forma, a revitalização do Canal da Areinha por meio da construção de um canal de concreto alinha-se às diretrizes propostas por Miguez *et al.* (2020), que defende a adoção de medidas estruturais eficazes, e por Souza *et al.* (2021), que enfatiza a importância de um planejamento integrado para a drenagem urbana sustentável. Com isso, busca-se não apenas solucionar os problemas recorrentes da região, mas também proporcionar maior segurança

hídrica e qualidade de vida para os moradores, garantindo um desenvolvimento urbano mais resiliente e sustentável. Logo, este trabalho tem como objetivo propor e avaliar tecnicamente uma solução de drenagem urbana, por meio do dimensionamento de um canal de concreto, visando à melhoria do escoamento das águas pluviais no Canal da Areinha, em São Luís-MA.

## **1.1 Justificativa**

O bairro Macaúba, localizado nas imediações do bairro Areinha em São Luís, enfrenta uma série de problemas críticos relacionados à infraestrutura de drenagem e ao saneamento básico, que afetam diretamente a qualidade de vida de seus moradores. Um dos principais problemas é a presença de um canal de drenagem de esgoto a céu aberto, que percorre diversas áreas do bairro. Este canal, além de ser visualmente desagradável, representa um sério risco à saúde pública, pois o esgoto exposto facilita a propagação de doenças infecciosas, como a leptospirose e a hepatite, e cria um ambiente propício para o surgimento de insetos transmissores de doenças, além de criar condições propícias para a proliferação de vetores de doenças, como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue (Brasil, 2022).

Além disso, a ausência de alas de drenagem adequadas contribui para a deficiência no escoamento da água das chuvas, o que resulta em alagamentos frequentes, principalmente durante períodos de chuva intensa. Esse problema é agravado pela falta de sistemas eficientes para o direcionamento da água, aumentando o risco de erosões nas margens do canal. As erosões comprometem ainda mais a segurança e a estabilidade do terreno, prejudicando a mobilidade e a acessibilidade das vias no bairro, situação recorrente em áreas urbanas de São Luís, conforme apontado no Plano Diretor de Drenagem Urbana do município (SÃO LUÍS, 2018).

Por conseguinte, é urgente que soluções de saneamento básico e drenagem sejam implementadas, a fim de mitigar esses problemas e garantir condições mais dignas e seguras para a população de Macaúba. A construção de canais de drenagem adequados, a cobertura do esgoto e a implementação de medidas para o controle da erosão são fundamentais para a melhoria das condições de vida e saúde no bairro.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Propor a revitalização do Canal da Areinha, em São Luís-MA, por meio da construção de um canal de concreto, com foco na melhoria da drenagem urbana e na mitigação de seus impactos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as condições atuais de drenagem urbana do Canal da Areinha e de seu entorno;
- Identificar os principais problemas hidráulicos e ambientais associados ao canal;
- Avaliar a viabilidade técnica e ambiental da implantação de um canal de concreto para a melhoria do escoamento pluvial;
- Realizar o dimensionamento hidráulico de uma seção de canal adequada às condições da área de estudo;
- Validar a solução proposta por meio de modelagem computacional.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistemas de Drenagem Urbana

A drenagem urbana desempenha um papel fundamental no planejamento das cidades, especialmente em áreas sujeitas a processos de urbanização intensa, onde a impermeabilização do solo altera significativamente o comportamento do escoamento superficial. Nesse contexto, torna-se essencial a adoção de sistemas capazes de coletar, conduzir e controlar as águas pluviais, a fim de reduzir riscos de alagamentos e danos à infraestrutura urbana.

Em conformidade com Silveira (2021), a drenagem urbana consiste no planejamento e na implementação de sistemas que visam coletar e direcionar as águas pluviais para evitar alagamentos, sempre levando em consideração a natureza do solo, a topografia e as condições climáticas locais. Dessa forma, a eficiência desses sistemas está diretamente relacionada à integração entre aspectos técnicos, ambientais e urbanísticos.

A drenagem urbana é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentável das cidades, pois, quando mal planejada ou negligenciada, pode gerar uma série de problemas, desde a obstrução de ruas e a interrupção do tráfego até o aumento da poluição e o risco à saúde pública, dessa forma, os sistemas de drenagem devem ser projetados de maneira a permitir o fluxo adequado das águas pluviais, prevenindo alagamentos, erosões e a contaminação de corpos d'água. (Carvalho; Pereira, 2018).

A implementação de um sistema eficiente de drenagem urbana vai além de aspectos técnicos; ela desempenha um papel crucial na melhoria das condições de vida da população, principalmente em áreas vulneráveis. Quando bem projetado, um sistema de drenagem reduz significativamente o risco de alagamentos e desastres naturais, o que impacta diretamente a segurança e a saúde pública. Além disso, a drenagem adequada contribui para a inclusão social, evitando que as populações mais pobres, que normalmente vivem em áreas de risco, sofram os

efeitos devastadores das chuvas intensas, como a perda de moradias e o comprometimento de sua saúde (IBGE, 2023).

O projeto do sistema de drenagem de águas pluviais deve ter como objetivos principais a minimização dos efeitos de inundações e a preservação do meio ambiente, atendendo às condições locais e ao uso do solo existente, de forma a garantir a segurança e a funcionalidade do sistema de drenagem (ABNT, 2023).

As redes de drenagem de águas pluviais devem ser projetadas e construídas de forma a permitir o escoamento adequado das águas pluviais, evitando alagamentos e danos à infraestrutura urbana, considerando as características do solo e as condições climáticas da região (ABNT, 2023).

O sistema de coleta de águas pluviais é composto por uma rede de condutores (dutos, galerias e tubulações) responsáveis por coletar e direcionar as águas pluviais das superfícies impermeabilizadas para pontos de descarte adequados, como rios, córregos ou sistemas de retenção (Braga; Silva, 2020).

Os sistemas de transporte, geralmente formados por galerias e canais, são os responsáveis por transportar as águas coletadas para os pontos de lançamento ou de retenção, garantindo que o escoamento seja eficiente e sem obstruções que possam causar alagamentos (ANA, 2020).

"O descarte das águas pluviais deve ser projetado de maneira a garantir que as águas coletadas sejam lançadas de forma segura nos corpos hídricos, sem causar danos ambientais ou sobrecarregar as áreas receptoras. A escolha do ponto de lançamento leva em consideração as características do ambiente local e a capacidade de absorção dos rios ou córregos (Carvalho; Pereira, 2018).

Os materiais utilizados na construção dos sistemas de drenagem urbana, como tubulações, poços de visita, tambores de retenção e galerias, devem ser adequados ao tipo de solo e às condições de carga e pressão da rede. O correto dimensionamento e escolha dos materiais são fundamentais para garantir a durabilidade e eficiência do sistema (Braga; Silva, 2020). A manutenção regular do sistema de drenagem urbana é crucial para garantir o seu funcionamento adequado. Isso inclui a limpeza das redes de escoamento, a inspeção dos pontos de descarte e a verificação da eficiência dos sistemas de retenção. A falta de manutenção pode resultar em obstruções, alagamentos e danos à infraestrutura urbana (Martins; Lima, 2019).

## **2.2 Dispositivos de drenagem**

Os sistemas de drenagem urbana são essenciais para o manejo eficiente das águas pluviais, atuando na coleta, transporte e, em alguns casos, na retenção temporária da água da chuva. Nesse cenário, destacam-se os sistemas de drenagem urbana, fundamentais para a gestão eficiente das águas pluviais nas cidades. A micro drenagem é composta pelas unidades responsáveis por captar e conduzir a água da chuva, impedindo seu acúmulo nas vias públicas e, conseqüentemente, evitando alagamentos. De acordo com Cruz, Souza e Tucci (2012), a micro drenagem desempenha um papel crucial na redução de alagamentos locais e na prevenção do acúmulo de grandes volumes de água nas áreas de circulação, embora dependa de uma manutenção regular para garantir sua eficiência. Segundo Martins (2012), esse sistema inclui elementos como pavimentos, sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais, entre outros dispositivos vinculados ao escoamento superficial e à infraestrutura viária urbana.

A macrodrenagem, por sua vez, atua em uma escala mais ampla. De acordo com Silveira (2021), trata-se de “sistemas naturais ou construídos, que recebem as águas de uma bacia de drenagem e as leva para uma outra estrutura de macrodrenagem ajusante – rios, córregos, lagoas, represas – ou para o oceano. ”. Esse sistema é composto por tubulações de maior diâmetro (acima de 1 metro), canais abertos ou fechados, galerias de águas pluviais e reservatórios de retenção e detenção, que ajudam a controlar o fluxo e reduzir o risco de enchentes em áreas mais amplas (Tucci, 2008). Nesse sentido, enquanto a micro drenagem realiza a coleta inicial das águas pluviais diretamente nas superfícies urbanas, a macrodrenagem é responsável pelo transporte e direcionamento desse volume para corpos hídricos naturais ou sistemas artificiais de maior porte, garantindo o escoamento final.

Seus principais componentes são, portanto, apresentados a seguir:

### **2.2.1 Bocas de lobo**

As bocas de lobo são dispositivos destinados à captação das águas pluviais das ruas e vias públicas, direcionando-as para o sistema de drenagem. Sua instalação deve ser feita de forma que permita o fluxo contínuo e sem obstruções, evitando a acumulação de águas pluviais nas áreas urbanas (Ferreira; Martins, 2004). A Figura 1 ilustra um exemplo de boca de lobo utilizada em sistemas de drenagem urbana.

**Figura 1:** Boca de lobo

Fonte: Ecivil (2024)

### 2.2.2 Sarjeta

A sarjeta ou valeta é o componente que liga o pavimento à guia do meio fio, a qual se localizam nas extremidades das ruas e avenidas beirando o meio fio. Pode ser feita de concreto moldado in loco ou por paralelepípedos argamassados (areia e cimento). É importante que esteja no nível mais baixo que a via, de forma que possa conduzir a água até os bueiros (Botelho, 2017). A Figura 2 apresenta um esquema ilustrativo de uma sarjeta em concreto, destacando seus principais elementos e funcionamento no sistema de drenagem urbana.

**Figura 2:** Sarjeta em concreto

Fonte: Fernandes (2002).

### 2.2.3 Galeria

As galerias de drenagem urbana têm como função principal o transporte das águas pluviais coletadas pelas bocas de lobo e outras formas de captação, conduzindo-as até os pontos de lançamento ou sistemas de retenção. São projetadas para garantir o escoamento adequado e a minimização do risco de alagamentos (Míguez; Veról, 2017). A Figura 3 apresenta um

exemplo de galeria de drenagem urbana em processo de implantação, evidenciando sua função no sistema de microdrenagem.

**Figura 3:** Galeria de drenagem



Fonte: Prefeitura de São Paulo (2012)

#### **2.2.4 Poços de visita**

Os poços de visita são dispositivos de inspeção e manutenção do sistema de drenagem urbana, permitindo o acesso para limpeza e verificação das condições das tubulações e galerias. Sua instalação deve ser feita de maneira estratégica, garantindo a eficiência do sistema de drenagem e facilitando o trabalho de manutenção (Miguez; Veról; Silva, 2020). A Figura 4 ilustra um exemplo de poço de visita utilizado em sistemas de drenagem urbana.

**Figura 4:** Poço de visita



Fonte: Engretec (2024)

### 2.2.5 Poços de visita

Os canais de drenagem são utilizados para o transporte de águas pluviais em áreas onde a implantação de galerias subterrâneas não é viável ou quando há a necessidade de facilitar a visualização do escoamento. Eles devem ser projetados para garantir o fluxo contínuo das águas e evitar o entupimento por vegetação ou sedimentos (Martins; Lima, 2019). A Figura 5 apresenta um exemplo de poço de visita empregado em sistemas de drenagem urbana.

**Figura 5:** Canal de drenagem



Fonte: G1-Globo (2023)

### 2.2.6 Bacias de retenção

As bacias de retenção têm como principal função reter as águas pluviais durante chuvas intensas, liberando-as de forma controlada ao longo do tempo para evitar sobrecarga no sistema de drenagem e prevenir alagamentos. São dispositivos fundamentais no controle de cheias e na proteção da infraestrutura urbana (Míguez; Veról; Silva, 2020). A Figura 6 apresenta um exemplo de bacia de retenção aplicada em áreas urbanas, evidenciando sua importância no controle hidrológico.

**Figura 6:** Bacia de retenção



Fonte: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2020)

### **2.2.7 Dispositivos de lançamento**

Os dispositivos de lançamento, como os vertedouros ou as estruturas de deságue, são responsáveis por conduzir as águas pluviais para os corpos hídricos ou sistemas de infiltração. Sua projeção deve garantir que as águas sejam lançadas sem causar erosões ou impactos negativos ao meio ambiente local." (ANA, 2020). A Figura 7 ilustra um exemplo de dispositivo de lançamento

**Figura 7:** Dispositivo de lançamento



Fonte : Wasaki engenharia (2025)

## **2.3 Problemáticas associadas a ausência de drenagem**

### **2.3.1 Inundações e alagamentos**

O crescimento das cidades e o aumento da densidade populacional intensificam a necessidade de sistemas eficientes de infraestrutura hídrica. Nesse contexto, a drenagem urbana e o esgotamento sanitário destacam-se como componentes fundamentais para a garantia da qualidade de vida da população. Embora possuam funções distintas, a falta de planejamento

integrado e a utilização inadequada desses sistemas contribuem para a ocorrência de problemas ambientais, estruturais e de saúde pública, especialmente em áreas urbanas densamente ocupadas (Miguez; Veról, 2017).

Inundações, enchentes e alagamentos são frequentemente utilizados como sinônimos para descrever eventos prejudiciais causados pela ação das águas. No entanto, apresentam diferenças conceituais importantes. Segundo Barbosa e Silva (2019), a enchente refere-se a um aumento temporário do volume de água em um canal de drenagem sem que ocorra transbordamento. Por esse motivo, o presente estudo não considerará essa terminologia. Já a inundação ocorre quando há extravasamento da água dos corpos hídricos naturais, atingindo áreas habitadas e provocando danos. O alagamento, por sua vez, é um fenômeno localizado e geralmente associado à deficiência no escoamento da água da chuva em áreas urbanizadas.

Os impactos desses fenômenos são amplos e podem ser classificados em sociais, econômicos e ambientais. Do ponto de vista social, as inundações podem resultar na perda de moradias e no deslocamento de populações vulneráveis, além de aumentar a incidência de doenças de veiculação hídrica, como leptospirose e hepatite A (Barbosa & Silva, 2019).

Economicamente, os prejuízos incluem danos à infraestrutura urbana, paralisação de atividades comerciais e aumento dos custos públicos com reparos emergenciais. Segundo Campos (2020), as enchentes configuram-se como um importante fator de vulnerabilidade para o desenvolvimento econômico das cidades, uma vez que comprometem a infraestrutura urbana e a continuidade das atividades produtivas.

No aspecto ambiental, as inundações contribuem para a erosão dos solos e a contaminação dos corpos d'água por resíduos e poluentes urbanos. O transporte de detritos durante os eventos pluviais pode comprometer a qualidade da água e a biodiversidade aquática (Mendes *et al.*, 2016).

Esses impactos ambientais estão diretamente relacionados à dinâmica das inundações, a qual resulta da interação entre fatores naturais e intervenções antrópicas no meio urbano. Souza (2021) aponta que, embora muitas vezes os termos enchente e inundação sejam utilizados indistintamente, a inundação pode ser explicada pela redução da capacidade de escoamento do rio, seja pelo estreitamento do leito, assoreamento, deposição de resíduos sólidos ou obstruções causadas por infraestruturas inadequadas. Além disso, a modificação da macrodrenagem, combinada a falhas nos projetos urbanos que negligenciam o escoamento superficial, agrava os impactos desse fenômeno.

Entre as principais intervenções antrópicas responsáveis por esse agravamento, destaca-se a ocupação irregular das margens dos rios e das áreas de várzea. De acordo com a Agência

Nacional de Águas (ANA, 2020), a expansão urbana desordenada em regiões vulneráveis altera a infiltração da água no solo, comprometendo a capacidade de vazão dos cursos d'água e intensificando o risco de transbordamentos. Essa interferência no regime hídrico natural é ainda mais agravada pela impermeabilização do solo e pela retirada da vegetação, que desempenha um papel fundamental na absorção e retenção da água da chuva.

A alta pluviosidade pode causar sérios danos à infraestrutura urbana, como o alagamento de ruas, avenidas e áreas residenciais. A falta de um sistema de drenagem eficiente para lidar com volumes elevados de água resulta em inundações que comprometem a mobilidade e a segurança da população. (Carvalho; Pereira, 2018).

Diante desses impactos, as regiões sujeitas a elevados índices pluviométricos passam a enfrentar desafios significativos no planejamento urbano. Nessas áreas, o aumento no volume de chuvas exige investimentos consistentes em sistemas de drenagem, além do planejamento de áreas de risco, do controle de processos erosivos e da implantação de sistemas de contenção, conforme indicado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2020).

Outro aspecto relevante é o impacto das intervenções humanas na drenagem urbana. Souza e Silva (2021) destaca que a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis e a instalação de redes de drenagem com enfoque imediatista resultam em um sistema incapaz de lidar com eventos extremos de precipitação. O redirecionamento inadequado das águas pluviais, a falta de manutenção dos sistemas de escoamento e a obstrução de galerias pluviais por lixo e sedimentos também figuram como fatores determinantes para a intensificação dos alagamentos.

A interação entre esses diversos elementos evidencia que a ocorrência de inundações e alagamentos em áreas urbanas não é um fenômeno isolado, mas sim o resultado de uma combinação de fatores hidrológicos, ambientais e sociais. Assim, para mitigar esses impactos, torna-se essencial a implementação de estratégias integradas de planejamento urbano, controle da ocupação do solo e adoção de soluções sustentáveis de drenagem, capazes de reduzir a vulnerabilidade das cidades a esses eventos extremos.

### **2.3.2 Despejo incorreto de resíduos sólidos**

A ineficiência das redes de drenagem urbana está diretamente ligada ao descarte inadequado de resíduos sólidos, um fator crítico para o agravamento dos alagamentos e inundações em áreas urbanas. De acordo com Silva e Oliveira (2018), o acúmulo de lixo em sistemas de escoamento compromete a capacidade de drenagem, provocando obstruções que reduzem a eficiência da infraestrutura hidráulica e ampliam o tempo de escoamento das águas pluviais. Entre os materiais mais encontrados nesses pontos críticos estão sacolas plásticas,

garrafas PET, fraldas descartáveis, entulhos de construção, latas, vidros e até eletrodomésticos descartados irregularmente. Esse cenário reflete tanto a ausência de políticas públicas eficazes de gerenciamento de resíduos quanto a falta de conscientização ambiental da população (Silva; Souza; Pereira, 2021).

Os impactos dessa problemática vão além da infraestrutura urbana, afetando diretamente a vida dos moradores dessas áreas. De acordo com Mendes e Santos (2021), famílias em regiões sujeitas a alagamentos convivem com a constante preocupação de perder seus bens móveis, como sofás, eletrodomésticos e móveis de madeira, que sofrem danos irreversíveis ao entrarem em contato com a água contaminada. Para minimizar os prejuízos, algumas pessoas recorrem a soluções improvisadas, como a vedação de portas com tábuas e borrachas, mas essas medidas raramente se mostram eficazes diante da intensidade dos eventos de cheia. Esse ciclo de degradação reflete a necessidade urgente de investimentos na manutenção das redes de drenagem, no fortalecimento das políticas de descarte adequado de resíduos e na conscientização da população sobre os impactos do lixo urbano no funcionamento da infraestrutura hidráulica.

A ausência de um gerenciamento eficiente de resíduos sólidos impacta diretamente a qualidade ambiental e a funcionalidade das redes de drenagem urbana. Segundo Gerin (2020), um dos problemas mais críticos gerados pelo descarte inadequado de lixo é a formação de chorume, um líquido altamente poluente resultante da decomposição de resíduos orgânicos, que pode infiltrar-se no solo e comprometer a qualidade do lençol freático. Esse tipo de contaminação representa um risco significativo para o meio ambiente e para a saúde pública, uma vez que substâncias tóxicas podem alcançar mananciais hídricos e tornar a água imprópria para consumo.

Além dos impactos ambientais, a questão da drenagem urbana está intrinsecamente ligada ao modo como as cidades gerenciam seus recursos hídricos. Christodifis *et al.* (2020) destacam que a evolução da percepção hídrica e das técnicas de manejo das águas pluviais urbanas deve considerar não apenas o ciclo natural da água, mas também os avanços tecnológicos que possibilitam uma gestão mais eficiente desses recursos. Nesse contexto, três dimensões reflexivas são fundamentais para entender a relação entre o ser humano e a drenagem: os aspectos técnicos, os atributos ambientais e as influências culturais. Essa abordagem amplia a compreensão de que a drenagem urbana não se limita à infraestrutura física, mas também envolve fatores sociais, educacionais e institucionais que determinam sua eficácia.

Dessa forma, não são apenas problemas estruturais e a falta de manutenção que comprometem o funcionamento da drenagem urbana, mas também a gestão inadequada dos resíduos sólidos e o sistema de esgotamento sanitário. Neto e Moreira (2010) reforçam que a ineficiência na coleta e destinação de resíduos contribui para a obstrução de redes de escoamento, agravando os alagamentos em períodos chuvosos. Esse cenário evidencia a necessidade de políticas públicas integradas, que considerem tanto a infraestrutura urbana quanto a conscientização ambiental da população, a fim de mitigar os impactos negativos da drenagem deficiente e garantir cidades mais resilientes.

## **2.4 Soluções sustentáveis e inovadoras para drenagem urbana**

O aumento da impermeabilização das superfícies urbanas, aliado à frequência crescente de eventos pluviais extremos, tem exigido a adoção de estratégias alternativas aos sistemas tradicionais de drenagem urbana. Nesse cenário, soluções sustentáveis e inovadoras têm se consolidado como abordagens eficazes, por promoverem o controle das águas pluviais de forma integrada à paisagem urbana e aos ciclos naturais da água (Miguez; Veról, 2017).

De acordo com Rezende (2010), os projetos de drenagem sustentável adotam o princípio da descentralização, utilizando estruturas de controle em pequena escala que reduzem a necessidade de obras convencionais de grande porte. Além de reduzir o escoamento superficial, essas práticas favorecem a infiltração, a evapotranspiração e o armazenamento temporário das águas, contribuindo para a recarga dos aquíferos e o equilíbrio do ciclo hidrológico urbano. Entre os benefícios, destacam-se a diminuição das inundações, a melhoria da qualidade da água, a ampliação de áreas verdes e o aumento da biodiversidade.

Woods-Ballard *et al.* (2015) destacam que essas soluções sustentáveis incluem sistemas de captação de água pluvial, telhados verdes, sistemas de infiltração, biorretenção, faixas filtrantes, pavimentos permeáveis, tanques de retenção e zonas úmidas. Esses dispositivos são concebidos para tratar a água de forma descentralizada, promovendo eficiência hidráulica e ambiental com menor impacto ao ambiente urbano.

Entre as alternativas sustentáveis, destacam-se as chamadas Soluções Baseadas na Natureza (SBN), que propõem intervenções como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e telhados verdes, com benefícios ambientais e sociais relevantes.

### **2.4.1 Telhados verdes**

Os telhados verdes são uma das principais soluções nesse contexto. Eles consistem em sistemas que integram vegetação sobre edificações, promovendo a retenção da água da chuva,

o conforto térmico, o isolamento acústico e a melhora da qualidade do ar. Conforme Woods-Ballard *et al.* (2015). Esta técnica torna uma área destinada apenas a gerar escoamento superficial em área verde útil, voltada a reduzir o volume de água na drenagem urbana, bem como com capacidade de possibilitar o retorno das águas das precipitações ao ciclo hidrológico original (Miguez, 2016).

Se trata de uma cobertura vegetal implantada sobre as superfícies dos telhados convencionais, constituído basicamente por vegetação, substrato, camada filtrante, camada drenante, camada protetora, manta de impermeabilização e estrutura do telhado convencional (MORAIS *et al.*, 2021). Existem dois tipos principais de telhados verdes: os extensivos, que apresentam menor profundidade do substrato e são destinados a vegetações resistentes, exigindo pouca manutenção; e os intensivos, que permitem o cultivo de vegetação mais diversa e podem ser utilizados como áreas de lazer. Segundo Ribeiro *et al.* (2020), os telhados verdes são capazes de reter de 50% a 80% da água pluvial, contribuindo significativamente para o controle de cheias e a melhoria do microclima urbano. A Figura 8 ilustra um esquema representativo de telhado verde, destacando suas camadas constituintes.

**Figura 8:** Estrutura do Telhado verde



Fonte: Leite (2019)

#### **2.4.2 Pavimentos permeáveis**

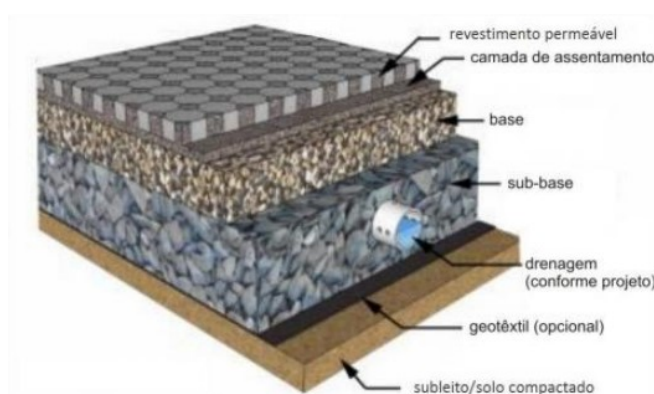
Outra técnica amplamente difundida são os pavimentos permeáveis, que se diferenciam dos convencionais por permitirem a infiltração da água por meio da superfície. Segundo Lourenço (2014), esses pavimentos favorecem a percolação da água, reduzindo o escoamento superficial e minimizando o risco de enchentes e alagamentos. Vasco (2016) explica que as

camadas constituintes desses pavimentos possibilitam a remoção de poluentes por meio de processos como filtração, adsorção, sedimentação e biodegradação, atuando, assim, no pré-tratamento do escoamento.

Segundo a NBR 16416 o pavimento permeável é uma estrutura que permite a percolação e/ou o acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura (ABNT, 2015). Essa infiltração contribui para a recarga dos aquíferos e reduz o volume de escoamento nas superfícies urbanas. Aplicáveis em locais como estacionamentos, calçadas e áreas de baixa circulação de veículos, esses pavimentos incluem materiais como concreto permeável e blocos intertravados, projetados para facilitar o escoamento por meio de suas aberturas (Walesh, 1989; Cruz, Souza e Tucci, 2012).

Os pavimentos permeáveis são classificados em duas categorias: os porosos, com material totalmente permeável; e os com vazios, compostos por blocos intertravados com espaços entre eles. A implementação de pavimentos porosos, segundo Pinto (2011), alivia a sobrecarga das redes de drenagem, amenizando os impactos das chuvas intensas e promovendo um ambiente urbano mais resiliente. Ressalta-se, entretanto, que há a possibilidade de contaminação do lençol freático em determinadas áreas, sendo necessário avaliar a profundidade do aquífero e o uso do solo (Pinto, 2011). Figura 9 apresenta as camadas típicas de um pavimento permeável, evidenciando sua estrutura.

**Figura 9:** Camadas típicas de um pavimento permeável



Fonte: Oliveira (2018)

### 2.4.3 Jardins de chuva

O jardim de chuva, é um dispositivo projetado de modo a receber águas que escoam superficialmente próximas a ele, de modo a infiltrá-las no solo. É construído, em nível inferior ao de seu entorno, recebendo o plantio de espécies vegetais filtrantes, de preferência nativas, que contribuem para a purificação da água, o aumento da umidade do ar e a infiltração da água

no solo, além de servir de habitat para a fauna local (Santos, 2020). Compostos por solo drenante e vegetação adaptada, promovem a biorretenção de poluentes, o aumento da biodiversidade e a valorização paisagística. Segundo Almeida (2022), esses jardins representam soluções de baixo custo e alta eficiência, podendo ser facilmente integrados em ruas, praças, parques e residências, coletando os escoamentos das vias, calçadas e telhados, pois são de fácil manejo e proporcionam um ambiente atraente, agregando beleza e serventia, aprovado pela população, sendo uma solução para a micro drenagem das cidades contribuindo com a diminuição dos pontos de alagamentos (Barros, 2020). Essa técnica tem a característica de receber águas do escoamento superficial e também folgar as galerias pluviais, como é visto na Figura a seguir.

**Figura 10:** Escoamento para o jardim de chuva



Fonte: BARROS, 2020

O emprego dessas tecnologias evidencia uma mudança de paradigma no manejo das águas urbanas: do escoamento rápido e rígido para soluções descentralizadas, ecológicas e resilientes. Além da eficiência hidráulica, essas práticas se destacam pela multifuncionalidade, reunindo benefícios ambientais, sociais e econômicos, contribuindo para cidades mais sustentáveis, seguras e saudáveis.

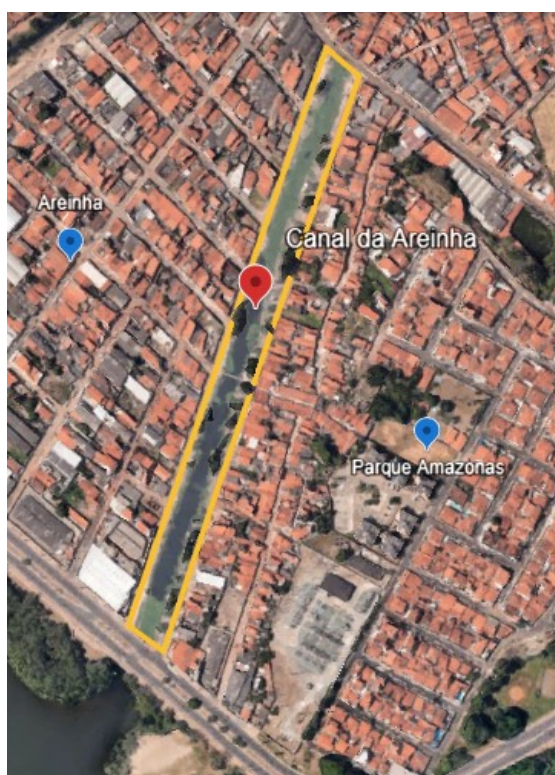
### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Apresentação da área de estudo**

O estudo de caso foi realizado na área do Canal da Areinha, localizado na cidade de São Luís – MA, um trecho urbano que há anos enfrenta problemas recorrentes de drenagem. A

região apresenta infraestrutura antiga e sistemas de escoamento comprometidos, agravados pelo crescimento desordenado e pela disposição inadequada de resíduos sólidos. Observa-se que, com o passar do tempo, a canalização existente tem se mostrado ineficiente, resultando em alagamentos frequentes e impactos socioambientais significativos. Diante desse cenário, torna-se essencial uma análise detalhada para identificar os principais fatores que contribuem para as falhas no sistema de drenagem e propor soluções eficazes para sua revitalização. Na imagem a seguir é possível observar a vista área do Canal em questão. A figura 11 mostra uma vista aérea da região de assentamento do canal.

**Figura 11:** Vista aérea do Canal da Areinha



Fonte: Google Earth, 2025.

**Figura 12:** Mapa de localização do Canal da Areinha



Fonte: Autores, 2026.

O canal se estende ao longo das avenidas Senador Vitorino Freire e dos Africanos, funcionando como um eixo de drenagem das águas pluviais e residuais de diversas áreas do entorno. A região apresenta ocupação mista, com comércios, órgãos públicos e moradias, sendo um ponto de passagem importante para a mobilidade urbana. Próximo ao canal, encontram-se instituições relevantes como o Tribunal Regional Eleitoral do Maranhão (TRE-MA) e o Tribunal Regional do Trabalho, além de pequenos estabelecimentos comerciais e residências que sofrem impactos diretos das condições da infraestrutura de drenagem. Ao longo dos anos, a área tem enfrentado problemas relacionados ao acúmulo de resíduos sólidos e ao assoreamento, fatores que comprometem sua capacidade de escoamento e aumentam o risco de inundações e alagamentos, como pode ser evidenciado pela figura 13.

**Figura 13:** Canal da Areinha



Fonte: Google Maps, 2025.

### **3.2 Diagnóstico da situação atual**

Inicialmente, realizou-se o levantamento e a caracterização da área de estudo, com base em análises visuais, registros fotográficos, imagens de satélite e dados cartográficos disponíveis em plataformas digitais. Essa etapa permitiu compreender a ocupação do entorno, as condições do canal existente, os principais pontos de alagamento e as interferências urbanas que comprometem o escoamento das águas pluviais.

Com base nas características geométricas do terreno e nas condições hidráulicas observadas, foi realizado o dimensionamento hidráulico do canal, adotando-se uma seção trapezoidal em concreto. O dimensionamento considerou parâmetros como largura de base, profundidade do escoamento, inclinação dos taludes, área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico. A vazão foi determinada por meio da equação de Manning, amplamente utilizada em projetos de canais abertos, considerando o coeficiente de rugosidade adequado ao revestimento em concreto e a declividade do canal.

Adicionalmente, foram avaliados critérios de estabilidade hidráulica, como a velocidade média do escoamento, a tensão de cisalhamento no fundo e a adoção de freeboard, garantindo condições seguras de operação e prevenindo processos erosivos e transbordamentos. A profundidade construtiva final foi definida a partir da soma da profundidade útil com a borda livre, assegurando margem de segurança para eventos de chuva intensa. Durante o diagnóstico da situação atual do Canal da Areinha, foram identificados diversos fatores que comprometem o desempenho hidráulico e as condições ambientais da área. Observa-se a ocupação irregular das margens do canal, a presença de assoreamento no leito e o acúmulo de resíduos sólidos,

elementos que reduzem a seção útil de escoamento e agravam o processo de degradação do sistema de drenagem. As Figuras 14, 15 e 16 ilustram essas condições observadas na área de estudo.

**Figura 14:** Resíduos sólidos



Fonte: Autores, 2026.

**Figura 15:** Assoreamento ao longo do canal



Fonte: Autores, 2026.

**Figura 16:** Ocupação irregular



Fonte: Autores, 2026.

### **3.3 Coleta e tratamento de dados**

O traçado de canais de drenagem constitui uma etapa fundamental para a gestão eficiente das águas pluviais, uma vez que contribui para a mitigação de alagamentos, processos erosivos e demais impactos associados ao escoamento superficial em áreas urbanas. Para a elaboração desse traçado, torna-se indispensável o conhecimento do relevo local, obtido a partir do perfil topográfico do terreno.

Entretanto, considerando os custos elevados associados à realização de levantamentos topográficos convencionais, optou-se pela utilização de uma alternativa digital de acesso gratuito, capaz de fornecer dados altimétricos com precisão compatível às necessidades iniciais do projeto. Dessa forma, os dados topográficos foram obtidos por meio do site Map Contour Creator, ferramenta online que possibilita a geração de curvas de nível a partir de modelos digitais de elevação disponíveis na internet.

Embora essa metodologia apresente limitações quanto à precisão quando comparada a levantamentos de campo, os dados obtidos mostraram-se adequados para a modelagem preliminar do terreno e para o desenvolvimento do traçado do canal de drenagem, atendendo aos objetivos propostos com praticidade e baixo custo.

Para gerar curvas de nível de um terreno usando o site Map Contour Creator, o processo é geralmente bem simples e direto. O site oferece uma ferramenta prática que permite criar curvas de nível a partir de dados de elevação.

Para a obtenção das curvas de níveis, foram seguidas as seguintes etapas:

### 3.3.1 Escolha da área de interesse

Inicialmente, acessou-se o site Map Contour Creator, que disponibiliza um mapa interativo. Com o auxílio da ferramenta de zoom e da barra de pesquisa, foi possível localizar a área correspondente ao trecho do canal de drenagem em estudo, seja por meio do nome do local ou pela inserção de coordenadas geográficas, conforme ilustrado na Figura 17.

**Figura 17:** Layout do Contour Map Creator



Fonte: Os autores (2025)

### 3.3.2 Definir as configurações da região

Após a localização do trecho de interesse, procedeu-se à delimitação da área a ser analisada, utilizando as ferramentas do próprio site, que permitem selecionar regiões em formato retangular ou quadrangular. Essa etapa foi essencial para restringir a geração das curvas de nível à área diretamente relacionada ao projeto do canal

### 3.3.3 Escolha do Intervalo das Curvas de Nível

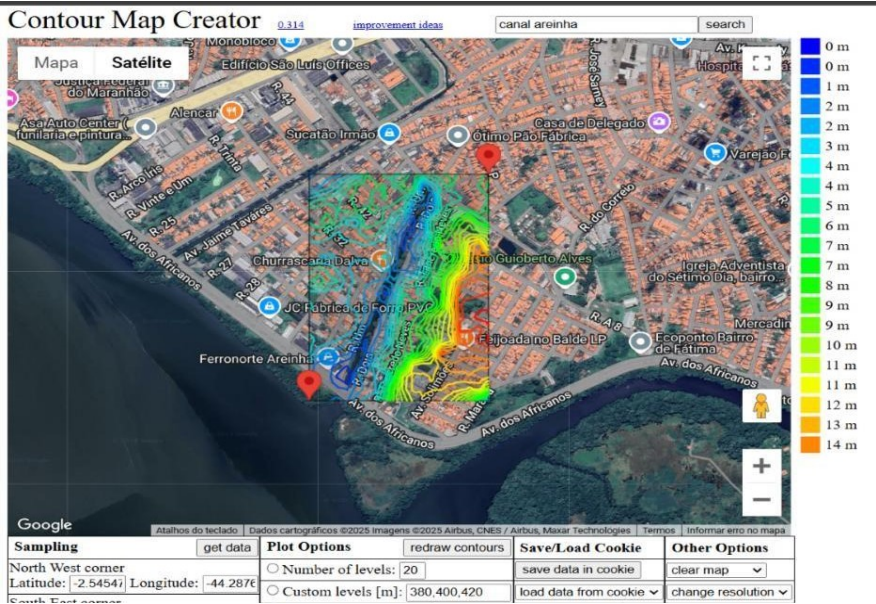
Uma vez definida a área, o site possibilita a configuração do intervalo entre as curvas de nível. Em linhas gerais, isso significa escolher o valor de altura — como 1 metro, 2 metros ou 5 metros — entre cada curva gerada. Para o presente projeto, optou-se pela utilização de um único intervalo. Ademais, é válido ressaltar que a escolha desse intervalo pode depender do tipo de terreno: áreas mais acidentadas podem exigir intervalos menores, enquanto terrenos planos permitem a adoção de intervalos maiores.

3.3.4 Obtenção das Curvas de Níveis

Após a definição dos parâmetros, as curvas de nível foram geradas automaticamente por meio do comando “Get Data”, que processa os dados de elevação da área selecionada. O resultado consistiu em um mapa topográfico composto por curvas de nível representando diferentes altitudes do terreno, conforme apresentado na Figura 18.

As curvas de nível permitem a análise do relevo local, indicando áreas de maior e menor declividade, fundamentais para a compreensão dos fluxos naturais da água e para o planejamento do sistema de drenagem.

Figura 18: Curvas de níveis do terreno



Fonte: Os autores (2025)

As curvas de nível permitem a análise do relevo local, indicando áreas de maior e menor declividade, fundamentais para a compreensão dos fluxos naturais da água e para o planejamento do sistema de drenagem.

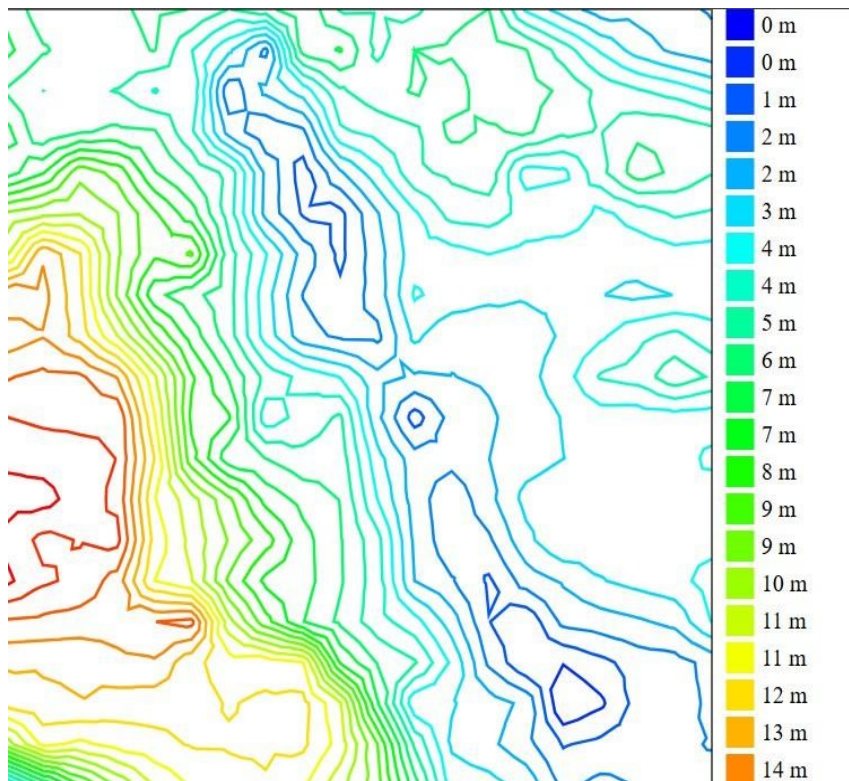
A figura 19 representa um mapa topográfico com curvas de nível coloridas que indicam variações de altitude entre 0 e 14 metros. As curvas conectam pontos de mesma elevação e são usadas para entender a forma do relevo. Quanto mais próximas as curvas estão umas das outras, maior é a inclinação do terreno; quanto mais afastadas, mais plano é o local.

A legenda lateral mostra a escala de altitude em metros, com cores que variam do azul (níveis mais baixos) ao vermelho (níveis mais altos). As áreas em azul escuro representam regiões mais baixas e planas, possivelmente onde se concentram canais de drenagem ou cursos

d'água. Já as áreas em verde, amarelo e vermelho, localizadas principalmente no lado esquerdo da imagem, indicam zonas mais elevadas, como encostas ou morros.

Esse tipo de mapa é útil para identificar fluxos naturais de água, planejar sistemas de drenagem urbana e localizar áreas com risco de alagamento, além de orientar obras de infraestrutura e ocupação do solo.

**Figura 19:** Mapa topográfico com curvas de níveis

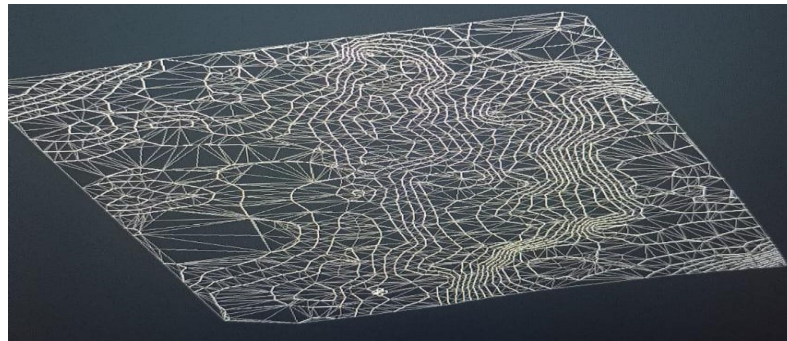


Fonte: Os autores (2025)

### 3.3.5 Exportação das curvas para o civil 3D

Após seguir as etapas da criação das curvas, foi gerado um arquivo .kml e exportado para o civil 3d, em que foi possível visualizar o perfil do terreno em 3D, para que as etapas posteriores do traçado do canal sejam executadas, conforme indica a figura 20.

**Figura 20:** Curvas de níveis do terreno



Fonte: Os autores (2025)

### **3.4 Dimensionamento**

#### **3.4.1 Largura de base (b)**

A largura da base  $b$  corresponde à porção inferior do canal em contato direto com o escoamento. Sua definição está associada a critérios hidráulicos, geotécnicos e construtivos, devendo ser dimensionada de forma a permitir o escoamento adequado sem provocar velocidades excessivas que possam gerar processos erosivos.

Uma base muito estreita tende a elevar a velocidade do escoamento, enquanto uma base muito larga eleva o volume de escavação e os custos de implantação. Dessa forma, a escolha de  $b$  representa um equilíbrio entre segurança hidráulica, viabilidade técnica e economia do projeto. Em aplicações práticas, a largura da base tem sido ajustada para possibilitar maior eficiência hidráulica aliada à estabilidade da seção.

#### **3.4.2 Profundidade do escoamento (y)**

A profundidade do escoamento  $y$  representa a altura da lâmina d'água no interior do canal para a vazão de projeto. Esse parâmetro é fundamental, pois influencia diretamente a área molhada, o perímetro molhado e, conseqüentemente, a vazão transportada.

A profundidade é definida de forma a garantir que a vazão de projeto seja conduzida integralmente pela seção, sem risco de extravasamento. Em situações reais de dimensionamento, essa profundidade é ajustada considerando não apenas a vazão crítica, mas também critérios de segurança hidráulica e limitações construtivas.

### 3.4.3 Inclinação dos taludes (m)

A inclinação dos taludes  $m$ , expressa na relação horizontal/vertical (H/V), determina o grau de abertura das paredes laterais do canal. Sua escolha depende diretamente das características geotécnicas do solo local e das condições de estabilidade dos taludes.

$$m = \frac{\text{horizontal}}{\text{vertical}}$$

Taludes mais suaves proporcionam maior estabilidade, principalmente em solos pouco coesivos ou sujeitos à erosão, enquanto taludes mais íngremes reduzem a largura total da seção, mas exigem maior resistência do material e, em alguns casos, a utilização de revestimento.

Na prática, a inclinação dos taludes é definida de forma a evitar processos de deslizamento e garantir a integridade estrutural do canal ao longo de sua vida útil..

### 3.4.4 Cálculo dos parâmetros hidráulicos

#### 3.4.4.1 Vazão de projeto ( $Q_p$ )

A vazão de projeto é utilizada como referência principal para o dimensionamento e a verificação dos elementos do sistema de drenagem, como canais, galerias e dispositivos de controle de escoamento. A partir desse valor, definem-se as seções hidráulicas, declividades e velocidades de escoamento, bem como se avalia a capacidade de condução das estruturas frente ao evento chuvoso considerado.

$$Q_p = \frac{C \cdot i \cdot A_{(ha)}}{3,6}$$

- $C$  = coeficiente de escoamento (adimensional).
- $i$  = intensidade de chuva para  $t = t_c$  e  $T_r$  (mm/h).
- $A$  = área da bacia em hectares (1 ha = 10.000 m<sup>2</sup>).
- conversão de mm·ha/h → m<sup>3</sup>/s.

Após a definição da geometria, foram determinados os parâmetros responsáveis pela caracterização hidráulica da seção.

#### 3.4.4.2 Área molhada (A)

A área molhada corresponde à região da seção transversal ocupada pela água em escoamento. Para a seção trapezoidal, é calculada por:

$$by + my^2$$

- A – área molhada ( $m^2$ )
- b – base inferior (m)
- y – profundidade útil (m)
- m – inclinação do talude (adimensional)

Conforme apresentado por Hasan, Bhuiyan e Monsur (2005), a área molhada de uma seção trapezoidal é função direta da largura de base, da profundidade do escoamento e da inclinação dos taludes laterais, representando a região efetivamente ocupada pela água no canal e, portanto, diretamente relacionada à sua capacidade de transporte.

Esse parâmetro representa o espaço disponível para o escoamento da vazão. Quanto maior a área molhada, menor tende a ser a velocidade do escoamento para uma mesma vazão, o que pode contribuir para a redução do risco de erosão no leito e nas paredes do canal.

Na prática do dimensionamento hidráulico, a área molhada é utilizada como base para o cálculo da velocidade média e é essencial na aplicação da equação de Manning.

#### **3.4.4.3 Raio hidráulico (R)**

O raio hidráulico é definido pela razão entre a área molhada e o perímetro molhado:

Variáveis:

- R – raio hidráulico (m)
- A – área molhada ( $m^2$ )
- P – perímetro molhado (m)

De acordo com o Urban Drainage Design Manual (HEC-22), o raio hidráulico é definido como a razão entre a área molhada e o perímetro molhado, funcionando como um indicador geométrico da eficiência da seção do canal em conduzir o escoamento com menor perda de energia.

Esse parâmetro fornece uma medida da eficiência geométrica do canal, pois relaciona a quantidade de água que pode escoar com a extensão de superfície que provoca atrito.

Quanto maior o raio hidráulico, menor é a influência relativa do atrito, favorecendo um escoamento mais eficiente. Por esse motivo, ele é amplamente utilizado no dimensionamento de canais e na estimativa da vazão por meio da equação de Manning.

#### **3.4.5 Características do escoamento**

Com os parâmetros geométricos definidos, podem ser determinadas as características do escoamento, que permitem avaliar a eficiência e a segurança do canal.

### 3.4.5.1 Velocidade média (V)

A velocidade média do escoamento é obtida pela relação entre a vazão e a área molhada:

$$V=Q/A$$

- V – velocidade média do escoamento (m/s)
- Q – vazão (m³/s)
- A – área molhada (m²)

Autores como Hasan et al. (2005) descrevem que a velocidade média do escoamento em canais abertos pode ser estimada pela razão entre a vazão e a área molhada da seção, permitindo a análise do comportamento hidráulico e a verificação de possíveis processos erosivos.

Esse parâmetro é essencial para a análise do comportamento do fluxo, pois velocidades excessivas podem causar erosão no fundo e nas paredes do canal, enquanto velocidades muito baixas podem favorecer o depósito de sedimentos e o assoreamento.

Na prática, a velocidade média é comparada com valores recomendados para diferentes tipos de revestimento e materiais do leito, permitindo avaliar se o canal operará dentro de condições seguras.

### 3.4.5.2 Vazão pelo método de Manning (Q)

A vazão do canal é calculada pela equação de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

Onde:

- Q – vazão (m³/s)
- n – coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)
- A – área molhada (m²)
- R – raio hidráulico (m)
- S – declividade do canal (m/m)

Estudos recentes, como o de Azari *et al.* (2022), indicam que a equação de Manning permanece como uma das principais expressões empíricas para estimativa da vazão em canais abertos, relacionando as propriedades geométricas da seção com a rugosidade do material e a declividade do fundo.

Essa equação relaciona as propriedades geométricas da seção com a rugosidade do material e a inclinação do fundo. Trata-se de uma das equações mais utilizadas em projetos de canais de drenagem devido à sua confiabilidade e simplicidade de aplicação.

Com essa formulação, é possível verificar se a seção escolhida é capaz de transportar a vazão de projeto em condições normais de escoamento.

### 3.4.6 Análise da estabilidade hidráulica

Além da capacidade de transporte de vazão, é necessário analisar se o canal resistirá às forças atuantes sem sofrer processos erosivos significativos.

#### 3.4.6.1 Tensão de cisalhamento no fundo ( $\tau_b$ )

A tensão de cisalhamento no fundo do canal é calculada por:

$$\tau_b = \gamma_w RS$$

Onde:

tau – tensão de cisalhamento no fundo (N/m<sup>2</sup>)

gamma – peso específico da água ( $\approx 9810$  N/m<sup>3</sup>)

R – raio hidráulico (m)

S – declividade (m/m)

De acordo com *Bong et al.* (2021), a tensão de cisalhamento atuante no fundo do canal pode ser determinada pela multiplicação do peso específico da água pelo raio hidráulico e pela declividade do fundo, sendo esse parâmetro essencial para a análise da estabilidade do leito e dos taludes.

Esse parâmetro representa a força exercida pela água sobre o leito do canal. Quando a tensão de cisalhamento ultrapassa a tensão crítica do material do fundo, ocorre desprendimento de partículas, caracterizando processos erosivos.

Essa análise permite verificar se será necessário o uso de revestimentos, como concreto, ou vegetação, para proteger o canal e garantir sua estabilidade ao longo do tempo.

#### 3.4.6.2 Freeboard (f)

Segundo recomendações técnicas do DNIT, o freeboard consiste em uma altura adicional acima do nível máximo da água, usada como margem de segurança para prevenir transbordamentos em situações excepcionais, como entupimentos ou chuvas intensas.

Geralmente, são utilizados valores entre 0,20 m e 0,50 m, a depender da importância da obra e das condições locais.

Esse acréscimo é considerado no dimensionamento final da seção e na definição da altura dos taludes.

#### **3.4.6.3 Profundidade construtiva ( $y_{\text{cons}}$ )**

A profundidade construtiva corresponde à profundidade final do canal que será executada em obra. Ela resulta da soma da profundidade do escoamento com o freeboard:

$$y_{\text{cons}} = y + f$$

- profundidade construtiva (m)
- $y$  – profundidade útil (m)
- $f$  – borda livre (m)

A profundidade construtiva de um canal de drenagem é um parâmetro fundamental no seu dimensionamento, pois está diretamente relacionada à capacidade de escoamento da seção e ao controle de cheias em períodos de chuva intensa. A definição dessa profundidade deve considerar a vazão de projeto, a área de contribuição e o regime pluviométrico da região, uma vez que profundidades insuficientes podem resultar em extravasamentos, enquanto valores excessivos podem provocar instabilidades nos taludes e elevação dos custos de implantação e manutenção (Chow; Maidment; Mays, 1988)

Esse valor é utilizado diretamente nos projetos executivos, pois representa a profundidade total de escavação e a altura real do canal. A adoção desse parâmetro garante que, mesmo em situações extremas, o nível da água não ultrapasse os limites da seção projetada.

#### **3.4.7 Justificativa geral da metodologia adotada**

A metodologia adotada integra critérios geométricos e hidráulicos que garantem um dimensionamento seguro, eficiente e tecnicamente fundamentado. O uso conjunto da área molhada, do perímetro molhado, do raio hidráulico, da equação de Manning e da tensão de cisalhamento permite avaliar não apenas a capacidade de transporte de vazão, mas também a estabilidade estrutural e hidráulica do canal.

Essa abordagem é amplamente utilizada em projetos de drenagem urbana e rural, sendo reconhecida por sua confiabilidade e aplicabilidade em diferentes contextos. Dessa forma, assegura-se que o canal dimensionado atenderá às exigências hidráulicas e operacionais previstas no escopo deste trabalho.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Dimensionamento analítico da seção do canal

#### 4.1.1 Vazão de projeto ( $Q_p$ )

A vazão de projeto foi utilizada como parâmetro fundamental para o dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem, representando a condição crítica de escoamento superficial associada ao evento chuvoso de projeto. Seu valor foi definido de modo a garantir a segurança hidráulica das estruturas, assegurando que a capacidade de condução seja suficiente para escoar a descarga máxima prevista sem ocorrência de extravasamentos ou sobrecargas.

$$C \cdot i = 0,7 \times 114,0 = 79,8(\text{mm/h})$$

$$79,8 \times A = 79,8 \times 9,02 = 720(\text{mm} \cdot \text{ha/h})$$

$$Q_p = \frac{720}{3,6} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor da vazão de projeto obtido mostra-se coerente com o estudo desenvolvido, uma vez que foi determinado a partir de parâmetros hidrológicos compatíveis com as características físicas da bacia, o uso e ocupação do solo e o evento de chuva adotado. A metodologia empregada, baseada no método racional, é amplamente utilizada em estudos de drenagem urbana e, quando aplicada dentro de seus limites de validade, fornece resultados consistentes para bacias de pequena e média extensão. Dessa forma, a vazão calculada representa adequadamente o comportamento hidrológico da área em análise, sendo compatível com as hipóteses adotadas e adequada aos objetivos do dimensionamento proposto (TUCCI, 2009).

Dessa forma, a adoção da vazão de projeto permite avaliar o desempenho do sistema sob condições desfavoráveis, servindo como base para a verificação da eficiência, da estabilidade e da adequação das soluções propostas.

#### 4.1.2 Área molhada

Considerando a estimativa de uma base inferior de 16,00 m, uma profundidade útil de 3,740 m e taludes adotados na proporção de 0,50 H/V, obteve-se uma área molhada correspondente a 66,83 m.

$$A = 16 \cdot 3,74 + 0,5 \cdot (3,74)^2 = 59,84 + 6,9938 \approx \mathbf{66,8338 \text{ m}^2}$$

Esse valor representa a área efetivamente ocupada pela água e demonstra que a seção projetada é capaz de comportar a vazão prevista de forma eficiente, uma vez que áreas maiores tendem a reduzir velocidades e melhorar o escoamento.

A área molhada obtida demonstra que a seção trapezoidal apresenta boa capacidade de escoamento, uma vez que valores elevados tendem a reduzir a velocidade média e aumentar a eficiência hidráulica. Estudos de Hasan *et al.* (2005) mostram que áreas molhadas acima de 50 m<sup>2</sup> em canais trapezoidais urbanos são comuns em bacias com contribuição superior a 10.000 m<sup>2</sup>, reforçando a coerência do valor encontrado.

#### 4.1.3 Perímetro molhado

O perímetro molhado obtido apresenta um valor numérico referente a 24,36 m, por intermédio do método de cálculo que considera o comprimento do fundo e dos taludes em contato com o escoamento.

$$P = 16 + 2 \cdot 3,74\sqrt{1 + 0,5^2} = 16 + 7,48 \cdot \sqrt{1,25}$$

$$\sqrt{1,25} \approx 1,11803 \Rightarrow P \approx 16 + 7,48 \cdot 1,11803 \approx \mathbf{24,3629 \text{ m}}$$

O que indica uma seção com alta eficiência geométrica. O valor obtido é compatível com seções de alta eficiência hidráulica. Segundo o *HEC-22* (2009), valores de *R* acima de 2 m indicam geometrias capazes de minimizar perdas de energia por atrito, promovendo um escoamento mais eficiente, no que se refere a canais com grande área molhada.

Valores elevados desse parâmetro significam menor influência do atrito ao longo do canal, permitindo

#### 4.1.4 Raio hidráulico

Para o cálculo do raio hidráulico, aplicou-se a relação entre a área molhada e o perímetro molhado. Substituindo-se os valores encontrados:

$$R = \frac{A}{P} \approx \frac{66,8338}{24,3629} \approx \mathbf{2,7433 \text{ m}}$$

O que indica uma seção com alta eficiência geométrica. O valor obtido é compatível com seções de alta eficiência hidráulica. Segundo o *HEC-22* (2009), valores de *R* acima de 2 m indicam geometrias capazes de minimizar perdas de energia por atrito, promovendo um escoamento mais eficiente, no que se refere a canais com grande área molhada.

Valores elevados desse parâmetro significam menor influência do atrito ao longo do canal, permitindo uma condução mais eficaz da água e reduzindo perdas de energia no escoamento.

#### 4.1.5 Velocidade média

A velocidade média do escoamento foi obtida a partir da relação entre a vazão de projeto e a área molhada da seção. Utilizando a expressão:

$$V = \frac{200}{66,8338} \approx 2,9925 \text{ m/s}$$

Obtém-se uma velocidade média de aproximadamente **2,99 m/s**.

Conforme Porto (2006), velocidades entre 1,5 m/s e 3,5 m/s são adequadas para evitar tanto sedimentação quanto erosão excessiva, o que evidencia que o valor obtido é tecnicamente aceitável. Ademais, o quantitativo encontrado enquadra-se na faixa recomendada para canais de drenagem, abrangendo a faixa recomendada para canais com fundo em solo compactado ou revestimento leve.

Além disso, Segundo Tucci (2012), velocidades próximas a 3 m/s são comuns em sistemas de drenagem principais, especialmente em bacias urbanizadas de médio e grande porte, sendo consideradas adequadas para evitar o acúmulo de sedimentos e, ao mesmo tempo, não ultrapassar limites que possam comprometer os taludes.

#### 4.1.6 Vazão calculada pela fórmula de manning

A capacidade hidráulica da seção obtida com a equação de Manning corresponde 503,21 m<sup>3</sup>/s. O cálculo segue abaixo:

$$Q_{Manning} = \frac{1}{0,015} \times 66,8338 \times (2,7433)^{2/3} \times \sqrt{0,0033215} \approx 503,21 \text{ m}^3/\text{s}$$

A capacidade hidráulica calculada pela equação de Manning indica que a seção projetada apresenta considerável folga em relação à vazão de projeto (200 m<sup>3</sup>/s). Em estudos de otimização de canais urbanos, Azari et al. (2022) observaram que seções trapezoidais eficientes apresentam capacidade até 2,5 vezes maior que a vazão de projeto para garantir segurança hidráulica, comportamento semelhante ao encontrado.

#### 4.1.7 Tensão de fundo

Para a tensão de cisalhamento no fundo, obteve-se o valor de **89,39 N/m<sup>2</sup>**, calculado por meio da expressão:

$$\tau_b = 9810 \times 2,7433 \times 0,0033215 \approx 89,39 \text{ N/m}^2$$

O valor calculado da tensão de cisalhamento no fundo está dentro do intervalo típico para escoamentos de grande porte. Bong, Lai e Shyu (2021) indicam que tensões entre 60 e 120

N/m<sup>2</sup> são capazes de mobilizar sedimentos finos e exigir revestimento resistente em canais, reforçando que o valor obtido exige atenção a medidas de proteção e estabilização.

Conforme apresentado por Simons e Şentürk (1992), valores de tensão que se aproximam ou ultrapassam os limites de resistência do material de fundo indicam tendência à instabilidade, exigindo revestimentos resistentes ou intervenções de estabilização. Os autores destacam que tensões da ordem de 80 a 100 N/m<sup>2</sup> já são suficientemente elevadas para mobilizar sedimentos finos e provocar desgaste progressivo do leito em canais naturais ou artificiais, o que está de acordo com o valor observado neste estudo (89,39 N/m<sup>2</sup>), reforçando a necessidade de medidas de proteção na estrutura projetada.

#### 4.1.8 Freboard adotado

O freeboard adotado para o canal foi de 0,30 m, valor incorporado à profundidade útil para determinação da profundidade construtiva. Esse valor escolhido é coerente com diretrizes técnicas e garante maior segurança contra transbordamentos, principalmente em situações de eventos extremos. Ademais, O DNIT (2006) indica valores entre 0,20 m e 0,50 m para canais de drenagem sujeitos a variações bruscas de vazão.

#### 4.1.9 Profundidade construtiva

De acordo com Tucci (2012), a adoção de profundidade útil somada ao freeboard resulta em seções operacionalmente seguras e menos propensas a transbordamentos.

$$y_{cons} = y + f = 3,74 + 0,30 = \mathbf{4,04\ m}$$

A profundidade construtiva obtida (y-cons) segue a prática recomendada em manuais de drenagem, que sugerem a inclusão de margem de segurança acima da lâmina útil de escoamento.

**Tabela 1:** Resumo do dimensionamento

| Parâmetro                          | Símbolo | Equação / Expressão | Valor   | Unidade        |
|------------------------------------|---------|---------------------|---------|----------------|
| Base inferior (fundo)              | b       | —                   | 16,00   | m              |
| Profundidade útil                  | y       | —                   | 3,740   | m              |
| Talude (horizontal/vertical)       | m       | —                   | 0,50    | adim.          |
| Largura superior (borda d'água)    | B       | $B = b + 2my$       | 19,740  | m              |
| Diferença das bases (topo – fundo) | 2my     | 2my                 | 3,740   | m              |
| Área molhada                       | A       | $A = by + my^2$     | 66,8338 | m <sup>2</sup> |

|                          |                      |                                                |         |                   |
|--------------------------|----------------------|------------------------------------------------|---------|-------------------|
| Perímetro molhado        | P                    | $P = b + 2y\sqrt{1 + m^2}$                     | 24,3629 | m                 |
| Raio hidráulico          | R                    | $R = A / P$                                    | 2,7433  | m                 |
| Vazão projetada (alvo)   | Q                    | —                                              | 200,00  | m <sup>3</sup> /s |
| Velocidade média         | V                    | $V = Q / A$                                    | 2,9925  | m/s               |
| Capacidade (Manning)     | $Q_{\text{manning}}$ | $(1/n) \cdot A \cdot R^{(2/3)} \cdot \sqrt{S}$ | 503,21  | m <sup>3</sup> /s |
| Tensão de fundo          | $\tau_\beta$         | $\tau_\beta = \gamma_w \cdot R \cdot S$        | 89,39   | N/m <sup>2</sup>  |
| Freeboard adotado        | f                    | —                                              | 0,30    | m                 |
| Profundidade construtiva | y_cons               | y + f                                          | 4,040   | m                 |

Fonte: Os autores (2025)

#### 4.2 Modelagem no software Autodesk Civil 3D

A modelagem geométrica e hidráulica do canal dimensionado foi desenvolvida no software Autodesk Civil 3D, ferramenta amplamente utilizada em engenharia civil por sua robustez, precisão e integração entre elementos topográficos, projetuais e análises tridimensionais. O canal projetado, representado nas Figuras 21 e 22, possui seção trapezoidal possui comprimento total de 546,44m. No Civil 3D, as dimensões encontradas foram aplicadas à modelagem longitudinal do canal, permitindo a geração automática das seções ao longo de toda a extensão do trecho modelado, o que proporciona uma visualização precisa da conformação final da estrutura e sua compatibilidade com o terreno natural. A utilização do Civil 3D confere maior segurança ao processo projetual, uma vez que possibilita o controle rigoroso de cotas, inclinações, volumes de escavação, geometria das seções transversais e uniformidade do canal ao longo do traçado. Além disso, o software oferece recursos que minimizam erros geométricos e garantem maior coerência entre a concepção hidráulica e a execução em campo.

**Figura 21:** Seção do canal trapezoidal



Fonte: Os autores (2025)



**Figura 22:** Modelagem do Canal trapezoidal

Fonte: Os autores (2025)

A utilização do Civil 3D confere maior segurança ao processo projetual, uma vez que possibilita o controle rigoroso de cotas, inclinações, volumes de escavação, geometria das seções transversais e uniformidade do canal ao longo do traçado. Além disso, o software oferece recursos que minimizam erros geométricos e garantem maior coerência entre a concepção hidráulica e a execução em campo.

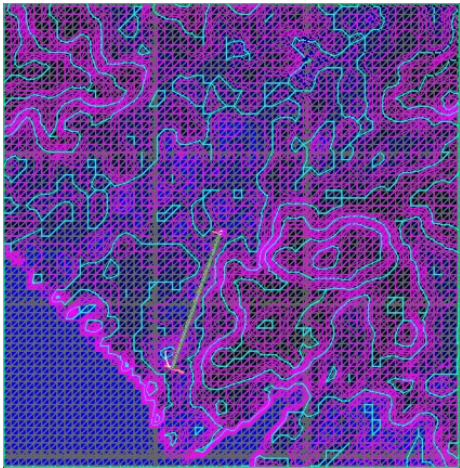
### **4.3 Análise computacional da área de assentamento do canal**

#### **4.3.1 Diagrama de elevação**

O diagrama apresentado na figura 23 corresponde a uma representação espacial gerada no Civil 3D, composta por curvas de nível sobrepostas a uma malha triangular (TIN). As curvas de nível, destacadas em magenta, evidenciam a variação altimétrica do terreno, permitindo visualizar áreas mais elevadas e depressões naturais. A malha de triângulos, exibida em fundo azul-acqua, representa o Modelo Digital de Terreno utilizado para interpolar as cotas e garantir a continuidade da superfície.

A combinação dessas duas camadas possibilita uma leitura detalhada do relevo, facilitando a identificação de direções preferenciais de escoamento, divisores topográficos e zonas de acumulação. Essa representação caracterizou-se como uma ferramenta fundamental para a análise da drenagem e definição de traçado do canal para o entendimento geral da morfologia do terreno no processo de projeto.

Figura 23: Modelagem do Canal trapezoidal



Fonte: Os autores (2025)

A Tabela de Elevações apresentada na figura 20 complementa o diagrama hipsométrico gerado no Civil 3D, organizando os intervalos altimétricos do terreno e quantificando a área correspondente a cada faixa de cota.

Figura 24: Tabela de elevações

| Elevations Table |                   |                   |           |       |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------|
| Number           | Minimum Elevation | Maximum Elevation | Area      | Color |
| 1                | -5.00             | 3.24              | 706948.44 |       |
| 2                | 3.24              | 5.77              | 878398.29 |       |
| 3                | 5.77              | 10.00             | 969330.21 |       |
| 4                | 10.00             | 28.00             | 848605.37 |       |

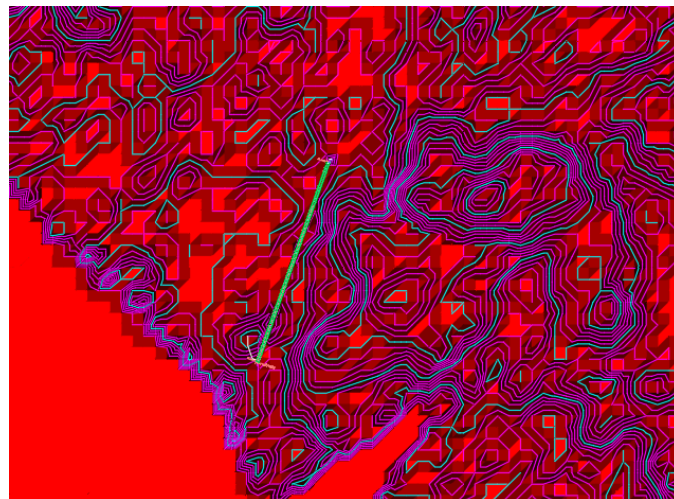
Fonte: Os autores (2025)

Cada classe reúne um intervalo definido entre a elevação mínima e máxima, permitindo visualizar a distribuição espacial do relevo de forma segmentada. Essa classificação facilitou a interpretação da topografia e auxiliou na identificação de regiões mais baixas.

#### 4.3.2 Diagrama de inclinação

O diagrama de inclinação gerado no Civil 3D desempenhou um papel essencial na definição do traçado do canal projetado. A representação cromática em escala de vermelhos permitiu identificar com clareza as variações de declividade ao longo do terreno, destacando trechos com maior inclinação — indicados por tons mais escuros — e áreas com declividade mais suave, representadas por tons mais claros. Essas informações foram decisivas para orientar o alinhamento do canal, priorizando trajetos onde o escoamento superficial se desenvolve naturalmente e evitando segmentos de declividade excessiva que poderiam gerar velocidades incompatíveis com o dimensionamento hidráulico ou exigir obras de contenção e dissipação de energia.

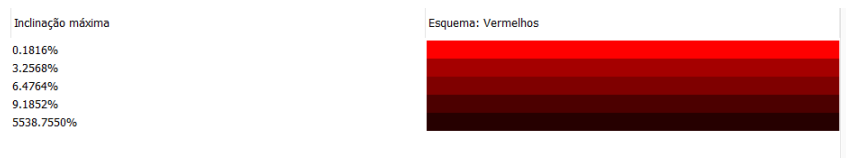
**Figura 25:** Tabela de elevações



Fonte: Os autores (2025)

A tabela de inclinações complementa o diagrama ao organizar numericamente as faixas de declividade identificadas, variando desde valores mínimos, inferiores a 1%, até valores muito elevados, que evidenciam zonas críticas do relevo. Essa segmentação permitiu analisar com precisão os trechos mais favoráveis para o canal, garantindo que o traçado acompanhasse a morfologia natural do terreno e reduzindo interferências, movimentação de solo e esforços estruturais.

Figura 26: Tabela de elevações



Fonte: Os autores (2025)

Sob esse prisma, o diagrama e a tabela de inclinação constituíram ferramentas analíticas fundamentais, permitindo que o traçado do canal aproveitasse as condições naturais do terreno, garantisse eficiência hidráulica, reduzisse intervenções e assegurasse maior confiabilidade técnica ao projeto.

De forma geral, os resultados obtidos a partir do dimensionamento hidráulico e da análise geométrica da seção proposta indicam que a revitalização do Canal da Areinha apresenta viabilidade técnica para atender às demandas de drenagem urbana da área estudada. Os parâmetros calculados, como vazão, velocidade média, tensão de fundo e freeboard adotado, demonstram que a seção em concreto é capaz de conduzir adequadamente as águas pluviais, reduzindo a ocorrência de extravasamentos e alagamentos recorrentes. Assim, os resultados reforçam a importância da adoção de soluções estruturais adequadas e compatíveis com as características locais, contribuindo para a melhoria do desempenho hidráulico e para a mitigação dos impactos causados por eventos de chuva intensa em ambientes urbanos.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento do projeto de um canal de drenagem urbana para o bairro Areinha, em São Luís–MA, área que historicamente apresenta recorrentes problemas de alagamentos, erosão das margens e comprometimento das condições ambientais e de mobilidade urbana. A partir da análise da situação atual, do levantamento topográfico e da aplicação dos critérios técnicos e normativos vigentes, foi possível elaborar uma solução de engenharia adequada às características físicas, hidráulicas e urbanas da região.

Os resultados obtidos por meio do dimensionamento hidráulico demonstraram que a seção trapezoidal em concreto proposta apresenta capacidade suficiente para conduzir a vazão de projeto, garantindo velocidades compatíveis com a estabilidade do escoamento e tensões de cisalhamento inferiores aos limites críticos do material adotado. A consideração do freeboard e da profundidade construtiva reforça a segurança hidráulica do canal, reduzindo o risco de

extravasamentos mesmo em eventos de chuva mais intensa, comuns no regime pluviométrico local.

A modelagem computacional realizada no software Autodesk Civil 3D permitiu uma análise mais precisa do traçado e da implantação do canal, evidenciando a adequação da solução proposta à morfologia do terreno e contribuindo para a minimização de movimentações de solo e interferências urbanas. Dessa forma, o uso de ferramentas computacionais mostrou-se essencial para a validação técnica do projeto e para o aprimoramento da confiabilidade dos resultados obtidos.

Além dos aspectos técnicos, o projeto do canal de drenagem apresenta impactos positivos significativos no contexto urbano e social do bairro Areinha. A melhoria do escoamento das águas pluviais contribui para a redução de alagamentos, para a preservação das vias públicas, para o controle de processos erosivos e para a diminuição da exposição da população a águas contaminadas, refletindo diretamente na melhoria da qualidade de vida e da saúde pública.

Conclui-se, portanto, que o projeto do canal de drenagem proposto é tecnicamente viável e adequado às necessidades da área de estudo, configurando-se como uma solução eficaz para a mitigação dos problemas de drenagem urbana no bairro Areinha. Espera-se que este trabalho possa servir como referência para futuras intervenções similares em áreas urbanas com características análogas, bem como contribuir para o planejamento e a gestão sustentável da infraestrutura de drenagem urbana em São Luís-MA.

## REFERÊNCIAS

ABCP; ABESC. **Conceitos e requisitos para pavimentos de concreto permeável**. São Paulo: ABCP, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12266: Sistemas de drenagem urbana – Diretrizes para projeto**. Rio de Janeiro, 2023.

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Panorama da drenagem urbana no Brasil**. Brasília, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:1989 – Drenagem urbana**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:1989 – Sistema de drenagem de águas pluviais urbanas – Projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

AZARI, A.; HAGHIGHI, A.; ZAHRAIE, B. **Sensitivity analysis of hydraulic parameters in trapezoidal channels**. Flow Measurement and Instrumentation, v. 84, p. 102122, 2022.

BARROS, A. C. **Jardim de chuva: sistema de controle de inundação**. Anápolis: UniEvangélica, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil).

BONG, C. H.; LAI, S. H.; SHYU, G. S. **Performance evaluation of drainage channels under extreme runoff events**. Journal of Hydro-environment Research, v. 35, p. 45–56, 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Hidrologia e Drenagem**. Rio de Janeiro, 2006.

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

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

DEFLOR BIOENGENHARIA. **Sistema de drenagem**. Contagem: Deflor, 2023. Disponível em: <https://www.deflor.com.br/sistema-de-drenagem/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

DIAS, C. A.; ANTUNES, J. **Gestão de sistemas de drenagem urbana**. Rio de Janeiro: ABES, 2010.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). **Hydraulic Engineering Circular No. 22 – Urban Drainage Design Manual (HEC-22)**. Washington, D.C., 2009.

FERREIRA, J. C.; MARTINS, C. S. **Engenharia de drenagem urbana**. São Paulo: Blucher, 2004.

GOLDENFUM, J. A. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

HASAN, M.; NAGHAVI, B.; MARSALEK, J. **Flow resistance and hydraulic performance of trapezoidal open channels**. Journal of Hydraulic Engineering, v. 131, n. 8, p. 605–613, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vulnerabilidade social e impactos ambientais nas áreas urbanas**. Rio de Janeiro, 2023.

LIMA, A. B. S. **Drenagem urbana: fundamentos, projeto e implantação**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MENDES, R.; SANTOS, T. **Planejamento urbano e a drenagem sustentável**. Porto Alegre: Editora Técnica, 2022.

MENDONÇA, P.; SANTIS, R. **Inundações e ocupação irregular de margens fluviais**. Revista de Geografia Urbana, v. 8, n. 2, p. 101–120, 2000.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. **Drenagem urbana sustentável**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; SILVA, F. **Infraestrutura urbana e controle de enchentes: soluções estruturais e sustentáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

MORAIS, B. et al. **Os telhados verdes na política ambiental e como medida mitigadora das inundações urbanas: uma revisão sistêmica**. Labor & Eng., Campinas, v. 15, p. 1–12, e021018, 2021.

OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde. **Doenças relacionadas à água e saneamento inadequado nas cidades brasileiras**. Brasília, 2023.

PINTO, A. de S. **Drenagem urbana: planejamento e projetos**. São Paulo: Edusp, 2005.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC–USP, 2006.

PORTO, R. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. São Paulo: ABRH, 2007.

SANTOS, A.; CALVÁRIO, A.; SOUZA, J. **Sistemas compensatórios de drenagem urbana: um estudo sobre a aplicabilidade dos poços de infiltração**. Vitória: IFES, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação Lato Sensu em Engenharia de Infraestrutura Urbana).

SILVA, M. R.; SOUZA, T. L.; PEREIRA, A. F. **Resíduos sólidos urbanos e impactos ambientais nas áreas de drenagem**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 2, p. 45–56, 2021.

SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia urbana: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

SOUZA, R. M.; SILVA, P. A. **Gestão da drenagem urbana e impactos das mudanças no uso do solo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 26, n. 4, 2021.

TRAVASSOS, L. C. **Sistemas de drenagem urbana: conceitos e definições**. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2004. p. 47–63.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana no Brasil: problemas, desafios e perspectivas**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: UFRGS, 2005. 194 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2012.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2023.

VASCO, A. B. **Pavimentos permeáveis e suas aplicações em áreas urbanas**. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

VELOSO, J. L. S. **Diagnóstico da drenagem urbana e proposição de melhorias para a bacia hidrográfica do Rio Anil**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário rdc, São Luís, 2022. Disponível em: <http://repositorio.undb.edu.br/bitstream/areas/570/1/JOAO%20LUCAS%20SILVA%20VELOSO.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2025.

VIOLA, H. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas: o estudo de caso da cidade do Samba**. 2008. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

## APÊNDICE

### REPRESENTAÇÃO FINAL DO CANAL DE CONCRETO PROPOSTO

