



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

THALIA CRISTINA DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NO BAIRRO
RESIDENCIAL OURO VERDE EM AÇAILÂNDIA- MA**

Açailândia - MA

2025

THALIA CRISTINA DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NO BAIRRO
RESIDENCIAL OURO VERDE EM AÇAILÂNDIA- MA**

Monografia apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal

Açailândia - MA

2025

O48p

Oliveira, Thalia Cristina do Nascimento

Proposta de melhoria do sistema de drenagem urbana no bairro residencial Ouro Verde em Açailândia-MA / Thalia Cristina do Nascimento Oliveira. – Açailândia: UEMASUL, 2025.
62 f. : il.

Monografia (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2025.

Orientador: Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal.

1. Drenagem urbana. 2. Planejamento municipal. 3. Infraestrutura sustentável. I. Título.

CDU 626.86(812.1)


THALIA CRISTINA DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PROPOSTA DE MELHORIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NO
BAIRRO RESIDENCIAL OURO VERDE EM AÇAILÂNDIA- MA**


Monografia apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovada em 09 / 07 /2025.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO DE SOUSA LEAL**
Data: 11/07/2025 11:10:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal
Mestre em Ensino de Física.
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **RACHEL DE ANDRADE AVELAR DA SILVA**
Data: 11/07/2025 14:12:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva
Mestra em Ciência dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **MARIO SILVA DE LUCENA**
Data: 18/07/2025 10:11:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Mário Silva de Lucena
Especialista em Pavimentação e Restauração Rodoviária
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Pai, por sua bondade, amor e presença constante. Nos dias de cansaço e incerteza, foi meu refúgio, nos momentos de desafios, sua paz me fortaleceu. Sou imensamente grata por seu amor e fidelidade.

Agradeço à minha família pelo suporte em todas as fases desta jornada. Ao meu orientador, pelos direcionamentos fundamentais nesta etapa. Aos professores, por cada conhecimento compartilhado e pelos aprendizados adquiridos ao longo do curso.

Por fim, agradeço a mim mesma pela força, coragem, dedicação e perseverança nesta conquista, com a certeza e alegria de que este é apenas o começo de muitos sonhos que serão realizados.

RESUMO

A drenagem urbana tem um papel crucial nas cidades, garantindo segurança e qualidade de vida. Entretanto, com o crescimento desordenado, esse setor do saneamento básico não tem se desenvolvido de forma a acompanhar a urbanização. Este estudo teve como propósito analisar o sistema de drenagem do Residencial Ouro Verde, localizado em Açailândia-MA, identificando suas principais fragilidades e propondo soluções para a redução dos impactos causados pelo escoamento superficial. A pesquisa adotou uma abordagem mista, combinando levantamento de dados hidrológicos e hidráulicos com pesquisa de campo junto à população local. Os resultados revelaram a inexistência de um planejamento eficiente de drenagem, evidenciado por alagamentos recorrentes e degradação do pavimento. As velocidades do escoamento observadas nas vias superaram os limites técnicos recomendados, o que justifica os danos estruturais constatados. Diante disso, o estudo propõe alternativas convencionais e sustentáveis para amenizar os impactos do escoamento e destaca a importância de ações governamentais, como a atualização do Plano Diretor e a criação de manuais técnicos municipais que normatizam a drenagem urbana, visando garantir a liberação de novos empreendimentos apenas com infraestrutura mínima de drenagem.

Palavras-chave: Drenagem urbana, planejamento municipal, infraestrutura sustentável.

ABSTRACT

Urban drainage plays a crucial role in cities, ensuring safety and quality of life. However, due to uncontrolled growth, this basic sanitation sector has not developed in a way that keeps up with urbanization. This study aimed to analyze the drainage system of Residencial Ouro Verde, located in Açailândia-MA, identifying its main weaknesses and proposing solutions to reduce the impacts caused by surface runoff. The research adopted a mixed approach, combining hydrological and hydraulic data collection with field research with the local population. The results revealed the lack of efficient drainage planning, evidenced by recurrent flooding and pavement degradation. The runoff velocities observed on the roads exceeded the recommended technical limits, which explains the structural damage observed. In view of this, the study proposes conventional and sustainable alternatives to mitigate the impacts of runoff and highlights the importance of government actions, such as updating the Master Plan and creating municipal technical manuals that regulate urban drainage, aiming to ensure the release of new developments with only minimal drainage infrastructure.

Keywords: Urban drainage, municipal planning, sustainable infrastructure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diferenças entre drenagem convencional e drenagem sustentável.	17
Figura 2 – Sarjeta e Meio-Fio.	18
Figura 3 – Diferentes tipos de bocas de lobo.	19
Figura 4 – Exemplo de poço de visita com ramais de diâmetros diferentes.	20
Figura 5 – Corte transversal de um sistema típico de drenagem.	21
Figura 6 – Conceito geral dos SuDS.	22
Figura 7 – Piso permeável.	22
Figura 8 – Sistema de piso permeável projetado para máxima infiltração.	23
Figura 9 – Esquema de um jardim de chuva.	23
Figura 10 – Aplicação prática de jardim de chuva em calçada urbana.	24
Figura 11 – Trincheira de infiltração genérica.	25
Figura 12 – Microrreservatório Individual.	26
Figura 13 – Panelas ou buracos.	28
Figura 14 – Representação esquemática da largura e profundidade da lâmina d’água em sarjeta triangular.	32
Figura 15 – Fluxo de drenagem na região de estudo e localização no Município de Açailândia-MA.	34
Figura 16 – Delimitação da área do Residencial Ouro Verde.	35
Figura 17 – Curvas de nível extraídas no QGIS.	36
Figura 18 – Mapeamento da localização dos dispositivos de drenagem no bairro.	38
Figura 19 – Mapeamento da área de contribuição dos dispositivos de drenagem existentes.	39
Figura 20 – Perfil longitudinal da Avenida Adelino de Andrade, indicando variações de elevação e inclinação do terreno.	40
Figura 21 – Desgaste do pavimento e sarjeta, trecho da Av. Adelino de Andrade.	40
Figura 22 – Imagens de satélite perfil de elevação da Av. Cecília Meireles.	41
Figura 23 – Trecho de empoçamento de água na Av. Cecília Meireles.	41
Figura 24 – Condições dos dispositivos de drenagem no bairro Residencial Ouro Verde, Açailândia-MA.	42
Figura 25 – Acúmulo de água parada nas vias urbanas.	43
Figura 26 – Alagamento trecho Avenida Adelino Andrade.	44
Figura 27 – Alagamento trecho Rua Machado de Assis.	45
Figura 28 – Execução de obras emergenciais de recuperação.	46
Figura 29 – Lixo e vegetação obstruindo a sarjeta.	48
Figura 30 – Soluções de drenagem sustentável e urbanismo tático com jardins de chuva, vagas verdes e acessibilidade.	53

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Água parada nas ruas.	43
Gráfico 2 – Alagamento em ruas do bairro.	44
Gráfico 3 – Impactos pela ausência de drenagem na vida dos moradores.	45
Gráfico 4 – Frequência com que são realizadas obras ou reparos nas ruas do bairro após o período chuvoso.	46
Gráfico 5 – Incidência de doenças relatadas por moradores após períodos chuvosos no bairro estudado.	47
Gráfico 6 – Descarte de água da pia, tanque ou banheiro diretamente na rua.	47
Gráfico 7 – Presença de lixo ou entulho obstruindo bueiros ou sarjetas.	48
Gráfico 8 – Índice Pluviométrico Mensal – Estação 447004 (2022 a 2024).	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Despesas por internações relacionadas a doenças de veiculação hídrica no Brasil, por região (2022).	27
Tabela 2 – Tempo de retorno para cada tipo de ocupação.	29
Tabela 3 – Coeficiente de escoamento (C) para cada tipo de superfície.	30
Tabela 4 – Valores do Coeficiente de Rugosidade de Manning.	31
Tabela 5 – Velocidades máximas admissíveis para a água.	32
Tabela 6 – Dispositivos de drenagem localizados na área de estudo.	38
Tabela 7 – Resultados obtidos de vazão e velocidade nas sarjetas das vias principais.	50
Tabela 8 – Capacidade das Bocas de Lobo.	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.1.1 Objetivos Específicos.....	14
2.2 Justificativa.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Gerenciamento dos recursos hídricos e do saneamento no brasil.....	15
3.2 Drenagem urbana.....	16
3.2.1 Macrodrenagem.....	17
3.2.2 Microdrenagem.....	18
3.2.3 Medidas de controle na fonte.....	21
3.3 Impactos causados por drenagem ineficiente.....	26
3.3.1 Impactos à saúde pública.....	26
3.3.2 Impactos às vias públicas.....	27
3.4 Parâmetros Hidrológicos e Hidráulicos.....	28
3.4.1 Precipitação (Curva IDF).....	28
3.4.2 Tempo de Retorno.....	29
3.4.3 Método Racional.....	29
3.4.4 Coeficiente de Escoamento Superficial.....	30
3.4.5 Tempo de Concentração.....	30
3.4.6 Altura da Lâmina d'Água na Sarjeta.....	30
3.4.7 Área Molhada.....	31
3.4.8 Velocidade do Escoamento.....	32
3.4.9 Capacidade da boca de lobo.....	32
4. METODOLOGIA.....	34

4.1	Identificação da área de estudo	34
4.2	Abordagem da pesquisa.	35
4.2.1	Etapa qualitativa	35
4.2.2	Etapa quantitativa	36
5.	RESULTADOS	38
5.1	Caracterização da situação atual.....	38
5.2	Análise dos Resultados do Questionário Aplicado à População.....	42
5.3	Análise Hidrológica e Hidráulica	49
5.4	Propostas de Melhoria	51
6.	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – Questionário aplicado sobre Drenagem Urbana e Saneamento no Bairro Ouro Verde.....	61

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado, quando não acompanhado por um planejamento eficaz, contribui para a expansão desordenada de superfícies impermeáveis, como o crescimento de áreas pavimentadas, construções e obras diversas, o que compromete a infiltração da água no solo. Esse contexto intensifica o volume de escoamento superficial, sobrecarregando a infraestrutura existente e comprometendo serviços essenciais como o abastecimento de água, deslocamento urbano e o tratamento de esgoto (ALVES et al., 2020).

Com a atualização da Lei Federal nº 14.026/2020 que é o marco regulatório de saneamento básico, estabelece que os projetos de drenagem devem atender integralmente às áreas urbanizadas, assegurando a condução apropriada das águas da chuva e a preservação da segurança pública. No entanto, dados do Sistema (SNIS, 2023) apontam que apenas 18,5% dos municípios brasileiros têm um plano diretor dedicado ao gerenciamento de águas pluviais urbanas.

A administração da drenagem urbana no Brasil ainda encontra obstáculos consideráveis, como a ausência de institucionalidade, investimentos limitados e desarticulação entre os diversos níveis de planejamento. A superação desses problemas exige uma abordagem integrada e sustentável, que combine infraestrutura convencional, práticas não estruturais (SILVA et al., 2024).

A efetividade do sistema de escoamento pluvial urbano depende diretamente de um planejamento que respeite as particularidades do território. Quando esse procedimento é realizado com base na bacia hidrográfica como unidade de gestão, torna-se possível alinhar a utilização e ocupação do solo às dinâmicas do ciclo da água. Soluções como pisos permeáveis, jardins de infiltração e espaços de retenção contribuem para reduzir os impactos da impermeabilização, minimizar alagamentos e promover a recarga hídrica. Essa integração entre infraestrutura urbana e preservação ambiental fortalece a resiliência das cidades diante de eventos extremos (ADASA, 2023).

Esses desafios tornam-se evidentes em áreas urbanas que experimentam crescimento acelerado sem infraestrutura adequada de drenagem, como é o caso do bairro Residencial Ouro Verde, em Açailândia - MA. O período chuvoso evidencia deficiências no manejo das águas pluviais, resultando em alagamentos, danos às vias e riscos à saúde pública. O estudo procura contribuir para um planejamento urbano mais equilibrado. Além disso, a pesquisa serve como referência para orientar a implantação de futuros loteamentos na cidade, incentivando que sejam planejados com soluções de drenagem eficientes desde o início. Dessa forma, busca-se evitar a

repetição dos problemas observados no bairro analisado, contribuindo para o desenvolvimento urbano sustentável e para a redução de custos futuros com obras corretivas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar falhas presentes no sistema de drenagem atual no conjunto residencial Ouro verde, localizado no município de Açailândia- MA, sugerindo alternativas técnicas adequadas que levem em conta necessidades sociais e ambientais de forma equilibrada.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar a eficácia do sistema de manejo de águas pluviais, implantada pelo governo municipal recentemente, de acordo com as necessidades pluviométricas da região;
- Identificar os impactos sociais causado pelo sistema de drenagem existente;
- Propor alternativas convencionais e sustentáveis que aprimorem a eficiência do sistema urbano de drenagem da área de estudo.

2.2 Justificativa

O bairro Residencial Ouro Verde, em Açailândia-MA, enfrenta recorrentes problemas de drenagem, especialmente durante as intensas precipitações. Como consequência, observa-se o acúmulo de água nas vias, provocando deterioração do pavimento, comprometimento da mobilidade urbana e alagamentos frequentes. A falta de uma estrutura funcional para drenagem intensifica os problemas existentes, afetando a mobilidade, a saúde pública e gerando altos custos com manutenções frequentes.

A realização contínua de reparos emergenciais revela um ciclo de ações paliativas que não resolve as causas estruturais do problema, resultando em desperdício de recursos e prejuízos para o município. Nesse contexto, o propósito deste estudo é analisar as fragilidades do sistema de escoamento pluvial urbano no bairro Residencial Ouro Verde, identificando falhas e propondo soluções técnicas sustentáveis que possam mitigar os impactos ambientais, reduzir os custos com manutenção e promover um planejamento urbano mais eficaz e resiliente frente aos desafios das chuvas intensas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gerenciamento dos recursos hídricos e do saneamento no Brasil

A administração dos recursos hídricos e do saneamento básico no Brasil é marcada por um cenário de desafios relacionados à ocupação urbana, à legislação ambiental e à capacidade institucional dos municípios. Apesar de ainda serem frequentemente tratados de forma separada no planejamento das cidades, o uso do solo está diretamente ligado à dinâmica dos recursos hídricos e impactam profundamente a área urbanizada e os ecossistemas ao seu redor. As intervenções realizadas no ambiente urbano geram efeitos além de seus próprios limites territoriais, induzindo impactos internos, como alagamentos, e externos, como enchentes a jusante, contaminação dos corpos d'água e sobrecarga nos sistemas fluviais (Silva et al., 2024).

Diante disso, a estrutura legal brasileira tenta responder a esses desafios por meio de políticas públicas. Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que estabelece os critérios de enquadramento dos corpos hídricos com alvos de qualidade da água de acordo com os usos predominantes, a fim de orientar ações de preservação, recuperação e controle da poluição (Brasil, 2005).

A Lei nº 9.433/1997 estabelece princípios fundamentais para a política de administração dos recursos hídricos no Brasil, fundamenta-se em diretrizes como a gestão descentralizada, a articulação entre os múltiplos usos da água e a utilização da bacia hidrográfica como referência para planejamento e administração. Essa lei exige que todas as ações que modifiquem a qualidade e o volume da água, incluindo o lançamento de efluentes, estejam sujeitas à autorização (Brasil, 1997).

No saneamento básico, a Lei nº 11.445/2007, com as atualizações pela Lei nº 14.026/2020, fortaleceu a integração entre os mecanismos de planejamento urbano e os fundamentos da política de recursos hídricos. A legislação estabelece que os municípios são responsáveis pela administração dos serviços de saneamento, devendo alinhar seus planos às diretrizes dos Planos de Bacia Hidrográfica, promovendo a coordenação entre os entes municipais e estaduais (Brasil, 2007, 2020).

Mesmo com essa estrutura normativa, a realidade é que a drenagem urbana, parte essencial do saneamento básico, tem evoluído de forma desigual em relação aos demais componentes, como abastecimento e esgotamento sanitário. Isso decorre, em grande parte, da expectativa equivocada de que a universalização da drenagem se daria apenas com a expansão da infraestrutura, sem considerar os impactos causados pelo aumento da impermeabilização urbana, que acabam sendo transferidos para jusante, elevando os riscos de inundações (Mendes

& Alves, 2022; Santos et al., 2020).

Diante desse contexto, a Agência Nacional de Águas (ANA), desde a promulgação do novo marco legal, tem se empenhado na criação de normas de referência para melhorar a regulação dos serviços de drenagem. Contudo, os índices de planejamento, gestão e investimento permanecem baixos, evidenciando urgência em fortalecer a governança neste setor (ANA, 2025).

Dentro dos limites municipais, a gestão da drenagem deve ser conduzida por meio de instrumentos como Plano Diretor, Lei de Utilização e Ocupação do Solo e Plano Municipal de Saneamento Básico. Cabe ao município, como responsável pelos serviços, adotar medidas que atendam tanto aos condicionantes internos (impactos locais) quanto externos (impactos sobre a bacia hidrográfica) (Tucci, 2016). Ainda assim, é comum que esses planos careçam de articulação com os Planos de Bacia, o que compromete a eficácia das ações propostas.

Dessa forma, a literatura técnica aponta para a necessidade de uma reestruturação na forma como a drenagem urbana é planejada e gerida. Segundo Silva et al. (2024), uma gestão eficiente deve se fundamentar em três pilares essenciais:

- (i) A criação de um Plano Diretor de gerenciamento das águas pluviais urbanas que estabeleça medidas estruturais para controle de inundações,
- (ii) Regulamentações que limitam o impacto das futuras ocupações urbanas,
- (iii) Fortalecimento da prestação de serviços com foco em recuperação de custos e sustentabilidade financeira.

3.2 Drenagem urbana

O gerenciamento das águas pluviais nas áreas urbanas representa um componente essencial da infraestrutura das cidades, desempenhando papel estratégico no controle do escoamento superficial. Segundo a Lei nº 11.445/2007, a drenagem urbana compreende um conjunto de ações destinadas ao transporte, retenção ou armazenamento das águas pluviais, visando reduzir as vazões de pico durante as chuvas e promover a destinação adequada dessas águas em ambientes urbanos.

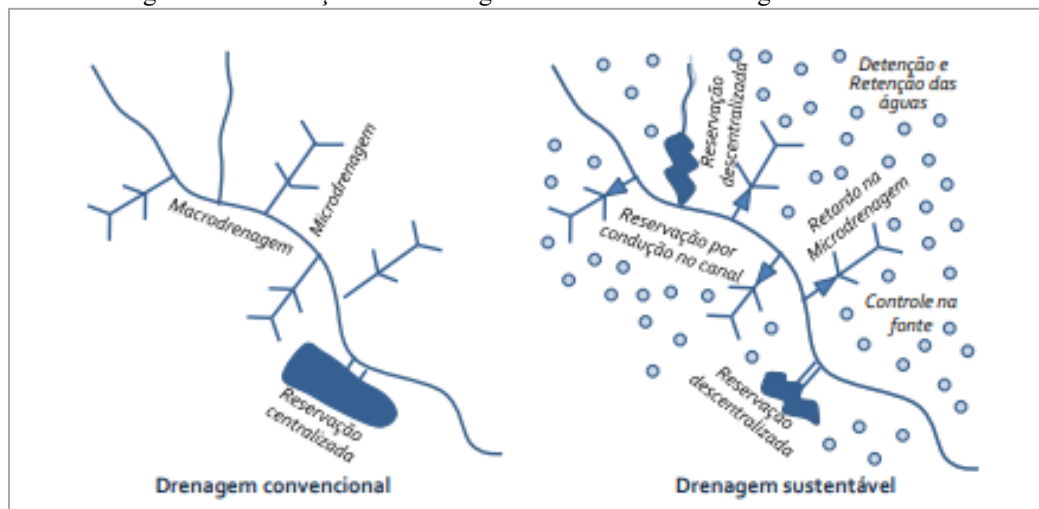
A drenagem se organiza em três grupos funcionais distintos: o controle na fonte, composto por dispositivos de aproveitamento, amortecimento e infiltração, situados próximo à origem do escoamento gerado pela precipitação, a microdrenagem, formada por dispositivos que captam as águas do sistema viário, e a macrodrenagem, que abrange o controle do escoamento em grandes canais e corpos hídricos. Atuando de forma complementar, esses

subsistemas garantem a eficiência no gerenciamento do fluxo superficial em zonas urbanas e na redução dos impactos ambientais e urbanos decorrentes das chuvas (ADASA, 2023).

As redes de drenagem convencional são compostas por tubulações subterrâneas independentes da rede de esgoto, destinadas exclusivamente à condução das águas das chuvas. Essa captação ocorre por meio de dispositivos como bocas-de-lobo, grelhas e bueiros, que direcionam o escoamento para corpos receptores, como valas, córregos, rios, piscinões, lagos ou represas (SOUSA, 2017).

Dentro dessa perspectiva, a drenagem sustentável surge como uma alternativa inovadora às soluções convencionais. Ela incorpora práticas baseadas na natureza, como pisos permeáveis, jardins de infiltração e espaços de retenção temporária, entre outros, que contribuem para restaurar o ciclo hidrológico natural (MENDES, 2022).

Figura 1 – Diferenças entre drenagem convencional e drenagem sustentável.



Fonte: (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2023).

Na (Figura 1) exemplifica a distinção entre os sistemas convencional e sustentável, no modelo convencional, a água da chuva é rapidamente escoada por redes de micro e macro drenagem até grandes reservatórios, priorizando a velocidade de escoamento, mas frequentemente sobrecarregando os sistemas e os corpos hídricos. Já na drenagem sustentável, o escoamento é controlado desde a origem, com estruturas descentralizadas que promovem retenção, infiltração e reaproveitamento da água pluvial.

3.2.1 Macro drenagem

Em um sistema de escoamento superficial, a macro drenagem compreende o conjunto de estruturas responsáveis por receber e conduzir os volumes de água provenientes de múltiplos sistemas de micro drenagem. Em geral, esse tipo de sistema é aplicado em áreas com extensão mínima de 2 km² (200 hectares), embora tais limites possam variar conforme as características

e a configuração da malha urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE ITANHAÉM, 2015, p. 34).

Segundo a ADASA (2023), a macrodrenagem é formada por canais (abertos ou fechados), galerias subterrâneas de grande porte, reservatórios de contenção e tubulações com diâmetro superior a 1,0 metro, que recebem as vazões provenientes de redes de microdrenagem ou por contribuições diretas ao longo de sua extensão. Esses sistemas devem ser dimensionados para suportar eventos de precipitação mais intensos do que os previstos para a microdrenagem, levando em consideração os prejuízos humanos, sociais e econômicos que podem ser ocasionados por falhas nessas estruturas.

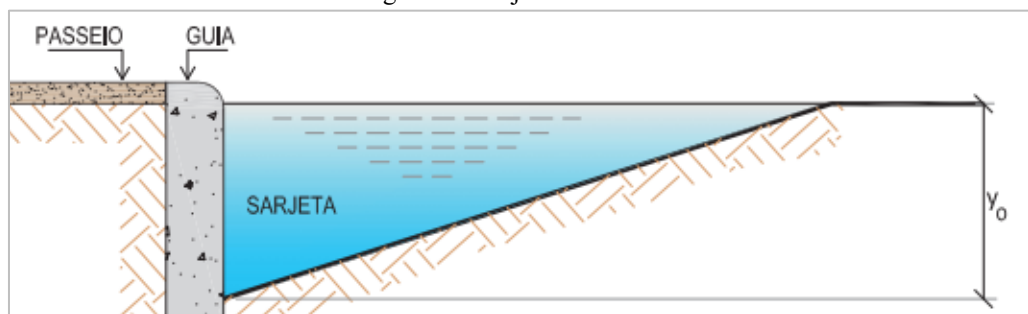
3.2.2 Microdrenagem

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Curitiba (2021), o sistema de microdrenagem é essencial no manejo das águas pluviais provenientes dos lotes, áreas construídas e do sistema viário, funcionando como rede primária urbana para a captação dos fluxos superficiais. Esse sistema é composto por guias, sarjetas, bocas de lobo, poços de inspeção (PV) e galerias. Quando corretamente projetado e implantado, reduz significativamente os impactos das chuvas intensas, evitando transtornos no tráfego de veículos e pedestres e danos ao patrimônio público e privado (BRASIL, 2019).

- **Sarjetas e Meio-Fio**

As sarjetas são dispositivos cuja principal função é conduzir as águas de chuva pelas laterais das vias públicas, direcionando o fluxo até os dispositivos de coleta, como bocas de lobo, bueiros e demais componentes da rede de drenagem. Para a eficiência desse dispositivo, deve ser implantado em nível inferior ao da pista de rolamento (BRASIL, 2022). O meio-fio é um elemento em concreto pré-moldado, cuja principal função é delimitar a pista de rolamento e a área destinada à circulação de pedestres, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Sarjeta e Meio-Fio.



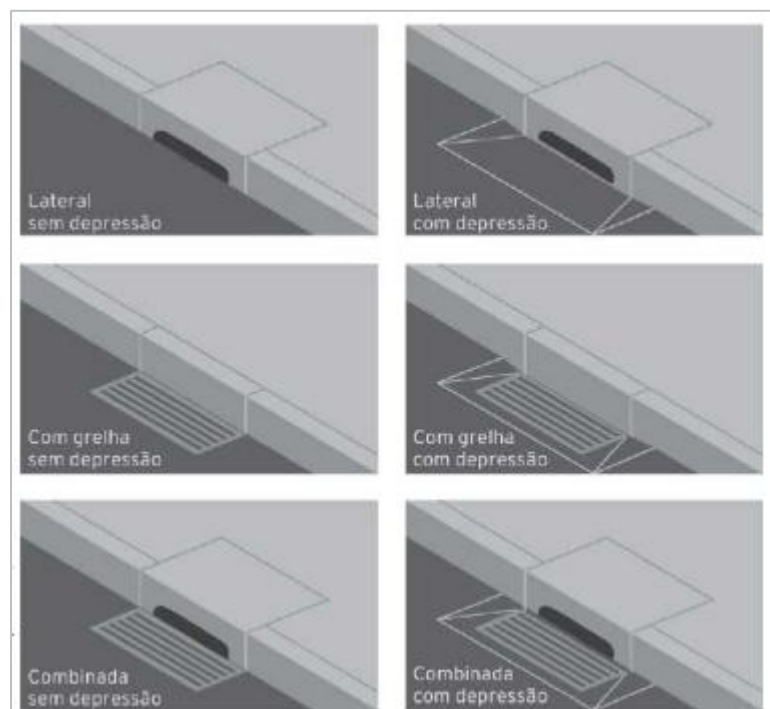
Fonte: BRASIL (2019).

- **Bocas de Lobo**

O dispositivo de boca de lobo é instalado junto às guias das vias urbanas, com o objetivo de coletar as águas superficiais transportadas pelas sarjetas e direcioná-las para o sistema subterrâneo de drenagem. A localização desses dispositivos é estrategicamente definida em pontos baixos das vias, a montante de cruzamentos e entre interseções viárias, considerando as vazões de contribuição, a largura máxima de alagamento admissível na via e a altura do meio-fio como limite para o nível da água (BRASIL, 2022).

Os tipos de bocas de lobo são representados na Figura 3. Em trechos urbanos com maior concentração de escoamento superficial ou onde se exige maior eficiência do sistema de drenagem, é recomendável a adoção de soluções compostas por múltiplas bocas de lobo, de modo a ampliar a capacidade de coleta e reduzir os riscos de sobrecarga na rede pluvial.

Figura 3 – Diferentes tipos de bocas de lobo.



Fonte: ADASA (2023).

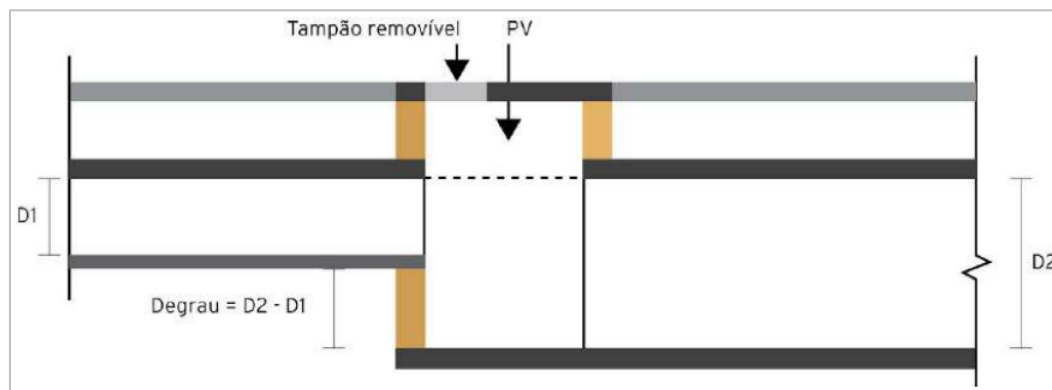
- **Poços de Visita**

Conhecidos como PVs, os poços de visita compõem a rede subterrânea de drenagem e permitem que profissionais inspecionem as galerias, realizem desobstrução e limpezas. Eles são instalados em pontos estratégicos, como nos locais onde ocorrem mudanças na direção da tubulação, alterações de inclinação ou diâmetro, ou nos trechos iniciais da rede. Além de servirem como pontos de acesso, os PVs também facilitam a utilização de ferramentas e equipamentos específicos, sendo essenciais para que todo o sistema continue funcionando

(BRASIL, 2019).

Quanto à sua instalação, recomenda-se que o espaço entre um poço e outro leve em consideração o alcance dos equipamentos utilizados na manutenção. Em áreas urbanas com maior densidade, esse intervalo deve ser de no máximo 80 metros, podendo chegar a 100 metros em locais com menor ocupação (ADASA, 2023). Uma distribuição bem planejada dessas estruturas evita falhas operacionais e garante que a água escoe sem causar transtornos. A Figura 4 apresenta um exemplo comum de poço de visita em redes de drenagem convencional.

Figura 4 – Exemplo de poço de visita com ramais de diâmetros diferentes.



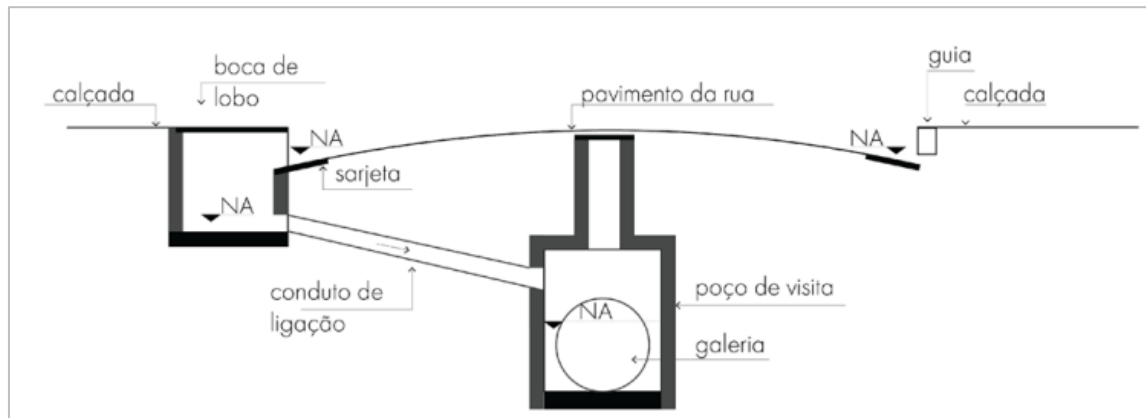
Fonte: ADASA (2023).

- **Galerias**

As galerias pluviais constituem elementos essenciais do sistema de microdrenagem urbana, funcionando como condutos subterrâneos projetados para transportar volumes significativos de água das precipitações até os locais de descarte final, como corpos d'água naturais ou estruturas de retenção (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2023).

Essas estruturas podem ser executadas com diferentes tipos de materiais, como manilhas em concreto armado ou tubos de polietileno de alta densidade (PEAD), a depender das condições hidráulicas e geotécnicas locais. São dimensionadas para receber as águas captadas nas bocas de lobo, evitando o acúmulo superficial e alagamentos em áreas urbanizadas. Na Figura 5, um exemplo de estrutura de rede de microdrenagem com tubulação de galeria pluvial (CURITIBA, 2021).

Figura 5 – Corte transversal de um sistema típico de drenagem.



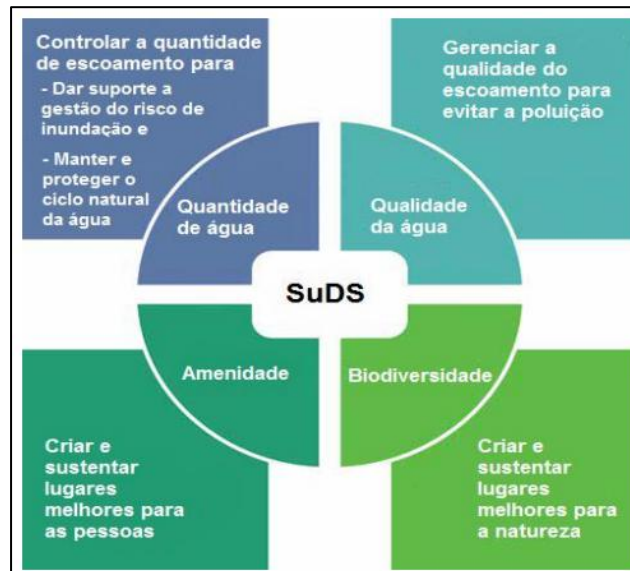
Fonte: SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (2023).

3.2.3 Medidas de controle na fonte

Em contraste com as abordagens tradicionais de drenagem urbana, que se concentram em coletar e transportar rapidamente a água por meio de redes subterrâneas, os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) propõem uma solução descentralizada, priorizando o controle do escoamento superficial no próprio local onde a precipitação ocorre, ou seja, o mais próximo possível do ponto de impacto da chuva. Essa abordagem busca mitigar os impactos hidrológicos por meio de práticas que favorecem a infiltração, os processos de evaporação e evapotranspiração, bem como o armazenamento temporário das águas no próprio local de precipitação (NETO, 2019).

Os Sistemas SUDS fundamentam-se na premissa de que o controle do escoamento pluvial deve ser conduzido para obter o máximo benefício. Dessa forma, busca-se reduzir os efeitos adversos da urbanização sobre a quantidade e a qualidade do fluxo superficial, ao mesmo tempo em que se promove a biodiversidade e a amenidade no ambiente (GONÇALVES; NUCCI, 2017). É importante salientar que esses critérios possuem relevância equivalente no planejamento das soluções, sendo recomendável que as intervenções contemplem, de maneira integrada, todos esses aspectos, conforme exemplificado na Figura 6.

Figura 6 – Conceito geral dos SuDS.



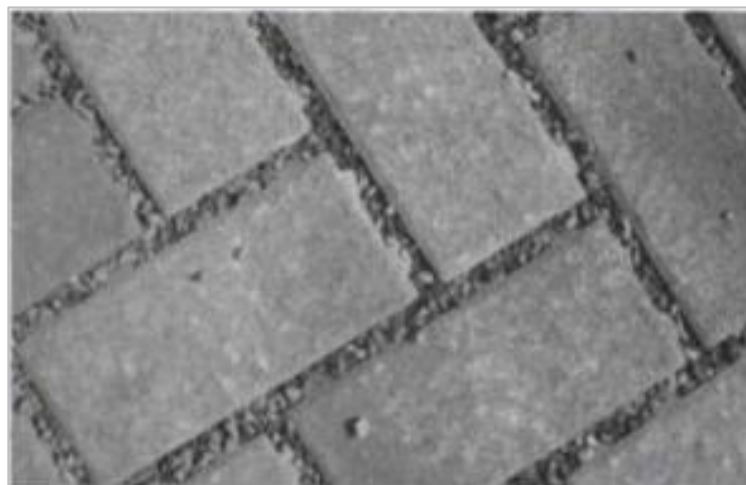
Fonte: Neto (2019)

A seguir, são detalhadas as principais técnicas associadas à drenagem urbana sustentável, com potencial de implementação pelo governo municipal.

- **Pavimento permeável**

Conforme a norma técnica ABNT NBR 16.416:2015, o "pavimento permeável é capaz de responder simultaneamente a esforços mecânicos e condições de rolamento, com sua estrutura permitindo a percolação ou acumulação temporária de água, reduzindo o escoamento sem prejudicar sua estrutura" (ABNT, 2015, p. 2). Os pavimentos permeáveis são soluções estruturais que possibilitam a infiltração da água precipitada, e direcionando-a a uma camada inferior composta por material granular com alto teor de vazios, localizado na base do revestimento (Figura 7).

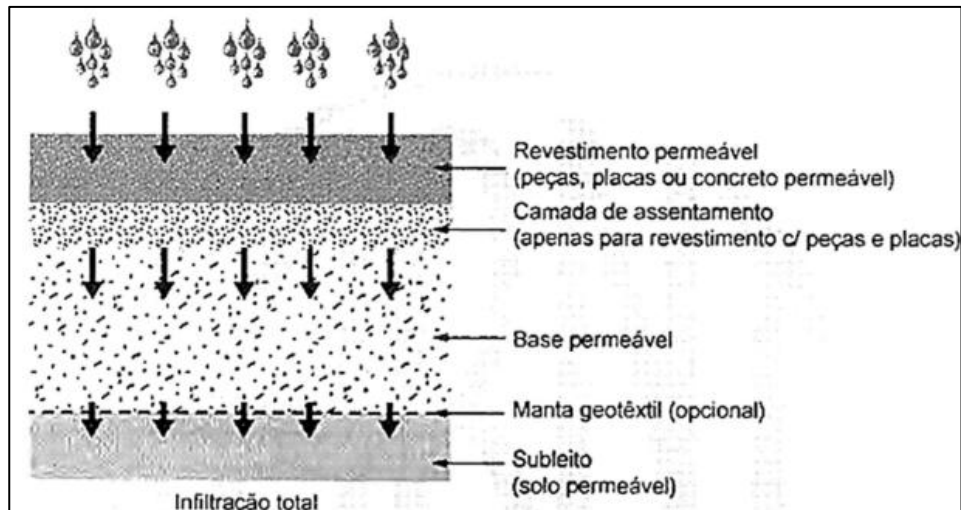
Figura 7 – Piso permeável.



Fonte: NBR 16416 (ABNT, 2015).

O revestimento da superfície costuma ser realizado com materiais como concreto de cimento Portland poroso, concreto asfáltico permeável ou blocos de concreto impermeáveis, mas com juntas que permitem a passagem da água (ADASA, 2023). A Figura 8 ilustra um sistema de piso permeável projetado para possibilitar a infiltração completa das águas pluviais no solo.

Figura 8 – Sistema de piso permeável projetado para máxima infiltração.



Fonte: NBR 16416 (ABNT, 2015).

- **Jardins de Chuva ou biorretenção**

O jardim de chuva é uma solução baseada na natureza, aplicada à drenagem urbana sustentável, com o objetivo principal de controle do escoamento pluvial diretamente na fonte. Consiste em uma estrutura vegetada e base em materiais drenantes, estrategicamente projetada para captação, filtração e infiltração das águas da chuva (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2023). A Figura 9 apresenta um esquema conceitual ilustrando o funcionamento desse tipo de técnica.

Figura 9 – Esquema de um jardim de chuva.



Fonte: SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (2023).

A depressão no solo que compõe o jardim de chuva é preenchida com uma combinação de solo arenoso e material orgânico (como composto), além de uma camada drenante que favorece a percolação da água para o subsolo. A vegetação implantada contribui com os processos de evapotranspiração, filtragem de poluentes e estabilização do solo. Esses sistemas podem ser aplicados em diversos formatos, como faixas lineares ao longo de calçadas, esquinas ou vagas verdes em estacionamentos, adaptando-se às características do espaço urbano disponível (ALBUQUERQUE et al. (2019)). A Figura 10 mostra um exemplo real de implantação dessa técnica em meio urbano.

Figura 10 – Aplicação prática de jardim de chuva em calçada urbana.



Fonte: ALBUQUERQUE et al. (2019).

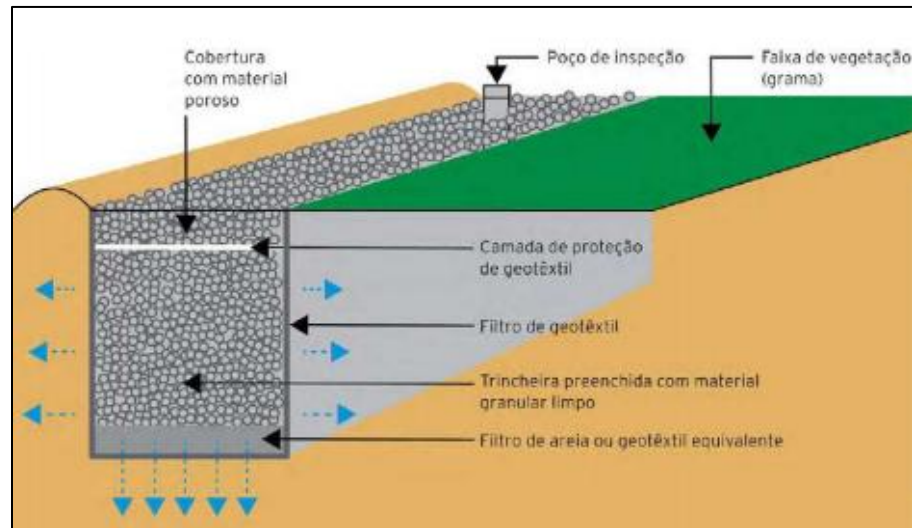
- **Trincheiras**

As trincheiras de infiltração consistem em estruturas lineares projetadas para captar o escoamento superficial, reduzir a vazão e propiciar a penetração de água no solo natural. Quando o terreno apresenta baixa capacidade de infiltração, adota-se uma alternativa denominada trincheira de retenção, que funciona como um reservatório temporário, conduzindo a água excedente até um exutório específico (ADASA, 2023).

De acordo com Melo et al. (2016), a construção dessas estruturas demanda a escavação de uma abertura no terreno, que é preenchida com brita de granulometria uniforme, podendo ser deixadas descobertas ou receber uma cobertura de grama ou outro tipo de material permeável, o que contribui para sua integração estética com o ambiente urbano. Para evitar a entrada de sedimentos que comprometam sua eficiência, é comum revestir o topo, as paredes e o fundo com manta geotêxtil. Em alguns casos, de acordo com as propriedades do solo local, opta-se pela utilização de uma camada de areia com função filtrante no fundo da trincheira, como alternativa ao uso do geotêxtil.

O processo de infiltração ocorre tanto pelas paredes laterais quanto pelo fundo da estrutura, sendo essencial que o solo apresente uma taxa de infiltração adequada, nem tão baixa, a ponto de prolongar o tempo de esvaziamento, nem tão alta, a ponto de permitir a rápida percolação sem a devida filtragem, o que poderia comprometer a qualidade do lençol freático (MELO et al., 2016). A Figura 11 mostra um exemplo de trincheira de infiltração.

Figura 11– Trincheira de infiltração genérica.



Fonte: (ADASA, 2023).

Assim, a trincheira de infiltração desempenha uma dupla função, além de atenuar os picos de vazão do escoamento superficial, também contribui para o reabastecimento dos aquíferos e para o tratamento da água pluvial, aproveitando a capacidade natural de filtragem do solo (ADASA, 2023).

- **Microrreservatório**

Os barris de chuva constituem uma alternativa de microrreservatório individual, destinados ao armazenamento da água captada dos telhados. Essa solução possibilita a reutilização da água pluvial e representa uma alternativa econômica para o armazenamento de pequenos volumes de água, com o intuito de uso da água para outros fins, como a irrigação de jardins. Contribuindo para a sustentabilidade e redução de vazões (Filho, 2016). A Figura 12 mostra um exemplo de microrreservatório individual.

Figura 12 – Microrreservatório Individual.



Fonte: Filho (2016).

3.3 Impactos causados por drenagem ineficiente

3.3.1 Impactos à saúde pública

Em áreas urbanizadas, o escoamento superficial decorrente das chuvas torna-se um fator de risco significativo para a saúde coletiva. À medida que a água da chuva percorre superfícies impermeáveis como asfalto, calçadas e telhados, ela arrasta consigo uma diversidade de contaminantes. Em contextos onde não há coleta e tratamento adequados do esgoto, essa água também incorpora dejetos sanitários, potencializando a contaminação dos corpos hídricos urbanos. Como consequência, eleva-se a exposição da população a doenças de veiculação hídrica, como hepatite A, diarreia infecciosa, cólera, entre outras (BRASIL, 2021).

Além disso, a ausência ou a precariedade dos sistemas de drenagem urbana favorece o acúmulo de água em vias públicas, criando locais propícios para a disseminação de vetores de doenças. Destacam-se, nesse cenário, o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue, zika e chikungunya, bem como roedores, associados à leptospirose. Esse panorama é mais crítico em regiões com urbanização desordenada e baixa cobertura de saneamento, onde a infraestrutura precária favorece a disseminação de agentes patogênicos, agravando o quadro de saúde pública (FUNASA, 2015).

Além dos danos diretos à saúde da população, a drenagem ineficiente também impõe custos consideráveis ao sistema de saúde público. Em períodos chuvosos, há um aumento considerável na demanda por atendimentos médicos e hospitalares, o que sobrecarrega o Sistema Único de Saúde (SUS) e pressiona os orçamentos municipais e estaduais (TRATA

BRASIL, 2023).

Segundo dados do Instituto Trata Brasil (2023), somente em 2022 foram registradas mais de 191 mil internações no SUS por doenças diretamente relacionadas à ausência de saneamento básico. De acordo com o DATASUS (2022) apresentado na Tabela 1, tais hospitalizações resultaram em um custo superior a R\$ 87 milhões aos cofres públicos. A Região Nordeste foi a mais afetada, com 75.359 internações e despesas hospitalares que ultrapassaram R\$ 31,7 milhões (MEDICINA S/A, 2023). Esses dados evidenciam a estreita relação entre a deficiência na drenagem urbana, saneamento básico e o agravamento dos indicadores de saúde, reforçando a necessidade de investimentos em soluções sustentáveis e integradas de infraestrutura sanitária.

Tabela 1 – Despesas por internações relacionadas a doenças de veiculação hídrica no Brasil, por região (2022).

Localidade	População total (pessoas) (IBGE) (2022)	Internações totais por doenças de veiculação hídrica (Número de internações)	Despesas com internações por doenças de veiculação hídrica (R\$)
Brasil	203.080.756	191.418	87.681.656,99
Região Norte	17.354.884	32.485	12.399.115,69
Região Nordeste	54.658.515	75.359	31.768.717,25
Região Sudeste	84.840.113	36.330	21.811.298,96
Região Sul	29.937.706	23.937	11.649.511,16
Região Centro-Oeste	16.289.538	23.307	10.053.013,93

Fonte: DATASUS. Adaptado de Medicina S/A (2023).

3.3.2 Impactos às vias públicas

Para a garantia de durabilidade do pavimento e a segurança no tráfego, a infraestrutura viária urbana requer sistemas de drenagem eficientes, especialmente durante eventos de precipitação intensa. O direcionamento eficiente das águas pluviais é essencial para impedir o acúmulo sobre a superfície e a penetração excessiva nas camadas que compõem a estrutura da via. A exposição contínua à umidade favorece a deterioração prematura dos pavimentos (ROCHA, 2022).

Segundo Rocha (2022), quando a água preenche completamente os vazios das camadas do pavimento, o impacto dos veículos gera pressões hidrodinâmicas comparáveis ao golpe de aríete. Esse fenômeno provoca a erosão interna dos materiais, podendo resultar no descolamento das camadas de revestimento, na formação de painéis ou buracos e na redução da vida útil da pavimentação (Figura 13). Além dos danos físicos, essas falhas aumentam significativamente o risco de acidentes, em razão da perda de aderência e das deformações na superfície de rolamento.

Figura 13 – Painéis ou buracos.



Fonte: Santos et al. (2024).

Dessa forma, a durabilidade e o desempenho funcional das vias públicas não dependem exclusivamente de um projeto geométrico ou estrutural bem elaborado. A ausência de um sistema de drenagem corretamente dimensionado pode comprometer toda a estrutura viária, conforme ressaltado por Motta et al. (2016), que destacam a importância da drenagem como elemento essencial para a estabilidade do pavimento. Logo, a integração entre os aspectos hidrológicos e geotécnicos deve ser considerada em todas as etapas do planejamento urbano e da infraestrutura viária.

3.4 Parâmetros Hidrológicos e Hidráulicos

3.4.1 Precipitação (Curva IDF)

A precipitação é um dos principais fatores considerados no dimensionamento de sistemas de drenagem, devido às implicações que ela pode causar, especialmente quando ocorre com elevada intensidade. Segundo Coelho (2018), uma das ferramentas mais utilizadas para essa análise é a Curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF), que estabelece a conexão entre a intensidade da chuva, o tempo de duração do evento e sua frequência de ocorrência, que se baseia em séries históricas de dados pluviométricos, e possibilita a definição das chuvas de projeto com variados períodos de retorno.

A intensidade da precipitação pode ser estimada por meio da equação empírica da curva IDF, conforme apresentado na Equação 1.

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

i: Intensidade da chuva (mm/h);

Tr: Tempo de retorno (anos);

t: Duração da chuva (minutos);

a, b, c e d são referências específicas para cada localidade.

3.4.2 Tempo de Retorno

A média do intervalo de tempo em que um evento hidrológico específico é igualado ou ultrapassado pelo menos uma vez é chamada de tempo de retorno (Tr) (ADASA, 2023). De acordo com Prina e Trentin (2018), a escolha do tempo de retorno adequado está diretamente relacionada à importância da estrutura e aos riscos associados à sua falha. É comum adotar valores mais elevados para obras consideradas críticas, enquanto sistemas com menor impacto em caso de falha admitem tempos de retorno menores. A Tabela 2 mostra os tempos de retorno recomendados.

Tabela 2 – Tempo de retorno para cada tipo de ocupação.

Sistema	Tipo de Ocupação	TR (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	100*

Fonte: Manual de Drenagem Urbana - Curitiba (2021).

3.4.3 Método Racional

A estimativa da vazão máxima pode ser feita com base na precipitação, utilizando métodos que representam os principais processos de transformação da chuva em escoamento. Para bacias hidrográficas com baixa complexidade e pequena área de drenagem, ou seja, com área de drenagem até 2,0 km², ou seja, 200 hectares, é comum a aplicação do Método Racional, conforme descrito por Vieira (2015). Este método estabelece uma conexão entre a intensidade da chuva e o escoamento superficial (deflúvio), permitindo calcular a vazão de pico em uma bacia, com base em uma seção de estudo. A equação que representa o Método Racional é expressa da seguinte maneira:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i_{\max} \cdot A \quad (2)$$

Onde:

Q: Vazão máxima (m³/s);

C: Coeficiente de escoamento;

i máx: Máxima intensidade da precipitação (mm/h);

A: Área da bacia contribuinte (km²).

3.4.4 Coeficiente de Escoamento Superficial

Segundo Vieira (2015), o coeficiente de escoamento, representado pela letra C, indica a fração da precipitação que não infiltra no solo e contribui para o escoamento superficial. A definição desse coeficiente deve levar em conta a ocupação da área da bacia, o tipo de solo, a intensidade da chuva, entre outros fatores. Em geral, a determinação de C é feita com base em valores de referência tabelados, relacionados ao tipo de utilização e ocupação do solo, como ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficiente de escoamento (C) para cada tipo de superfície.

Zonas	Coefficientes "C"
Centrais, densamente construídas, com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
Adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
Residencial com poucas superfícies livres, com ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
Residencial com muitas superfícies livres, com ruas pavimentadas	0,25 a 0,50
Periférica e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 a 0,25
Rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques, campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: Funasa (2016).

3.4.5 Tempo de Concentração

O tempo de concentração corresponde ao período que a água da chuva leva para percorrer a maior distância dentro da bacia hidrográfica até alcançar a saída. Esse parâmetro é fundamental no dimensionamento e na análise de sistemas de drenagem, pois permite estimar corretamente o comportamento do escoamento superficial (ROCHA et al., 2022). O Tc pode ser calculado por meio de diferentes fórmulas empíricas, como a equação de Kirpich (1940), amplamente utilizada para pequenas bacias urbanas:

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta h}\right)^{0,3} \quad (3)$$

Onde:

Tc: tempo de concentração (min);

Δh : diferença de altitude entre a seção mais elevada e a de saída (m).

L: comprimento do percurso principal (m);

3.4.6 Altura da Lâmina d'Água na Sarjeta

A profundidade da lâmina d'água (y_0) em escoamento superficial nas sarjetas pode ser determinada com base em uma equação empírica derivada da fórmula de Manning, adaptada

para sarjetas com seção triangular. Esta equação permite avaliar a profundidade do fluxo na sarjeta, o que é essencial para verificar a segurança hidráulica e o risco de transbordamentos, conforme apresentado pelo DNIT (2006).

$$y_0 = \left(\frac{Q_0}{0,375 \cdot \sqrt{S} \cdot \frac{Z}{n}} \right)^{3/8} \quad (4)$$

Onde:

y_0 : Altura da lâmina d'água (m);

Q: Vazão de escoamento superficial (m³/s);

S: Declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

Z: Declividade transversal (razão largura/profundidade);

n: Coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional) (Tabela - 4).

Tabela 4 – Valores do Coeficiente de Rugosidade de Manning.

Características	n (Coef. de Manning)
Canais retilíneos com grama de até 15 cm de altura	0,30 – 0,40
Canais retilíneos com capins de até 30 cm de altura	0,30 – 0,060
Galerias de concreto pré-moldado com bom acabamento	0,011 – 0,014
Moldado no local com formas metálicas simples	0,012 – 0,014
Moldado no local com formas de madeira	0,015 – 0,020
Sarjetas Asfalto suave	0,013
Asfalto rugoso	0,016
Concreto suave com pavimento de asfalto	0,014
Concreto rugoso com pavimento de asfalto	0,015
Pavimento de concreto	0,014 – 0,016
Pedras	0,016

Fonte: Manual de Drenagem Urbana - Curitiba (2021).

3.4.7 Área Molhada

A área molhada refere-se à parte da seção transversal efetivamente ocupada pela água durante o escoamento superficial. Para seções triangulares típicas de sarjetas, como as frequentemente utilizadas em vias urbanas essa área pode ser determinada utilizando a fórmula para área de um triângulo (ABDeR, 2019). A geometria desse tipo de seção está representada na Figura 14. A fórmula utilizada para esse cálculo é:

$$A = \frac{y_0 \cdot w_0}{2} \quad (5)$$

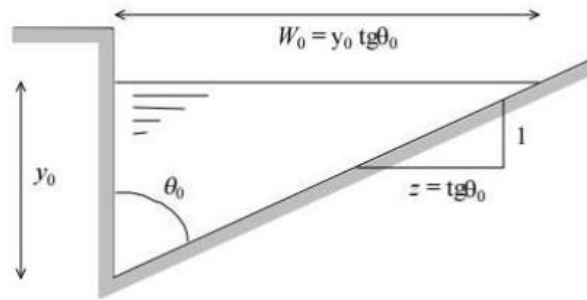
Onde:

A: Área molhada;

y_0 : Profundidade da lâmina d'água;

w_0 : Largura correspondente da Lâmina d'Água.

Figura 14 – Representação esquemática da largura e profundidade da lâmina d'água em sarjeta triangular.



Fonte: Barra do Garças (2023).

3.4.8 Velocidade do Escoamento

De acordo com o DNIT (2006), a avaliação da velocidade do escoamento superficial é imprescindível para verificar a segurança hidráulica e o risco de erosão nas vias urbanas. Velocidades superiores a 3,0 a 4,5 m/s podem comprometer a integridade do revestimento das sarjetas e pavimentação (Tabela – 5). A velocidade média (V) do escoamento na sarjeta pode ser calculada pela equação da continuidade:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

A: Área molhada;

Q: Vazão de escoamento superficial (m^3/s);

V: Velocidade média (m/s).

Tabela 5 – Velocidades máximas admissíveis para a água.

COBERTURA SUPERFICIAL	Velocidade máxima m/s
Gramma comum firmemente implantada	1,50 – 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 – 1,20
Argila	0,80 – 1,30
Argila coloidal	1,30 – 1,80
Lodo	0,35 – 0,85
Areia fina	0,30 – 0,40
Areia média	0,35 – 0,45
Cascalho fino	0,50 – 0,80
Silte	0,70 – 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento Portland	4,50
Aglomerados consistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 – 4,00

Fonte: DNIT (2006).

3.4.9 Capacidade da boca de lobo

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Curitiba (2021), quando a lâmina d'água

acumulada sobre a boca-de-lobo não excede a altura da guia, a capacidade de engolimento pode ser estimada por uma equação do tipo vertedor:

$$Q = 1,7 \cdot Ly^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

Onde:

Q: Vazão de engolimento (m³/s);

L: Comprimento da soleira (m);

y: Altura da lâmina d'água junto à abertura da guia (m).

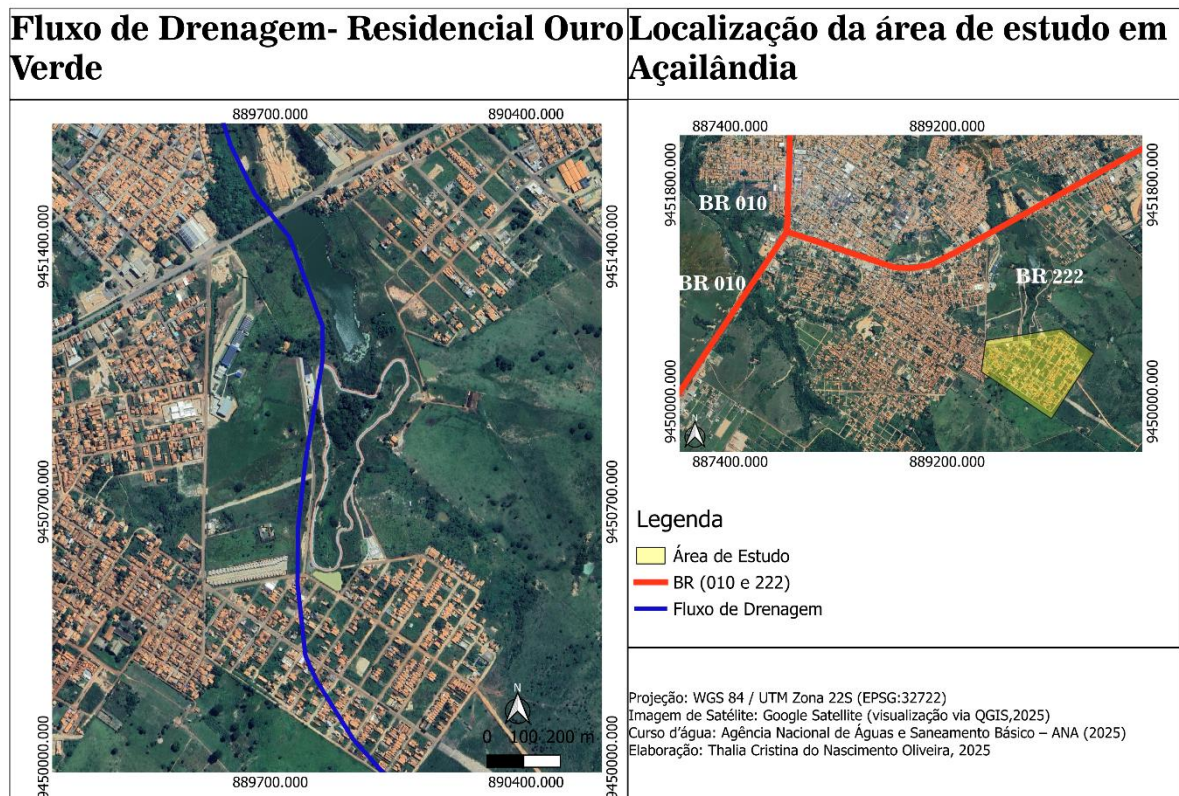
4. METODOLOGIA.

4.1 Identificação da área de estudo

O município de Açailândia localiza-se na região oeste do Maranhão, a cerca de 565 km de distância da capital, São Luís. O clima predominante na região é quente e úmido, apresentando uma precipitação média anual de aproximadamente 1.430 mm (ANA, 2025).

A Figura 15 apresenta o trajeto do fluxo de drenagem superficial no bairro Residencial Ouro Verde, evidenciando o caminho percorrido pelas águas pluviais em direção à bacia de contenção situada no Parque Ambiental. A figura também demonstra o posicionamento da área analisada dentro do município de Açailândia-MA.

Figura 15 – Fluxo de drenagem na região de estudo e localização no Município de Açailândia-MA.



Fonte: Autoria Própria, produzido pelo aplicativo QGIS (2025).

O foco deste estudo está localizado no bairro Residencial Ouro Verde, abrangendo uma área de aproximadamente 0,33 km², e é caracterizada principalmente por ocupação residencial (Figura 16). A região conta com uma infraestrutura urbana em desenvolvimento e passou recentemente por obras de pavimentação. Porém, a carência de um sistema eficiente de drenagem pluvial acaba comprometendo as vias e afetando diretamente a população local. Esses problemas ficam ainda mais evidentes em dias de chuvas fortes, quando as deficiências se tornam mais visíveis.

Figura 16 – Delimitação da área do Residencial Ouro Verde.



Fonte: Google Earth (2025), adaptada pela autora (2025).

4.2 Abordagem da pesquisa.

Esta pesquisa adotou uma abordagem metodológica mista, unindo elementos qualitativos e quantitativos. O estudo possui caráter exploratório e descritivo, buscando compreender, por meio de diferentes estratégias, a realidade do sistema de drenagem urbana na área investigada e propor soluções adequadas à sua realidade.

4.2.1 Etapa qualitativa

A etapa qualitativa teve início com uma ampla revisão bibliográfica, a partir da análise de normas técnicas, manuais especializados e artigos científicos relacionados à drenagem urbana e ao escoamento superficial. Essa base teórica serviu para o entendimento dos principais conceitos e práticas adotadas na área, além de orientar as demais etapas da investigação.

Adicionalmente, foi realizado um estudo de campo no dia 28 de abril de 2025, envolvendo a aplicação de um questionário (disponível no APÊNDICE A) a 40 moradores da área de estudo. Os indivíduos foram selecionados de maneira aleatória, ao longo da região analisada. O objetivo dessa etapa foi colher informações diretas da população sobre as condições do sistema de drenagem do bairro, identificando trechos críticos e verificando a percepção dos moradores quanto aos impactos da drenagem existente em seu cotidiano. Entre os dados levantados, destacam-se:

- Ocorrência de empoçamento de águas e alagamentos;
- Regularidade na manutenção;
- Principais consequências enfrentadas pela população;

- Descarte de águas cinza;
- Ocorrência de lixo ou entulhos nos dispositivos.

Essa etapa proporcionou uma leitura mais sensível à realidade local, permitindo que as futuras intervenções sejam pensadas com base nas vivências da própria comunidade.

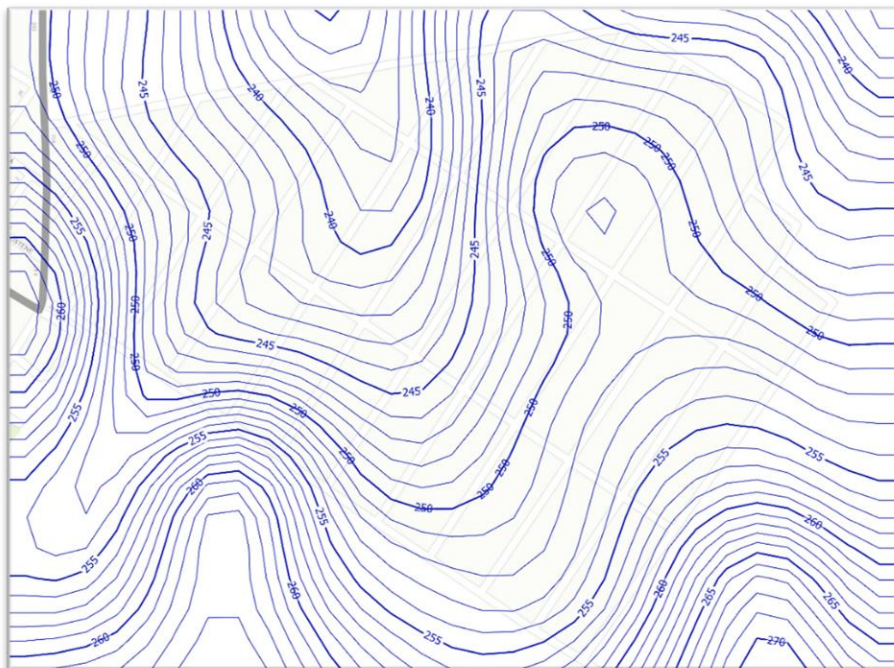
4.2.2 Etapa quantitativa

A etapa quantitativa teve como foco o levantamento de dados técnicos e sua análise, com o intuito de subsidiar o diagnóstico da área e das soluções de drenagem propostas.

Inicialmente, foi feita a identificação dos dispositivos de drenagem existentes. Esses elementos foram identificados in loco, fotografados, e mapeados no AutoCAD em uma planta baixa da área de estudo fornecida pela prefeitura. Além disso, foram coletados dados da série histórica de chuvas máximas diárias anuais, disponibilizada pelo portal da Agência Nacional de Água (ANA), fundamentais para a definição do índice pluviométrico da região.

A análise topográfica da área foi realizada por meio do software QGIS, utilizando dados de elevação provenientes do modelo SRTM. Foram extraídas as curvas de nível com intervalos de 1 metro, proporcionando uma representação adequada do relevo local para fins acadêmicos. As curvas de nível foram utilizadas como referência para determinar as cotas altimétricas nos trechos a montante e a jusante das áreas de contribuição, etapa essencial para a avaliação do escoamento superficial. A Figura 17 apresenta o resultado da extração sobreposto à imagem de satélite da área estudada.

Figura 17 – Curvas de nível extraídas no QGIS.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Complementarmente, também foi empregado o programa Google Earth para a geração de perfis de elevação ao longo das principais avenidas do bairro, com o objetivo de demonstrar a declividade e analisar o comportamento do fluxo superficial.

Por último, foi feita a análise hidráulica da drenagem existente, com base em parâmetros como a área de contribuição, declividade das vias, rugosidade dos materiais e estimativa de vazão, utilizando o método racional e equações hidrológicas como apoio para a interpretação do funcionamento atual do sistema. A representação esquemática da rede de drenagem foi elaborada com o auxílio de softwares técnicos, como o AutoCAD, a fim de identificar as principais fragilidades e deficiências do sistema existente. Com base nessa análise, foram propostas soluções técnicas e sustentáveis, visando à mitigação dos problemas identificados.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização da situação atual

Segundo informações coletadas na secretaria de Infraestrutura do Município, as intervenções realizadas na cidade geralmente são medidas pontuais, voltadas apenas à redução dos impactos provocados pelos altos volumes de chuva. Essas medidas costumam ser executadas de forma reativa, ou seja, apenas após a observação de falhas no escoamento superficial durante ou após eventos pluviométricos intensos.

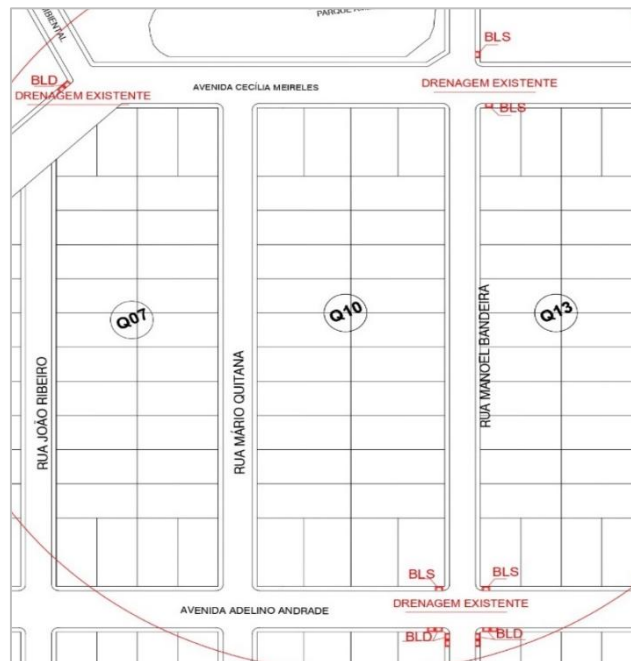
A análise realizada diretamente no local evidenciou uma pequena quantidade de dispositivos de drenagem, principalmente nas avenidas próximas à lagoa de contenção, situadas nas principais vias do bairro. Esses dispositivos foram identificados e contabilizados conforme apresentado na Tabela 6, que demonstra a quantidade dos elementos de drenagem encontrados na área de estudo. A Figura 18 apresenta o mapeamento da localização desses dispositivos no bairro Residencial Ouro Verde.

Tabela 6 – Dispositivos de drenagem localizados na área de estudo.

LOCALIZAÇÃO	BOCA DE LOBO	EXTENSÃO DO TRECHO (m)	TOTAL
AV. Adelino Andrade	Simple /Dupla	760	8
Av. Cecília Meireles	Simple /Dupla	572	3
Rua Manuel Bandeira	Simple /Dupla	330	5
Quantidade Total			16

Fonte: Autora (2025).

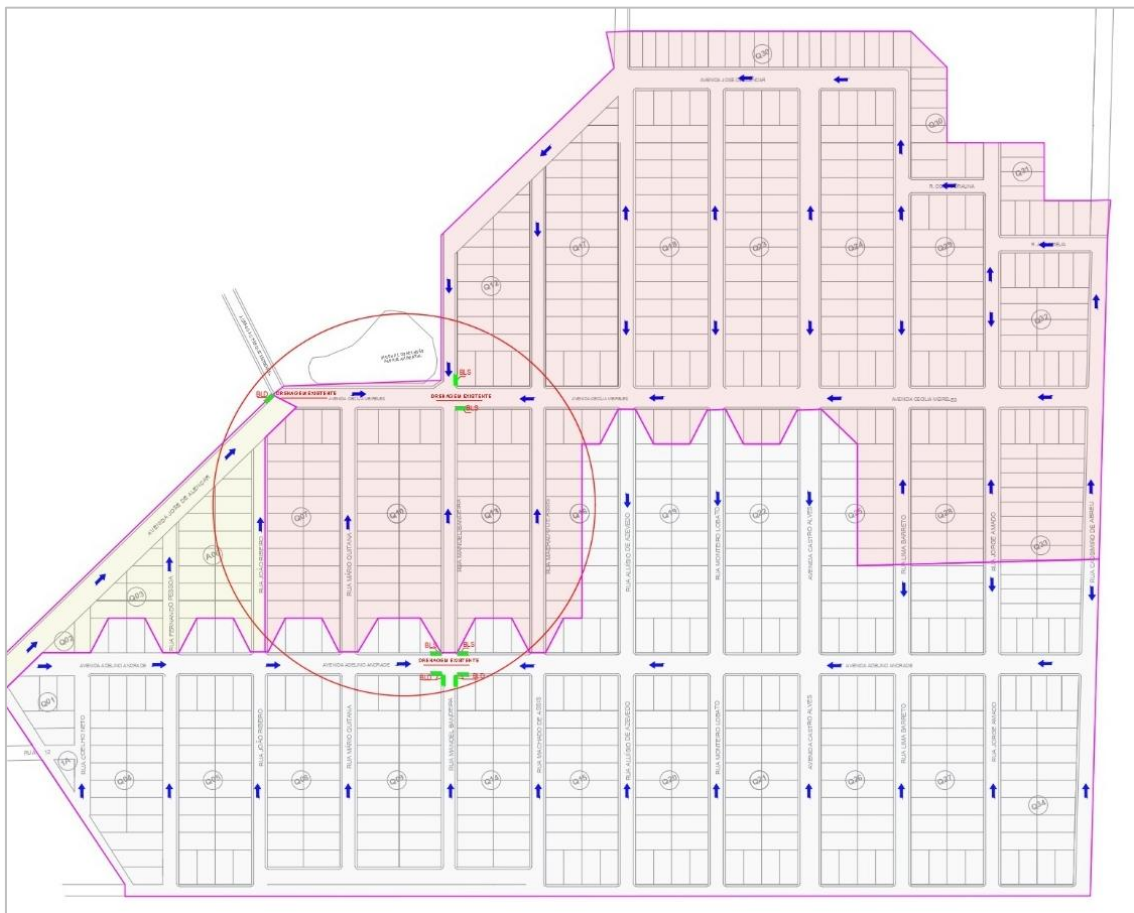
Figura 18 – Mapeamento da localização dos dispositivos de drenagem no bairro.



Fonte: Autora (2025).

A análise do mapeamento apresentado na (Figura 19) revela que os dispositivos de drenagem existentes no bairro estão interligados a um único sistema que direciona o escoamento superficial para uma lagoa de contenção situada no parque ambiental. Entretanto, observou-se que a área de contribuição para os pontos de drenagem é bastante extensa, o que implica em grandes volumes de água escoada superficialmente até chegar a esses pontos. O sentido de escoamento das águas provenientes dos lotes está direcionado principalmente para as avenidas principais Cecília Meireles e Av. Adelino Andrade.

Figura 19 – Mapeamento da área de contribuição dos dispositivos de drenagem existentes.



Fonte: Autora (2025).

A análise do perfil de elevação da Avenida Adelino de Andrade, conforme apresentado na Figura 20, evidencia uma declividade média de aproximadamente 7,9%. O trecho analisado possui cerca de 597 metros de extensão, com uma perda de elevação de 42,3 metros, o que configura uma área de alto potencial para o escoamento superficial acelerado.

Figura 20 – Perfil longitudinal da Avenida Adelino de Andrade, indicando variações de elevação e inclinação do terreno.



Fonte: Google Earth (2025).

Essa característica contribui significativamente para o desgaste precoce da pavimentação asfáltica, devido ao aumento da velocidade do escoamento das águas pluviais, que promove o carreamento de partículas finas e a formação de sulcos. O impacto é intensificado pela ausência de dispositivos de drenagem ao longo da via, que resultam em maior carga hidráulica sobre o pavimento e sarjeta (Figura 21).

Figura 21 – Desgaste do pavimento e sarjeta, trecho da Av. Adelino de Andrade.



Fonte: Autora (2025).

A avenida Cecília Meireles apresenta um comportamento altimétrico irregular ao longo dos 458 metros analisados, conforme evidencia a Figura 22. Observa-se um padrão ondulado de relevo, com início em uma elevação aproximada de 251 metros, seguida por um declive de

até 248 metros. Na sequência, ocorre um aclive que atinge 252 metros, culminando em um declive acentuado que chega a aproximadamente 233 metros, direcionando o escoamento superficial em sentido à bacia de retenção localizada ao final do trecho.

Figura 22 – Imagens de satélite perfil de elevação da Av. Cecília Meireles.



Fonte: Google Earth (2025).

Essa alternância entre aclives e declives favorece a formação de depressões naturais, que funcionam como áreas de acúmulo de águas pluviais. Essa condição acelera o desgaste do revestimento asfáltico, reduzindo sua vida útil e eficiência. Além disso, a água parada nesses locais favorece a reprodução de vetores de doenças, como o mosquito da dengue, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Trecho de empoçamento de água na Av. Cecília Meireles.



Fonte: Autora (2025).

Em relação aos elementos de drenagem, a Figura 24 exhibe registros capturados na

região analisada, escolhidos por evidenciarem as situações mais graves identificadas no levantamento de campo. Em determinados trechos, observa-se que bocas de lobo encontram-se parcialmente bloqueadas pelo acúmulo de sedimentos e pela presença de plantas invasoras, fatores que reduzem significativamente a eficiência do sistema de escoamento pluvial. Além disso, é possível identificar com clareza os rastros deixados pelo escoamento das águas pluviais sobre o pavimento asfáltico. Esses rastros reforçam a ineficiência do sistema existente em captar e conduzir adequadamente o volume de água proveniente das chuvas.

Figura 24 – Condições dos dispositivos de drenagem no bairro Residencial Ouro Verde, Açailândia-MA.



Fonte: Autora (2025).

5.2 Análise dos Resultados do Questionário Aplicado à População

Com a finalidade de captar a percepção dos moradores do bairro Residencial Ouro Verde quanto às condições de drenagem urbana e saneamento, foi aplicado um questionário estruturado contendo sete perguntas (APÊNDICE A). Participaram da pesquisa 40 moradores, selecionados aleatoriamente em diferentes ruas do bairro, buscando representar um panorama diversificado das realidades locais.

O primeiro aspecto analisado refere-se ao acúmulo de água após as chuvas, 92% afirmaram perceber poças de água com frequência em frente às residências ou vias próximas, 8% disseram não observar esse tipo de problema (Gráfico 1). O que impacta diretamente o

cotidiano da população e contribui para o desgaste das vias urbanas, conforme ilustrado na Figura 25.

Gráfico 1 – Água parada nas ruas.



Fonte: Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

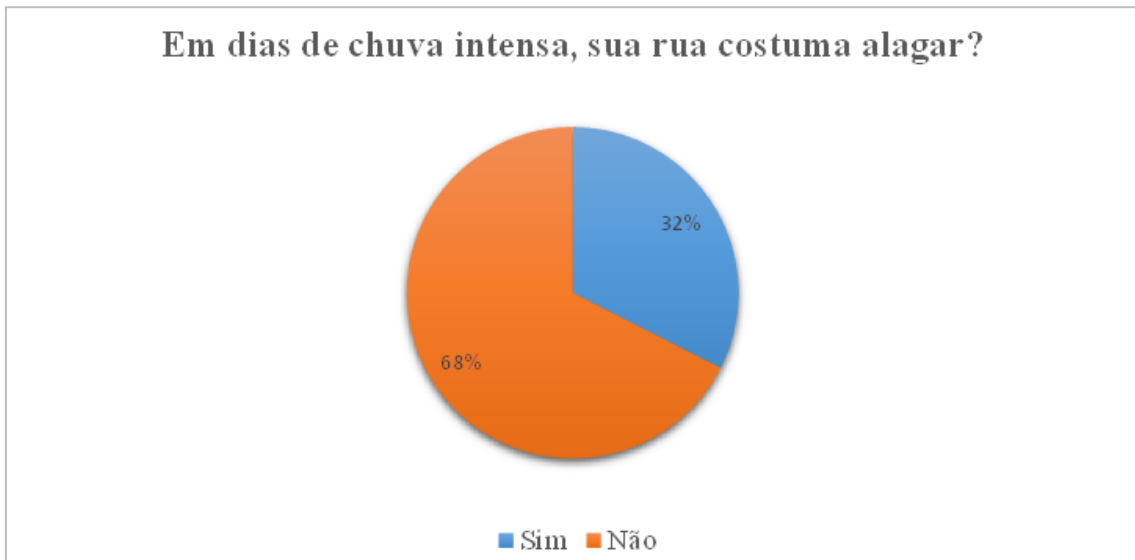
Figura 25 – Acúmulo de água parada nas vias urbanas.



Fonte: Autora (2025).

Adicionalmente, conforme apresentado no Gráfico 2, 32% dos moradores afirmaram que suas ruas costumam alagar em dias de chuva intensa (Pergunta 2), o que demonstra a recorrência desse problema no bairro. Essa situação é evidenciada também pela Figura 26 e Figura 27, que demonstram a dificuldade de escoamento das águas pluviais. Os pontos mais afetados por alagamentos concentram-se nas áreas baixas do bairro.

Gráfico 2 – Alagamento em ruas do bairro.



Fonte: Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

Figura 26 – Alagamento trecho Avenida Adelino Andrade



Fonte: Autora (2025).

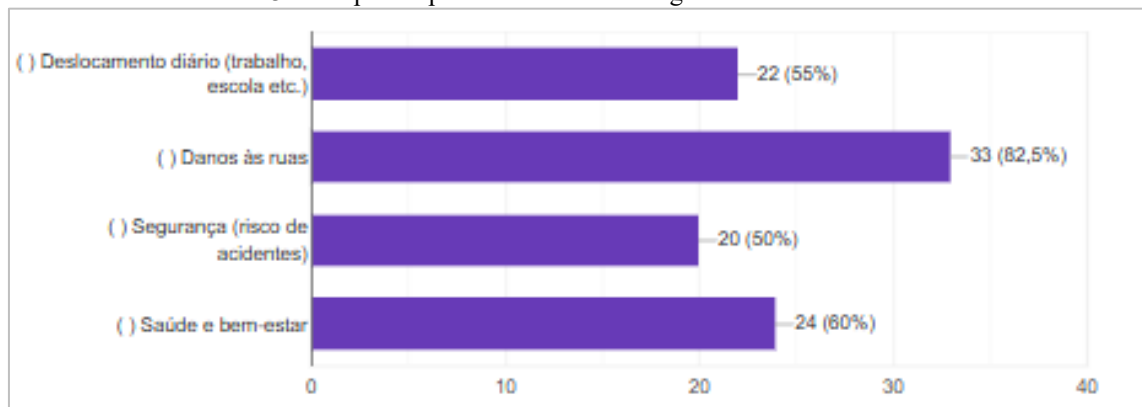
Figura 27 – Alagamento trecho Rua Machado de Assis.



Fonte: Autora (2025).

A pesquisa também abordou os impactos causados pela ausência de drenagem (Pergunta 3). Conforme demonstrado no Gráfico 3, onde os participantes poderiam marcar mais de uma opção, o aspecto mais citado foi o dano às ruas, mencionado por 82,5% dos participantes. Além disso, 60% dos entrevistados afirmaram que os problemas de drenagem afetam diretamente sua saúde e bem-estar, possivelmente em função do acúmulo de água e da formação de poças, que favorecem a proliferação de vetores.

Gráfico 3 – Impactos pela ausência de drenagem na vida dos moradores.

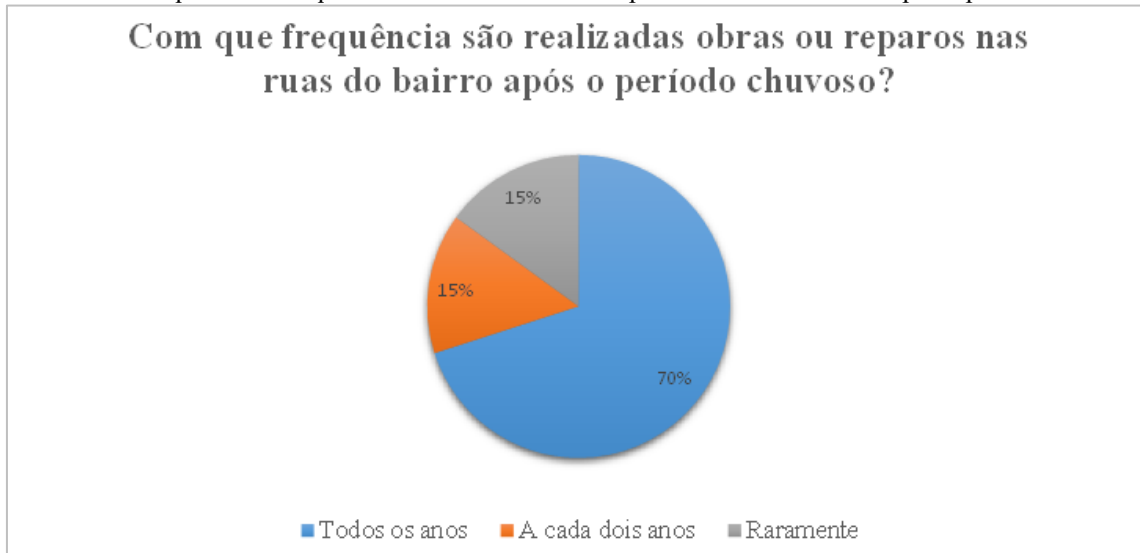


Fonte: Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

No que se refere à frequência de reparos nas vias após os períodos chuvosos (Pergunta

4), 70% dos moradores afirmaram que todos os anos há necessidade de intervenções, enquanto os demais relataram que os reparos ocorrem esporadicamente ou a cada dois anos (Gráfico 4). Durante a execução do estudo de campo, foi observada a execução de obras emergenciais de recuperação, reforçando a percepção da população quanto à necessidade recorrente de manutenção após eventos de chuva intensa (Figura 28).

Gráfico 4 – Frequência com que são realizadas obras ou reparos nas ruas do bairro após o período chuvoso.



Fonte: Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

Figura 28 – Execução de obras emergenciais de recuperação.

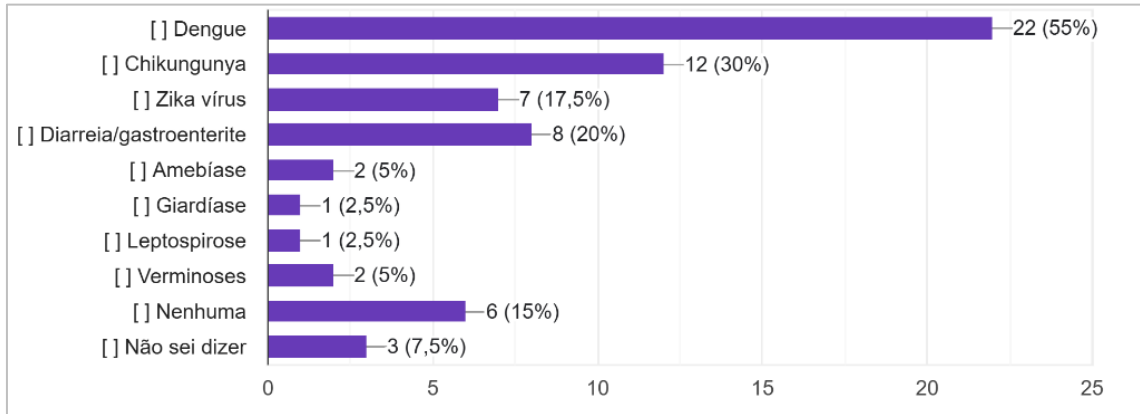


Fonte: Autora (2025).

Além disso, o questionário revelou que parte dos moradores já enfrentou doenças

associadas ao acúmulo de água e à má gestão da drenagem (Pergunta 5), como dengue, viroses e infecções de pele, indicando um reflexo direto do problema na saúde pública (Gráfico 5).

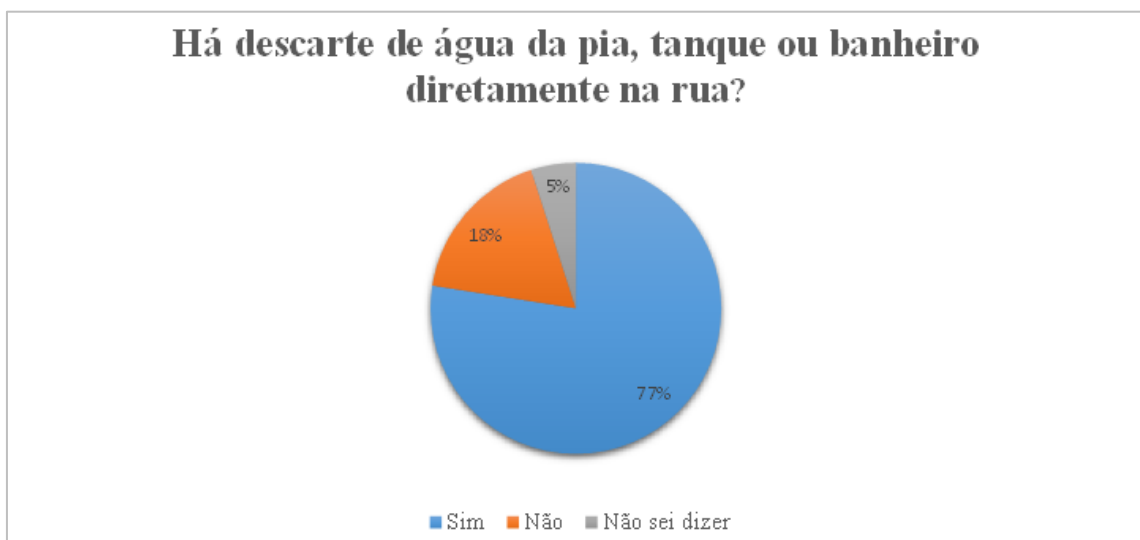
Gráfico 5 – Incidência de doenças relatadas por moradores após períodos chuvosos no bairro estudado.



Fonte: Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

O Gráfico 6 mostra que 77% dos moradores entrevistados relataram que a água usada na pia, no tanque ou no banheiro é jogada diretamente nas ruas (Pergunta 6). Esse tipo de descarte, feito de maneira inadequada, representa o lançamento de esgoto doméstico ou águas cinzas no ambiente urbano, favorecendo a proliferação de doenças e ainda comprometendo o funcionamento do sistema de drenagem do bairro, com o aumento de vazão pelo esgoto doméstico. Apenas 18% dos moradores negaram tal ocorrência, enquanto 5% demonstraram desconhecimento sobre o tema.

Gráfico 6– Descarte de água da pia, tanque ou banheiro diretamente na rua.



Fonte: Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

O Gráfico 7 revela que 87% dos moradores afirmaram já ter presenciado lixo ou entulho obstruindo bueiros e sarjetas em suas ruas (Pergunta 7), enquanto apenas 13% responderam

negativamente. Esse resultado reforça a percepção da própria comunidade sobre a deficiência do sistema de drenagem urbana, agravada por práticas inadequadas de descarte de resíduos sólidos.

Gráfico 7– Presença de lixo ou entulho obstruindo bueiros ou sarjetas.



Fonte : Resultados levantados na pesquisa de campo (2025).

A Figura 29 ilustra um dos pontos identificados durante a pesquisa de campo, observa-se o acúmulo de lixo e vegetação obstruindo a sarjeta, comprometendo o escoamento das águas pluviais. Essa obstrução não apenas dificulta a drenagem adequada, mas também coloca em risco a saúde dos moradores, devido ao acúmulo de água e à consequente proliferação de vetores.

Figura 29 – Lixo e vegetação obstruindo a sarjeta.



Fonte: Autora (2025).

5.3 Análise Hidrológica e Hidráulica

Para a análise do sistema de drenagem no bairro Residencial Ouro Verde, adotou-se um tempo de retorno (TR) de 2 anos, como indicado na Tabela 2. A escolha é justificada pelo fato de o bairro ser predominantemente residencial, cenário em que os critérios técnicos recomendam tempos de retorno mais baixos, considerando a menor criticidade da área e a maior tolerância à recorrência de eventos extremos.

Levando em conta as características da bacia e o tempo previsto de resposta do sistema, definiu-se uma duração da chuva de 10 minutos, comumente usada em pesquisas sobre microdrenagem urbana. Com base na série histórica de chuvas máximas diárias anuais, disponibilizada pelo portal da Agência Nacional de Águas (ANA), e com o auxílio da ferramenta GAM-IDF, foi possível determinar os parâmetros da equação IDF (Intensidade × Duração × Frequência), específicos para o município de Açailândia. Os parâmetros obtidos foram:

Parâmetros da IDF	a : 877,735, b : 0,203, c : 9,244, d : 0,707
-------------------	---

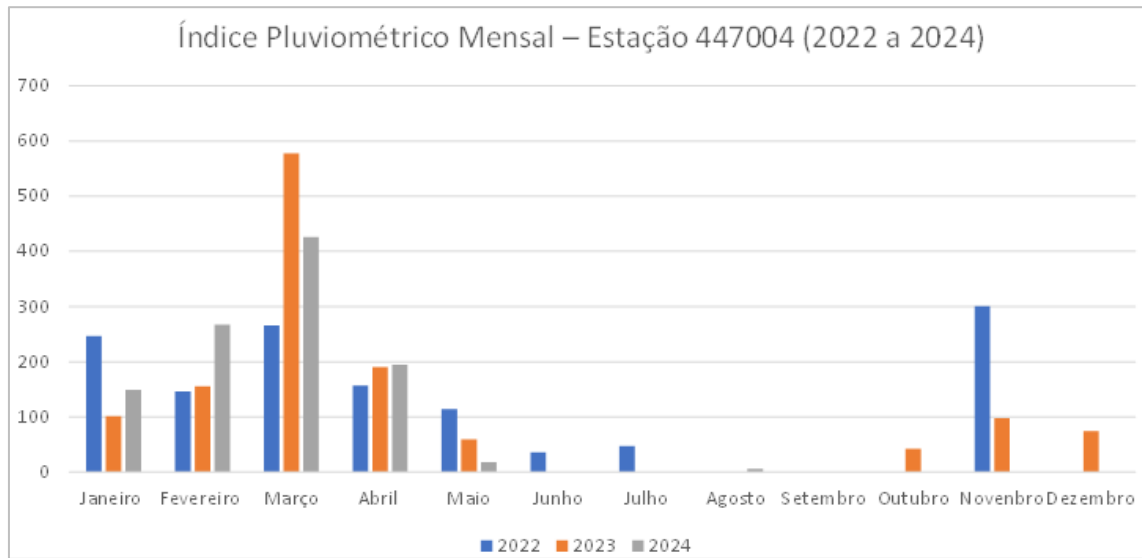
Esses parâmetros foram utilizados na equação (1):

$$i = \frac{877,735 \cdot 2^{0,203}}{(10+9,244)^{0,707}} = 124,8 \text{ mm / h}$$

O que resultou em uma intensidade de projeto calculada de 124,8 mm/h, valor que será utilizado nas próximas etapas do dimensionamento hidráulico. Além da análise das chuvas máximas, foi realizada também a avaliação do índice pluviométrico mensal da estação 447004, com o objetivo de identificar os períodos de maior sobrecarga do sistema de drenagem urbana.

A análise pluviométrica da estação próxima à área de estudo revela que o período em que o sistema hidráulico é mais sobrecarregado corresponde aos meses de janeiro a abril, com índices mensais elevados, conforme demonstrado no Gráfico 8.

Gráfico 8– Índice Pluviométrico Mensal – Estação 447004 (2022 a 2024).



Fonte: Adaptado de dados da ANA – Hidroweb (2025).

Nesta análise, foi adotado o valor de 0,8 como coeficiente de escoamento superficial, de acordo com a Tabela 3, que apresenta os valores médios para áreas urbanizadas com ruas pavimentadas. Essa escolha reflete as condições observadas no bairro Residencial Ouro Verde, caracterizado por elevada impermeabilização do solo e ausência de infraestrutura de infiltração.

Com base nos valores estimados de vazão superficial nos trechos analisados na Tabela 7, observa-se que as sarjetas existentes nas avenidas Adelino Andrade, Cecília Meireles e José de Alencar recebem volumes significativos de escoamento. As vazões calculadas variam entre 0,40 m³/s e 4,57 m³/s, o que demandaria sarjetas com dimensões significativamente maiores do que as atualmente existentes para garantir a condução segura da água pluvial.

Tabela 7 – Resultados obtidos de vazão e velocidade nas sarjetas das vias principais.

MUNICÍPIO: AÇAILÂNDIA-MA														
LOCALIZAÇÃO: RESIDENCIAL OURO VERDE														
C:	0,8 adm	η rugosidade sarjeta:		0,015										
TR:	2 Anos	Inclinação 25% (Z):		1:4 adm										
Intens. Pluv:	124,8 (mm/h)													
PLANILHA DE CÁLCULO – DRENAGEM SUPERFICIAL ATUAL -ESTIMATIVA														
Trecho	Bacia de Contribuição	Cota P. Inicial (m)	Cota P. Final (m)	Dist. (m)	Desnível (Δh) (m)	I_{rua} (%)	Bacia local	Tempo de Concentração		Vazão m ³ /s	Altura da lâmina d'água (m)	Largura da lâmina d'água (m)	Área molhada (m ²)	Vsarj. (m/s)
							Área (m ²)	Cal.	Adot.					
01 a 02	Av. Adelino Andrade	276	238	590	38	6,4%	164887,00	7,64	10	4,57	0,53	2,1	0,55	8,27
02 a 03	Av. Cecília Meireles	252	233	469	19	4,1%	154537,00	7,65	10	4,29	0,56	2,2	0,63	6,84
03 a 04	Av. José de Alencar	249	236	160	13	8,1%	14594,00	2,56	10	0,40	0,20	0,8	0,08	4,92

Fonte: Autora (2025).

Além disso, os resultados indicam velocidades de escoamento elevadas, todas superiores ao limite máximo recomendado para segurança e integridade do pavimento. As

velocidades variam entre 4,92 m/s a 8,27 m/s, ultrapassando os valores de referência de 3,0 a 4,5 m/s, que são considerados os máximos admissíveis para escoamento em vias pavimentadas com sarjetas de concreto. Este excesso de velocidade contribui diretamente para a deterioração precoce do pavimento e das próprias sarjetas, justificando os danos recorrentes observados na infraestrutura do bairro.

Com base nas dimensões médias das bocas de lobo analisadas, altura da lâmina d'água de 0,10 m e largura da abertura de 1,0 m, foi possível estimar a capacidade das bocas de lobo existentes conforme Tabela 8. Os resultados demonstram que essa capacidade é significativamente inferior à vazão superficial gerada nas vias estudadas. Na Avenida Adelino Andrade, com 8 dispositivos de captação, junto com um trecho de bocas de lobo da rua Manuel Bandeira, com 4 dispositivos, das 4,57 m³/s de vazão superficial estimada, apenas 0,65 m³/s são captados pelas 12 bocas de lobo existentes. Como consequência, um volume excedente de 3,93 m³/s permanece escoando pela sarjeta.

A situação é ainda mais preocupante nas Avenidas Cecília Meireles e José de Alencar, onde as 4 bocas de lobo possuem capacidade total de apenas 0,22 m³/s, frente a uma vazão gerada de 4,69 m³/s, resultando em um volume excedente de 4,47 m³/s.

Tabela 8 – Capacidade das Bocas de Lobo.

CAPACIDADE DAS BOCAS DE LOBO					
Avenidas e Ruas	Quant. de Bocas de Lobo	Vazão m³/s	Capacidade de engolimento por boca de lobo (m³/s)	Capacidade total (m³/s)	Vazão excedente na sarjeta
Av. Adelino Andrade/ Rua Manuel Bandeira	12	4,57	0,05	0,65	3,93
Av. Cecilia Meireles / Av. José de Alencar	4	4,69	0,05	0,22	4,47

Fonte: Autora (2025).

Portanto, os dados reforçam a necessidade de reavaliação e redimensionamento do sistema de drenagem urbana, e implantação de soluções complementares para o controle de vazão e redução da velocidade do escoamento.

5.4 Propostas de Melhoria

A partir da análise desenvolvida e considerando as condições socioeconômicas do bairro Residencial Ouro Verde, propõem-se intervenções com foco na gestão integrada da drenagem

urbana, priorizando soluções sustentáveis, com potencial de participação da comunidade, para contribuição sobre a redução dos impactos do escoamento superficial.

Medidas Convencionais

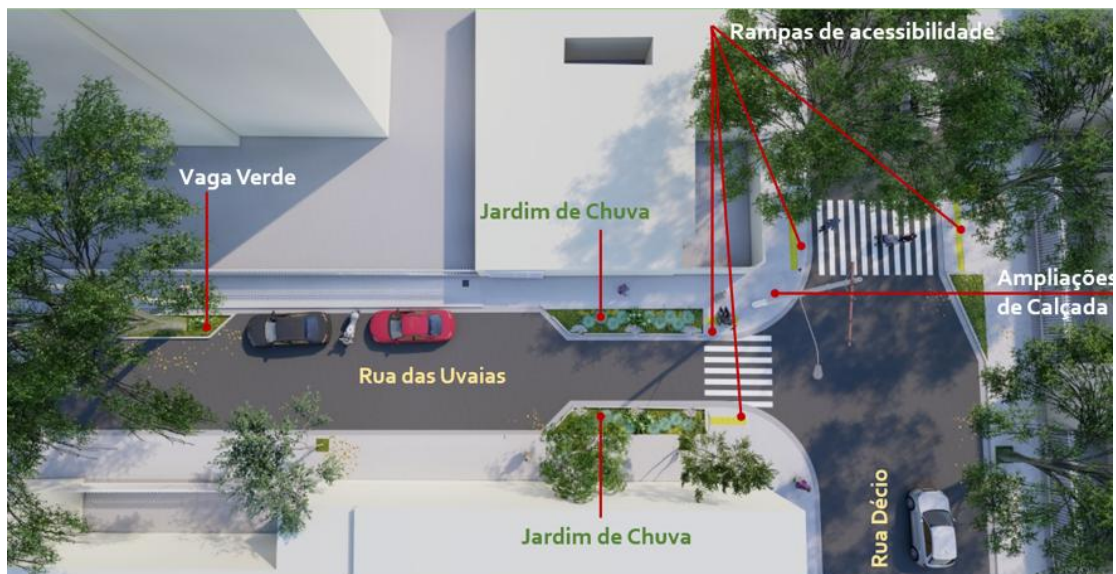
- **Aumentar o número de bocas de lobo nas vias principais:** É importante instalar mais bocas de lobo, principalmente nas avenidas Adelino Andrade, Cecília Meireles e José de Alencar. Isso permite uma distribuição mais eficiente do fluxo de águas pluviais, diminuindo tanto o volume quanto a velocidade do escoamento superficial nas sarjetas.
- **Readequação das sarjetas existentes:** É necessário redimensionar as sarjetas para que consigam suportar vazões mais altas durante chuvas intensas. Essa melhoria visa evitar danos no pavimento, aumentando a durabilidade das vias e garantindo mais segurança para quem trafega por elas.

Medidas Sustentáveis

- **Educação ambiental e orientação sobre águas cinzas:** Incentivar os moradores a destinarem adequadamente suas águas cinzas (de pias, chuveiros e lavanderias) por meio de soluções descentralizadas, como fossas com sumidouros, priorizando a infiltração no solo e reduzindo o excesso de carga sobre o sistema de drenagem pluvial.
- **Campanhas de conscientização:** Realizar ações educativas, como distribuição de cartilhas informativas e oficinas comunitárias, orientando sobre a instalação segura e eficiente de sistemas de reaproveitamento de águas pluviais. A introdução de microrreservatórios domésticos, como barris de chuva, é uma opção econômica e eficaz, permitindo o armazenamento de água da chuva com finalidades não potáveis, como irrigação, limpeza e descargas, além de contribuir para o alívio do sistema de drenagem.
- **Implantação de biorretenção no canteiro central da Avenida Adelino Andrade:** Propõe-se a readequação do canteiro central existente para funcionar como um sistema de biorretenção, com base em princípios de drenagem urbana sustentável. A estrutura proposta seria composta por vegetação nativa, camadas de solo filtrante, substrato drenante e elementos de contenção lateral, permitindo o armazenamento temporário da água pluvial e sua posterior infiltração no solo.

- **Jardins de chuva e pavimentos permeáveis na Av. Cecília Meireles:** Nos trechos onde a água costuma se acumular com frequência, é recomendável a implantação de jardins de chuva nas esquinas, que funcionariam como áreas naturais de infiltração. Além disso, a substituição de calçadas impermeáveis por pisos permeáveis permitirá que a água empoçada seja absorvida pelo solo de forma mais eficiente. O modelo de concepção dos jardins de chuva está representado na Figura 30.

Figura 30 – Soluções de drenagem sustentável e urbanismo tático com jardins de chuva, vagas verdes e acessibilidade.



Fonte: FLUXUS DESIGN ECOLÓGICO (2020, apud SESC-SP, 2020).

6. CONCLUSÃO.

Os resultados obtidos, por meio de levantamentos de campo, análises hidrológicas e hidráulicas, bem como pela escuta da comunidade local, evidenciaram uma situação preocupante no bairro Residencial Ouro Verde. A falta de um sistema de drenagem pluvial eficaz tem provocado efeitos negativos na infraestrutura urbana e na saúde pública da população local.

As elevadas velocidades de escoamento superficial, associadas à insuficiência dos dispositivos de captação, têm provocado o desgaste prematuro do pavimento, a ocorrência de alagamentos e o acúmulo de águas contaminadas, criando um ambiente propício à proliferação de doenças. Tais problemas refletem não apenas falhas técnicas no dimensionamento da drenagem, mas também a carência de diretrizes públicas específicas voltadas ao planejamento urbano da região.

Considerando o relevo da área de estudo, com trechos de maior declividade, é fundamental dimensionar adequadamente o sistema de drenagem para reduzir as altas velocidades de escoamento superficial. Medidas essenciais incluem a ampliação das bocas de lobo e a implantação de sistemas de drenagem sustentável, a fim de controlar de forma eficaz as vazões.

Além disso, a eliminação dos lançamentos irregulares de esgoto no sistema pluvial, prática que contribui para o aumento das vazões e compromete a eficiência da drenagem, deve ser uma prioridade, a ser enfrentada com fiscalização ativa e políticas públicas eficazes, uma vez que, conforme a NBR 17076:2024, a produção de esgoto residencial varia entre 100 e 160 litros por pessoa/dia (ABNT, 2024).

Embora a coleta de lixo seja regularmente realizada no bairro, observa-se a presença recorrente de lixo e vegetação acumulada em sarjetas e dispositivos de captação, em grande parte decorrente do comportamento inadequado de parte da população e da carência de manutenção. Essa realidade evidencia a importância de campanhas contínuas de educação ambiental e da participação comunitária, uma vez que a administração das águas pluviais não se limita à engenharia, mas envolve mudanças culturais e sociais, como o descarte adequado de resíduos e o uso consciente da água.

Nesse contexto, destaca-se a necessidade de ações governamentais que transcendam soluções emergenciais, como a atualização do Plano Diretor Municipal, incorporando um Plano Diretor de Drenagem Urbana que estabeleça critérios técnicos rigorosos para novos loteamentos, condicionando sua aprovação à existência de infraestrutura básica de drenagem.

Essa ação ajudará a evitar que novas expansões urbanas venham a reproduzir as deficiências atualmente observadas.

Adicionalmente, recomenda-se a criação de manuais técnicos municipais, adaptados às especificidades locais, voltados a fornecer diretrizes para profissionais das áreas de engenharia, arquitetura e urbanismo no desenvolvimento de projetos sustentáveis e eficazes. Esses manuais devem contemplar, ainda, o uso de infraestruturas verdes, como jardins de chuva, pavimentos que permitem a infiltração, sistemas de biorretenção e pequenos reservatórios, servindo como alternativas que complementam a drenagem tradicional.

Por fim, esta pesquisa deixa como legado a importância de se pensar a drenagem urbana não apenas como uma resposta técnica, mas como um instrumento de justiça ambiental e social, capaz de transformar realidades, prevenir riscos e construir cidades mais resilientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ADASA – AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Brasília, DF: Adasa, 2023. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/drenagem_urbana/regula%C3%A7%C3%A3o/Manual_de_drenagem_e_manejo_de_aguas_urbanas/Manual%20Drenagem%20Adasa_Digital_rev_compactado-2_compressed.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Agenda regulatória**. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/governanca-regulatoria/agenda-regulatoria>. Acesso em: 22 mar. 2025.
- ALBUQUERQUE, Mariana Borges et al. **Sustainable Urban Drainage: a brief review of the compensatory techniques of structural and non-structural measures**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET, Santa Maria, v. 23, ed. esp., p. 1–9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117039837>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- ALVES, P. B. R.; RUFINO, I. A. A.; FEITOSA, P. H. C.; DJORDJEVIĆ, S.; JAVADI, A. **Land-Use and Legislation-Based Methodology for the Implementation of Sustainable Drainage Systems in the Semi-Arid Region of Brazil**. Sustainability, v. 12, n. 2, p. 661, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/661>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16416: pavimentos permeáveis de concreto — Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17076:2024. Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS DEPARTAMENTOS ESTADUAIS DE ESTRADAS DE RODAGEM (ABDER). **Apostila do Curso de Capacitação em Gestão e Engenharia de Manutenção de Pavimentos**. Brasília, DF: ABDER, 2019. Disponível em: https://www.abder.org.br/wp-content/uploads/2020/07/apostila_2019.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.
- BARRA DO GARÇAS (MT). **Memorial Descritivo e Especificações Técnicas – Projeto de Drenagem Urbana: Drenagem Profunda – Bairro Nova Barra**. Barra do Garças: Prefeitura Municipal, 2023. Disponível em: https://www.barradogarcas.mt.gov.br/fotos_licitacao/954.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 12 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Atualizada pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm . Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm . Acesso em: 29 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p. ISBN 978-85-7346-060-5. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Doenças de veiculação hídrica e seus impactos**. Brasília: MS, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/> . Acesso em: 17 abr. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Glossário Técnico – Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: MDR, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/area-do-prestador-e-municipios/coleta-de-dados-do-snis-aguas-pluviais-1/Glossario_Tecnico_AP2022.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

COELHO, Daniel Teixeira Rezende. **Dimensionamento de bacia de detenção na sub-bacia do Ribeirão Arrudas, na região oeste de Belo Horizonte utilizando o modelo SWMM**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2019/03/DANIEL-TEIXEIRA-REZENDE-COELHO.pdf> . Acesso em: 1 maio 2025.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba: Volume IV – Manual de Drenagem**. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2021. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2021/00314188.pdf>. Acesso em: 4 maio 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de drenagem de rodovias: volume 4 – drenagem urbana**. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2006. 394 p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/rodovias/operacoes-rodoviaras/publicacoes-tecnicas/manual-de-drenagem-urbana.pdf> . Acesso em: 6 jun. 2025.

FILHO, Arlan Soares Amaral. **Dimensionamento e simulação de um sistema de drenagem**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/40325/1/AMARAL%20FILHO%2C%20Arlan%20Soares.pdf> . Acesso em: 21 abr. 2025.

FLUXUS DESIGN ECOLÓGICO. Seção do Jardim de Chuva – Projeto Técnico. In: SESC-SP. **Cidades para pessoas em conexão com a natureza**. 2020. Disponível em:

<https://www.sescsp.org.br/editorial/cidades-para-pessoas-em-conexao-com-a-natureza/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Brasília: FUNASA, 2016. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Drenagem+e+Manejo+das+%C3%81guas+Pluviais+Urbanas.pdf/72c03623-99ee-40d8-b1e8-107c182daf8e?version=1.0> . Acesso em: 6 jun. 2025.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2015. ISBN 978-85-7346-049-0. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/541>. Acesso em: 7 jun. 2025.

GONÇALVES, Felipe Timmermann; NUCCI, João Carlos. **Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do rio Juvevê**, Curitiba-PR. R. Ra’e Ga, Curitiba, v. 42, p. 192–209, dez. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/47043/34143>. Acesso em: 21 abr. 2025.

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite de Açailândia – MA**. Imagem capturada em: 8 Fev. 2025. Disponível em: <https://earth.google.com>. Acesso em: 8 fev. 2025.

GPHIDRO – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. GAM-IDF: **Modelo Generalizado Aditivo para curvas IDF**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2022. Disponível em: <https://gphidro.shinyapps.io/gam-idf/>. Acesso em: 7 jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Doenças de veiculação hídrica e os custos para o SUS**. São Paulo: ITB, 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/despesas-internacoes-doencas-falta-saneamento/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de et al. **Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 271–284, jul./set. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/gghrq58K36hBFDyJ8zq5ZMv/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

MENDES, Alesi Teixeira; SANTOS, Gesmar Rosa dos. **Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar?** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2022. (Texto para Discussão, n. 2791). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11420/1/TD_2791.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.

MENDES, P. R.; ALVES, R. A. **Desafios da drenagem urbana no Brasil: entre o avanço normativo e a precariedade da gestão local**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 4, p. 623–630, 2022.

MOTTA, Luiz Maurício T. G. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2016. Disponível em: <https://abeda.org.br/wp-content/uploads/2023/06/pa-captulo-04.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

NETO, Ângelo Toscan. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada**

em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM. 2019. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4501> . Acesso em: 21 abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITANHAÉM. **Manual de Drenagem Urbana. Itanhaém – SP,** 2015. 64 p. Disponível em: https://www2.itanhaem.sp.gov.br/wp-content/uploads/2023/07/10-MANUAL-DE-DRENAGEM-MUNICIPAL.pdf?utm_source Acesso em: 10 abr. 2025.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. **Tempo de retorno de inundações: aplicação metodológica.** GEOUSP: Espaço e Tempo (Online), v. 22, n. 3, p. 670–686, 2018. Disponível em: <https://revistas.usp.br/geousp/article/view/145266>. Acesso em: 1 maio 2025.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System.** Open Source Geospatial Foundation Project, 2025. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 20 maio 2025.

ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. **Conceitos básicos de hidrologia e drenagem para projetos rodoviários.** Brasília: Instituto de Pesquisas em Transportes; Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2022. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/jspui/bitstream/1/7814/4/M%C3%B3dulo%204%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos%20de%20Drenagem.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

ROCHA, Lucas Amaral; ALMEIDA, Aleska Kaufmann; MARQUES, Leidiane da Silva; ALMEIDA, Isabel Kaufmann de. **Influência da estimativa do tempo de concentração no dimensionamento de um reservatório de detenção.** Revista Valore, Volta Redonda, v. 7, e7008, 2022. Disponível em: <https://revistavalore.com/e7008>. Acesso em: 9 jun. 2025.

SANTOS, Débora Silva Barreto dos; SILVA, Gustavo Henrique Maciel Pereira; QUEIROZ, Melzedeque Santos; LINS, Ittana de Oliveira; NASCIMENTO, Andrezzo Júlio Dantas. **Pavimentos flexíveis: análise bibliográfica das principais patologias nas rodovias brasileiras.** Revista F&T, v. 28, n. 139, 19 out. 2024. Disponível em: <https://revistaft.com.br/pavimentos-flexiveis-analise-bibliografica-das-principais-patologias-nas-rodovias-brasileiras/>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SANTOS, L. F. dos; SILVA, L. C.; OLIVEIRA, M. A. **Panorama dos investimentos em drenagem urbana no Brasil: desafios e perspectivas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, e31, 2020.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (Município). **Relatório das oficinas técnicas: diagnóstico e proposições para drenagem urbana sustentável no município de São José dos Campos.** São José dos Campos: Prefeitura Municipal de São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/media/301551/produto-2-relatorio-das-oficinas-tecnicas.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SILVA, D. F. et al. **Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 21, e1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rega.v21e1>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS).
Diagnóstico temático: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas – visão geral 2023.
Brasília: SNIS, 2023. Disponível em:
<https://pt.scribd.com/document/788342721/DIAGNOSTICO-TEMATICO-VISAOGERAL-AP-SNIS-2023-2>. Acesso em: 3 jan. 2025

SOUSA, Fernando José de. **Tópicos de Saneamento Básico: Águas Pluviais e Resíduos Sólidos.** 2017. Disponível em:
https://books.google.com.br/books/about/T%C3%B3picos_De_Saneamento_B%C3%A1sico.html?hl=pt-BR&id=m7t5DwAAQBAJ. Acesso em: 13 abr. 2025.

Tucci, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. Rega, 13(1), 29-42, 2016.

VIEIRA, L. **Aplicação de modelos hidrológicos com SIG em obras civis lineares.** 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06012016-092547/publico/DissertVieiraLarissaCorrigCompressed.pdf>. Acesso em: 4 maio 2025.

**APÊNDICE A – Questionário aplicado sobre Drenagem Urbana e Saneamento no
Bairro Ouro Verde**

• **PERCEPÇÃO GERAL SOBRE A DRENAGEM**

1. Após chuvas, você percebe acúmulo de água parada em frente à sua residência ou nas ruas próximas?

Sim Não Às vezes

2. Em dias de chuva intensa, sua rua costuma alagar?

Sim Não

• **INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE**

3. Na sua opinião, os problemas de drenagem impactam em quais aspectos da sua vida?

(Marque mais de uma opção):

Deslocamento diário (trabalho, escola etc.)

Danos às ruas

Segurança (risco de acidentes)

Valorização do imóvel

Saúde e bem-estar

Não impacta

4. Com que frequência são realizadas obras ou reparos nas ruas do bairro após o período chuvoso?

Todos os anos

A cada dois anos

Raramente

Nunca

• **SAÚDE PÚBLICA E CONDIÇÕES SANITÁRIAS**

5. Após períodos de chuva, você ou alguém da sua família já apresentou alguma das seguintes doenças?

(Marque as que se aplicam):

Por vetores (mosquitos)

Dengue

Chikungunya

Zika vírus

Nenhuma das opções acima

Não sei dizer

Por contato com água ou solo contaminado

Diarreia/gastroenterite

Amebíase

Giardíase

Leptospirose

Verminoses (ex.: Ascariíase, Ancilostomíase)

Nenhuma das opções acima

Não sei dizer

- **EM RELAÇÃO AO ESGOTAMENTO E RESÍDUOS:**

6. Há descarte de água da pia, tanque ou banheiro diretamente na rua?

Sim Não Não sei dizer

7. Você já presenciou lixo ou entulho obstruindo bueiros ou sarjetas na sua rua?

Sim Não