

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Aíla Monique Santos de Brito

**PROJETO DE MICRODRENAGEM URBANA DO BAIRRO PAULO VI  
DA CIDADE DE CAÍCO - RN**

Pombal - PB  
2021

Aíla Monique Santos de Brito

**PROJETO DE MICRODRENAGEM URBANA DO BAIRRO PAULO VI  
DA CIDADE DE CAÍCO - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Campina Grande como requisito básico  
para conclusão do Curso de Engenharia  
Civil.

Orientador: Manoel Moisés F. de Queiroz

B862p

Brito, Aila Monique Santos de.

Projeto de microdrenagem urbana do bairro Paulo VI da cidade de Caicó - RN. / Aila Monique Santos de Brito. - Pombal, 2021.

63 f. : il. Color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Manoel Moisés F. de Queiroz".

Referências.

1. Drenagem urbana. 2. Microdrenagem - Caicó - RN. 3. Drenagem urbana - Caicó - RN. 4. Urbanização - planejamento. 5. sistema de drenagem - águas pluviais. 6. Drenagem - solo. I. Queiroz, Manoel Moisés F. de. II. Título.

CDU 626.86(043)

Aíla Monique Santos de Brito

**PROJETO DE MICRODRENAGEM URBANA DO BAIRRO PAULO VI  
DA CIDADE DE CAÍCO - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Campina Grande como requisito básico  
para conclusão do Curso de Engenharia  
Civil.

Aprovado em 14 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. **Manoel Moisés Ferreira de Queiroz**  
(Orientador – UACTA/CCTA/UFCG)

---

Prof. Dr. **Walker Gomes de Albuquerque**  
(Examinador Interno – UACTA/CCTA/UFCG)

---

Profa **Katharine Taveira de Brito Medeiros**  
(Examinador Externo – IFPB/CAJAZEIRAS-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais, Joelma e Allyson, pelo esforço, amor e dedicação para que a educação sempre fosse a prioridade número um tanto para mim quanto para meus irmãos. Aos meus tios Júnior, Fia e Leuda por sempre se dispor a ajudar durante essa jornada. E a minha vó Severina por todo amor desde sempre.

Ao professor Moises por ter aceitado o convite de ser meu orientador, pela paciência e esforço necessário durante esse período remoto, por não ter desistido de mim e todos os ensinamentos durante a graduação e orientação.

Aos amigos que fiz nesses anos de faculdade, em especial meu Squad por todos os dias de trabalho, pelo apoio incondicional e por todos os momentos felizes que foram essenciais para que eu pudesse continuar bem mesmo longe de casa.

Por fim, a Maize por ser uma das principais incentivadoras nessa jornada, por ouvir todas as minhas reclamações e felicidades, por me acompanhar durante toda a graduação e sempre tentar me ajudar de alguma forma, seja de longe ou perto.

BRITO, A. M. S. **PROJETO DE MICRODRENAGEM URBANA DO BAIRRO PAULO VI DA CIDADE DE CAÍCO – RN.** 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. Pombal, 2021.

## RESUMO

O processo de urbanização refere-se ao crescimento das cidades, tanto em relação a população quanto em extensão territorial. Nesse processo, o espaço é transformado devido a migração populacional da zona rural para zona urbana, que muitas vezes ocorre de maneira intensa, acelerada e desordenada. A ausência de planejamento para a construção dos bairros favorece o processo de impermeabilização das ruas e a erosão do solo, tais problemas podem gerar casos de inundações e alagamentos devido ao não escoamento pluvial adequado. O presente trabalho tem como finalidade apresentar uma proposta de solução técnica para o bairro Paulo VI localizado na cidade de Caicó – RN. A problemática está no fato do bairro não apresentar pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais, pois devido os períodos de chuva o processo de erosão do solo está cada vez mais forte, dificultando o acesso ao bairro, tráfego nas ruas e risco de inundações causando impactos direto no bem-estar dos moradores. Desse modo, foi proposto um projeto técnico a partir dos parâmetros hidrológicos da região e métodos de dimensionamento feitos a partir das bibliografias apresentadas. No fim, obteve-se 1300 m de tubulação com 400mm, 108 sarjetas de 40cm de largura e 33 bocas coletoras com grelhas sem depressão.

**Palavras-chave:** Urbanização; Dimensionamento; Drenagem.

## **ABSTRACT**

The urbanization process refers to the growth of cities, related to the population and in territorial extension. In this process the space is converted due to migration of people from the countryside to the urban area, which often occurs in an intensely, accelerated and disordered way. Deficit in planning to neighborhoods construction favors the process of waterproofing the streets and soil erosion, such problems can cause floods and inundations as a result of no adequate rainwater drainage. The paper has as purpose to present a technical solution to Paulo VI region located in the city of Caicó – RN. The problematic relies on the fact that the neighborhood doesn't have paving and rainwater drainage system, thus, by cause of rainy periods the process of soil erosion is even stronger, hindering the access to the area, traffic on streets and floods risk impacting directly on the residents' well-being. Along these lines, a technical project was proposed based on the hydrological parameters of the region and sizing methods made from the presented bibliographies. In the end were obtained 1300 m tubing with 400 mm, 108 gutters and 33 snapdragon with grill without depression.

**Keyword:** Urbanization; Dimensioning; Drainage.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização da cidade de Caicó no estado do Rio Grande do Norte.....	21
<b>Figura 2:</b> Açude Itans.....	22
<b>Figura 3:</b> Açude Recreio.....	22
<b>Figura 4:</b> Condições de moradia no bairro Paulo VI.....	23
<b>Figura 4.1:</b> Condições de moradia no bairro Paulo VI.....	23
<b>Figura 5:</b> Condições das vias e escoamento no bairro Paulo VI.....	24
<b>Figura 5.1:</b> Condições da via e escoamento no bairro Paulo VI.....	24
<b>Figura 6:</b> Demarcações da área de estudo.....	29
<b>Figura 7:</b> Áreas de influência dos trechos.....	29
<b>Figura 8:</b> Seção Padrão da Sarjeta.....	31
<b>Figura 9:</b> Tipos de Boca Coletoras.....	35



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Dados climatológicos de Caicó – RN.....	21
<b>Tabela 2:</b> Distribuição Gumbel.....	25
<b>Tabela 3:</b> Variável Gumbel.....	41
<b>Tabela 4:</b> Precipitação observada e teórica.....	42
<b>Tabela 5:</b> Teste Qui Quadrado para Gumbel.....	43
<b>Tabela 6:</b> Resultado da Distribuição Gumbel.....	43
<b>Tabela 7:</b> Parâmetros da equação.....	44
<b>Tabela 8:</b> Valores da intensidade calculada de projeto.....	44
<b>Tabela 9:</b> Intensidade calculada e teórica para $T = 2$ anos.....	45
<b>Tabela 10:</b> Teste Qui Quadrado para Intensidade.....	46
<b>Tabela 11:</b> Tabela de Resumo Quantitativo.....	50

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
2.	OBJETIVOS .....	12
2.1	GERAL .....	12
2.2	ESPECÍFICOS .....	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1	CICLO HIDROLÓGICO .....	13
3.2	DRENAGEM URBANA .....	14
3.3	MICRODRENAGEM .....	15
3.4	CHUVAS INTENSAS .....	17
3.5	INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS .....	18
4.	METODOLOGIA .....	20
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	20
4.1.1	Bairro Paulo VI .....	23
4.2	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS .....	25
4.2.1	EQUAÇÃO DE CHUVA .....	26
4.2.2	TESTE QUI-QUADRADO .....	27
4.3	PROJETO DE MICRODRENAGEM .....	28
4.3.1	SARJETAS .....	30
4.3.2	BOCAS COLETORAS .....	35
4.3.3	GALERIAS .....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
5.1	Parâmetros Hidrológicos .....	41
5.1.1	Distribuição Gumbel .....	41
5.1.2	Equação de Chuva .....	44
5.2	Sistema de Drenagem Projetado .....	46
5.2.1	Sarjetas .....	46
5.2.2	Bocas Coletoras .....	48

5.2.3	Galerias.....	48
5.2.4	Tabela de Resumo .....	50
6.	CONCLUSÃO .....	51
	REFERÊNCIAS .....	52
	ANEXOS .....	55
	Anexo A – Total anual, máximo diário anual e média anual da série histórica da cidade de Caicó-RN. (Fonte: Autor, 2021). .....	56
	Anexo B – Método de desagregação de chuva para obtenção das precipitações máximas em diferentes durações. (Fonte: Autor, 2021). .....	57
	ANEXO C – Valores obtidos da intensidade observada. (Fonte: Autor, 2021). .....	58
	ANEXO D – Parâmetros iniciais para o dimensionamento das sarjetas. (Fonte: Autor, 2021). .....	59
	APÊNDICES.....	60
	APÊNDICE A – Coeficiente de Manning de acordo com o material da tubulação. (Fonte: Azevedo Neto, 1998). .....	61
	APÊNDICE B – Coeficiente de Escoamento Superficial. (Fonte: ASCE, 1969). .....	62
	APÊNDICE C – Período de retorno de acordo com o sistema de drenagem. (Fonte: Manual de Drenagem Urbana do município de Toleto – Paraná, 2017). .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o processo de urbanização teve seu início no século XX devido a industrialização com a expansão das indústrias e ofertas de trabalho. Esse foi um processo tardio, se comparado com outros países, e funcionou como um dos principais motivos para que a população começasse o deslocamento gradativo da área rural em direção a área urbana (GOBBI, 2015).

Este êxodo trouxe vários impactos sociais, econômicos e ambientais. Ainda de acordo com Gobbi (2015) a grande concentração de pessoas nas cidades, sem planejamento urbano ou políticas públicas, acarretou no crescimento rápido e desordenado fazendo com que áreas irregulares fossem ocupadas mesmo sem proporcionar nenhum saneamento básico, pavimentação ou bem-estar social.

No cenário atual, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) define que cerca de 80% da população brasileira vive nas zonas urbanas, porém a infraestrutura e serviços diferem muito de uma região para outra. O Sudeste foi a região mais favorecida nos avanços ao longo dos anos, por ser onde a maior parte das indústrias se concentram. Já as regiões Norte e Nordeste ainda sofrem com a carência desse processo, enfrentando forte desigualdade social e problemas urbanos como desemprego, violência, poluição e sem projetos e obras públicas de melhorias (MIRANDA, 2016).

A ausência do planejamento urbano impacta diretamente no principal problema que as cidades hoje em dia enfrentam, as inundações. O alto índice de pluviosidade sem o escoamento suficientemente adequado dificulta a locomoção, favorece o acúmulo de lixo nas ruas e ainda aumenta o risco de perdas materiais nos períodos chuvosos (SOARES, 2014).

O bairro Paulo VI, localizado na zona oeste da cidade de Caicó-RN, é um reflexo dessas áreas problemáticas. Pela falta de planejamento e políticas públicas, não teve investimento para melhorias, o bairro não apresenta pavimentação e nem obras de drenagem, afetando diretamente a população deixando-os vulneráveis às precipitações intensas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Desenvolver um projeto técnico de sistema de microdrenagem urbana para o bairro Paulo VI localizado no município de Caicó – RN, considerando as características da região e suas condições hidrológicas.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Realizar um estudo preliminar da área;
- Proceder ao levantamento de dados hidrológicos e meteorológicos
- Aplicar o Método de desagregação de chuva para obtenção das precipitações máximas em diferentes durações;
- Definir a equação de chuva;
- Determinar os parâmetros necessários para o dimensionamento da rede de microdrenagem;
- Dimensionar os elementos do sistema de drenagem.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CICLO HIDROLÓGICO

Na natureza a ocorrência da água em seus estados sólido, líquido e gasoso, resulta de complexas interações entre processos atmosféricos, superficiais e sub superficiais que afetam sua distribuição e qualidade, formando assim o ciclo hidrológico.

O ciclo hidrológico é o conceito central da hidrologia. É fechado se considerado em escala global, já em escala regional podem existir alguns subciclos. Além disso, consegue alterar a qualidade da água nas diferentes fases do ciclo.

A quantidade ou volume de água existente numa determinada região depende do balanço entre as entradas e as saídas da água que foram registradas numa determinada área. Assim, estudos do ciclo hidrológico dependem dessa interação entre os elementos meteorológicos, e das suas variações na escala temporal e espacial (POMPEO et. al., 2015).

De modo geral, todos os processos hidrológicos contêm algum componente probabilístico, e estão quase sempre associados a algum componente determinístico relacionado a algum padrão que pode explicar parcialmente o fenômeno estudado (RENNÓ E BORMA, 2017).

Ainda de acordo com Rennó e Borma (2017) as variações temporais e espaciais dos fenômenos do ciclo hidrológico podem ser entendidas pelas variáveis hidrológicas, sendo quantificadas ou categorizadas por meio de observações ou medições, como as séries temporais.

Dentre as variáveis que compõem o ciclo hidrológico podem ser citadas a precipitação, infiltração, transpiração, escoamento superficial e evaporação. Tais fenômenos diferem em qualidade química e bioquímica, variabilidade espacial e temporal, susceptibilidade à poluição, vulnerabilidade às pressões causadas pelo homem e pelas mudanças climáticas (PORTO, 2012).

As mudanças climáticas têm influência direta no ciclo hidrológico, pois em suas principais consequências envolvem a água, como os casos de enchentes causadas pelo grande volume de precipitação em um dado intervalo de tempo. Para

Bellé (2011), esse fenômeno aliado com à inexistência de um plano de drenagem urbana acarreta diversos problemas a população.

### **3.2 DRENAGEM URBANA**

Para Tucci (2010), a urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social como resultado da transformação de uma economia rural para uma economia em áreas urbanas. Por essa expansão ter acontecido de forma desordenada, com pouco ou nenhum planejamento, resultou-se em inúmeros impactos econômicos, sociais e ambientais na maior parte do país.

Bellé (2011) afirma que as águas pluviais sem o escoamento adequado podem gerar consequências sobre a população quando ocorrem inundações, danificando a infraestrutura de estradas, as áreas residenciais e contribuindo para o deslizamento de encostas, ocasionando perdas.

A urbanização também modifica os padrões de uso do solo, agravando os casos de inundações urbanas, devido a uma maior disponibilização de escoamento superficial (MIGUEZ et al., 2015). Para Castro (2011) a urbanização reduz a cobertura vegetal fazendo com que o ciclo hidrológico seja modificado pelas mudanças das quantidades de água inseridas nos processos integrados. Com isso, tem-se uma elevação nos volumes escoados que está interligado diretamente a redução do tempo de concentração, resultando em críticos hidrogramas de cheias.

A DAEE/CETESB (1980) define o sistema de drenagem como parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana e tem como objetivo a captação e condução da água pluvial, evitando que no decorrer de seu percurso ocorra qualquer falta de escoamento. Sua implantação de forma inadequada e sem planejamento trazem diversos problemas a população.

Outro fator agravante no sistema de drenagem é em relação a má disposição e destinação dos resíduos sólidos. Durante as chuvas esses resíduos são transportados pelas redes de drenagem pluvial e acabam danificando os condutos, reduzindo a eficiência da drenagem no local (HANSMANN, 2013).

O município é o responsável pelo planejamento desse sistema e a partir do Plano Diretor deve conceder a concepção do sistema até sua implantação e

operacionalização. Entretanto, na realidade brasileira, as grandes e médias cidades enfrentam questões relacionadas ao sistema de drenagem, seja pela sua inexistência ou dimensionamento incorreto, que quando somado ao crescimento populacional e alterações no meio ambiente torna-se uma fonte crescente de prejuízos para a população (TUCCI, 2010).

Para Hansmann (2013), o desenvolvimento urbano planejado para o município está diretamente relacionado às normas de controle e ocupação do solo que, associado com as diretrizes do plano diretor, é o elemento base para a elaboração da legislação urbanística. Ele também exemplifica as medidas a serem estabelecidas, como: limites das áreas urbanas do município, formas de ocupação e a utilização do solo, a identificação de área onde estejam ocorrendo ações que prejudiquem o meio ambiente urbano e rural.

A partir dos anos 70 desenvolveu-se uma nova abordagem em relação a drenagem, as chamadas “tecnologias alternativas” no intuito de minimizar os efeitos da urbanização diante dos processos hidrológicos (CANHOLI, 2005). Para Batista et al. (2005) neste tipo de técnica a abordagem é diferente, pois consideram os impactos da urbanização de forma global colocando a bacia hidrográfica como ponto central de estudo.

A estrutura física de um sistema de drenagem urbana pluvial é composta pelo Sistema de Microdrenagem e pelo Sistema de Macrodrenagem, sendo classificado a partir das suas dimensões. De acordo com Tucci et al. (1995), entende-se como macrodrenagem os escoamentos em fundos de vale que, normalmente, são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso d’água perene, sendo compostos por bueiros, canais, pontes e reservatórios. Ele também determina a microdrenagem como o sistema de condutos ou canais responsáveis por coletar a água pluvial e conduzir até o sistema de macrodrenagem.

### **3.3 MICRODRENAGEM**

A microdrenagem apresenta diversos dispositivos estruturais que garantem a funcionalidade do projeto, Tucci (1995) lista as estruturas básicas existentes nesse tipo de sistema, sendo eles:



- Galeria: canalizações ligadas às bocas de lobo com a finalidade de conduzir as águas pluviais captadas das mesmas e também dos coletores pluviais privados.
- Poço de Visita: elementos posicionados ao longo da galeria que permitem mudança de direção, declividade, diâmetro e limpeza das canalizações.
- Trecho: parte de galeria entre dois poços de visita.
- Bocas de lobo: localizados em pontos nas sarjetas para captação das águas pluviais.
- Tubos de ligação: conduzem as águas pluviais desde as bocas de lobo até as galerias ou poços de visita.
- Meio-fio: são instalados paralelamente ao eixo da rua com sua face superior do mesmo nível do passeio.
- Sarjetas: é uma porção não demarcada da via pública paralela ao meio-fio, onde a inclinação de projeto forma uma calha que recebe e desloca as águas pluviais.
- Sarjetões: são formadas nos cruzamentos das vias públicas, pelo próprio leito, que orientam o fluxo d'água às sarjetas.
- Conduitos forçados: projetados para conduzir as águas coletadas de maneira segura e eficiente, pois a seção transversal dos condutos não é preenchida completamente.
- Estação de bombeamento: é um conjunto de obras e equipamentos com a finalidade de retirar a água de um canal de drenagem se não existir mais a possibilidade de escoamento por gravidade, conduzindo a mesma a outro canal mais elevado ou receptor final do sistema de drenagem.

De modo geral, a microdrenagem é composta por elementos artificiais, de diâmetros entre 30cm e 1,20m, associados à pavimentação e tem como objetivo garantir o tráfego e conforto dos usuários destas estruturas.

A Secretaria de Desenvolvimento Urbano de São Paulo sequencia três diretrizes básicas para o projeto de microdrenagem:

- a. Levantamento de dados – conhecimento dos principais dados necessários à elaboração do projeto (plantas, levantamento topográfico, dados relativos ao curso d'água receptor, entre outros).

- b. Concepção e Arranjo dos elementos – definição do traçado da rede de drenagem, assim como a disposição dos elementos.
- c. Dimensionamento da rede – cálculo da capacidade de condução hidráulica das ruas, sarjetas e boca de lobo.

Fernandes (2002) acentua a importância do sistema de microdrenagem por criar condições favoráveis de circulação numa área urbana, principalmente em ocorrência de chuvas frequentes e mais intensas.

### **3.4 CHUVAS INTENSAS**

Para Souza et al. (2013), conhecer os eventos hidrológicos extremos é um requisito importante tanto para projetos de drenagem como também de impermeabilização e outras obras da engenharia, seja em área urbana ou rural. Esse conhecimento permite ao projetista a consideração dos riscos existentes com a execução da obra e assim garantir eficiência e segurança.

Segundo Carvalho e Silva (2006) a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com determinada duração, distribuição temporal e espacial para uma área ou bacia hidrográfica. Ainda de acordo com eles, o estudo das chuvas máximas é um dos caminhos para conhecer-se a vazão de enchente de uma bacia.

Araújo et al. (2008) define as chuvas intensas como aquelas que apresentam grandes lâminas precipitadas em pequenos intervalos de tempo. Isto é, a intensidade da chuva ultrapassa um certo valor mínimo, causando grandes escoamentos superficiais, sendo capazes de provocar prejuízos tanto em áreas urbanas quanto em áreas agrícolas, como inundações, erosão do solo e assoreamento de corpos d'água.

De acordo com Tucci (2004), o estudo das ocorrências de chuvas, para fins de obras hidráulicas, tem como objetivo o conhecimento de três variáveis que caracterizam as precipitações máximas e que são parâmetros da equação de chuvas intensas, são eles: intensidade, duração e frequência.

A solução mais utilizada para caracterização e estimativa das precipitações intensas são as curvas de intensidade - duração - frequência (IDF), as quais são resultados de uma análise estatística de séries históricas de pluviógrafos ou a partir

da desagregação de chuvas diárias por pluviômetros (LIMA, 2019). Os parâmetros das curvas IDF podem ser ajustados por meio do emprego de regressão linear ou de regressão não linear, na literatura a distribuição Gumbel é a mais utilizada (CAMPOS et al., 2014).

Segundo Abreu (2018), o método de desagregação é mais utilizado no Brasil por se basear na semelhança das relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações, para locais distintos e considerando pequenas variações do período de retorno.

De acordo com Lima (2019), esse método consiste na obtenção de coeficientes que possam relacionar a chuva máxima de 24 horas e a chuva de um dia e, a partir disso, os coeficientes serão utilizados para as demais desagregações como fatores multiplicativos, permitindo a caracterização da chuva.

### **3.5 INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS**

De acordo com Pisani (2001), pode-se caracterizar as inundações como um fenômeno natural, o qual ocorre quando a vazão a ser escoada é maior que a capacidade de descarga do sistema hídrico. Com isso, em áreas ocupadas por atividades humanas, as inundações acabam se tornando um desastre com perdas socioeconômicas.

Para Barros (2005), a principal causa da inundação é pelo aumento do escoamento superficial gerado pela impermeabilização do solo diminuindo os processos de infiltração e retenção de água. Tucci (2007) afirma que esses eventos podem ser ocasionados também devido ao comportamento natural dos rios e ampliados pela urbanização, como a canalização de córregos.

De modo geral, as inundações são um problema antigo que foi agravando-se pelas modificações do ambiente. Para Santos Junior e Santos (2013) a falta de observação da natureza, falta de investimento e planejamento dos projetos de drenagem, como também gestão política que vise medidas de controle do escoamento superficial e ocupação do solo podem ser considerados fatores que contribuem para ocorrência das inundações urbanas.

Para definir alagamento, a Codificação Brasileira de Desastres - COBRADE classifica o evento como a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüentemente o acúmulo de água nas ruas devido precipitações intensas.

De acordo com as análises de Grilo (1992), os alagamentos ocorrem em áreas planas ou com depressões, com o escoamento superficial comprometido pela topografia e falta ou ineficiência de um sistema de drenagem pluvial no ambiente. Estes eventos são frequentes nas cidades mal planejadas ou quando crescem explosivamente, dificultando a realização de obras de drenagem e de esgotamento de águas pluviais (CASTRO, 2003).

Amaral e Ribeiro (2009) aborda de maneira geral as principais combinações para ocorrência de inundação e alagamento são os fatores naturais, como a formas do relevo, características da rede de drenagem da bacia hidrográfica, intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas. E os fatores causados pelo homem, sendo eles o uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água, disposição irregular de lixo nas ruas e rios, alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água.

#### **4. METODOLOGIA**

Para a realização do trabalho, foram utilizados softwares para o levantamento de parâmetros necessários para cálculos e dimensionamentos desejados, como o Global Mapper para a obtenção de dados topográficos, Quantum QGIS para geração de mapa de localização; uso do Microsoft Excel na confecção de planilhas, para obtenção dos dados de dimensionamento para o Sistema de Drenagem, e enfim, a utilização do AutoCAD, para o traçado da Rede de Drenagem, e algumas medições necessárias na realização dos cálculos.

Foram utilizadas também algumas ferramentas do Google, como o Google Earth, Google Maps e Google Street View. Além disso, os dados pluviométricos, fluviométricos e séries históricas foram obtidas junto a Agência Nacional de Águas (ANA), Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA) e o site HidroWeb. Já os dados meteorológicos foram retirados dos bancos de dados das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

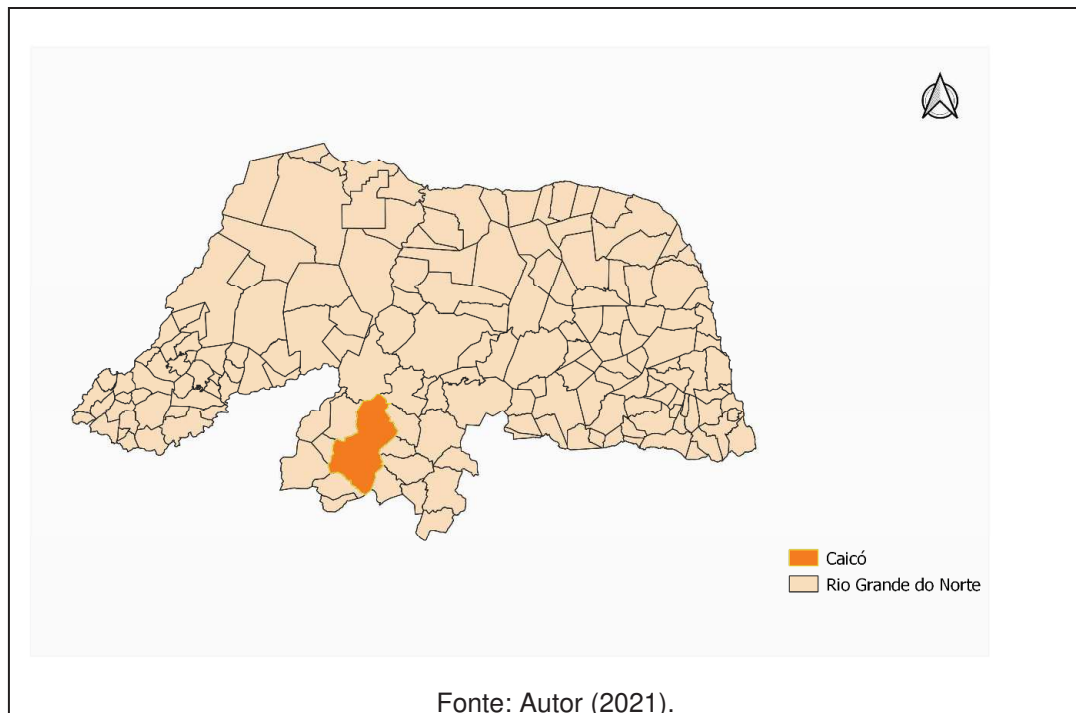
Para complementar e auxiliar o referente trabalho foram realizados estudos bibliográficos em artigos, livros, monografias e dissertações para o maior conhecimento possível acerca do tema abordado.

O presente trabalho optou por dividir a metodologia em tópicos a fim de detalhar todas as etapas do processo realizado para a definição dos resultados finais, indo desde a caracterização da área de estudo e sua composição até o processo final de dimensionamento e detalhamento do sistema de drenagem urbana do bairro.

##### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

O município de Caicó fica localizado na zona central do Estado do Rio Grande do Norte, à 282 km da capital Natal (Figura 1). Segundo o IBGE, é a 7<sup>a</sup> cidade mais populosa do estado com 68.343 habitantes estimados em 2020. Sua área total territorial é de 1.229 km<sup>2</sup>, sendo a área urbana de 14,71 km<sup>2</sup>, onde cerca de 91% da população reside.

Atualmente, o município é dividido em três distritos: Laginhas, Palma e o Perímetro Irrigado Itans-Sabugi. Além dos distritos, o município também é formado por aproximadamente trinta bairros localizados em cinco zonas distintas, sendo elas o centro, a zona norte, sul, leste e oeste.

**Figura 1** – Localização da cidade de Caicó no estado do Rio Grande do Norte

Para essa região, o solo predominante é o bruno não cálcico vértico, de alta fertilidade natural, textura arenosa média e argilosa moderadamente drenado com relevo suave e pouco ondulado. Em relação a vegetação, é característica da área a Caatinga, sendo a mais seca do estado composto por cactos, árvores e arbustos. Segundo o Plano Nacional de Combate à Desertificação (2010), Caicó está em uma área susceptível à desertificação, inserido na categoria “muito grave”.

Caicó apresenta um clima semiárido com temperatura média anual de 28°C e precipitação anual de 630 milímetros concentrados em poucos meses do ano, sendo o período de março a maio como maiores incidentes de chuvas. Segundo o INMET (2004), a menor temperatura registrada na região foi de 16,3°C e a maior de 40,3°C. A tabela 1 mostra os principais dados climatológicos da região.

**Tabela 1** – Dados climatológicos de Caicó – RN

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura máxima média (°C)	36	35,3	34,6	33,9	33,4	32,5	33	33,9	35,5	36,8	37,1	36,9
Temperatura média (°C)	29,3	28,7	28,2	27,7	27,4	26,7	26,8	27,3	28,3	29,3	29,8	29,8
Temperatura mínima média (°C)	24,1	23,8	23,5	23,1	22,6	21,9	21,5	21,5	22,2	23,3	23,8	24,2
Precipitação (mm)	96,9	91,3	144,6	148	73,3	23,6	11,6	8,1	0,7	9,2	2,7	20

Fonte: INMET (2004).

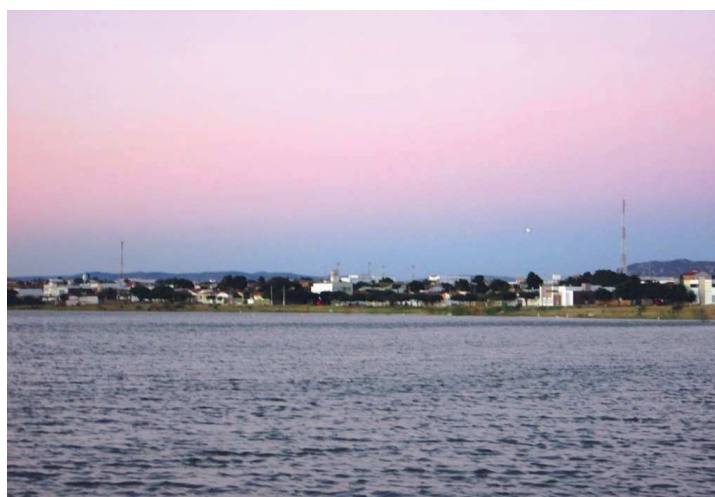
Em relação a hidrografia, o município encontra-se inserido na bacia hidrográfica Piranhas-Açu, onde é banhado pelos rios Seridó e Rio Barra Nova, é uma característica importante desses cursos d'água sua natureza intermitente. Além disso, a cidade apresenta pequenas lagoas e açudes tanto de pequeno quanto grande porte, como a Barragem das Traíras, das Carnaúbas, o Açude Mundo Novo da Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN), o reservatório artificial Açude Recreio (Figura 3) e o mais importante, o açude Itans (Figura 2), responsável por boa parte do abastecimento da cidade.

**Figura 2 – Açude Itans**



Fonte: Lima (2020).

**Figura 3 – Açude Recreio**



Fonte: Wikipédia (2021).

#### 4.1.1 Bairro Paulo VI

O bairro Paulo VI fica localizado na periferia da cidade de Caicó – RN, a estruturação do local foi marcada pela ocupação espontânea da população, em sua maioria devido ao êxodo rural. Inicialmente, o bairro não dispunha de serviços básicos como abastecimento de água e iluminação pública, sendo assim, era alvo de doenças e impactos socioambientais.

Atualmente no bairro funciona uma Unidade Básica de Saúde dando mais suporte aos moradores, porém ainda é deficiente as políticas públicas de planejamento urbano e melhorias.

Ainda há cerca de 40% da distribuição sanitária sendo de esgoto a céu aberto, outro fator de impacto é a falta de pavimentação, fazendo com que o bairro se torne um local de difícil acesso e junto com a ausência de um sistema de microdrenagem agrava a situação nos períodos chuvosos, pois gera inundações que danificam tanto as ruas quanto as residências.

**Figura 4** – Condições de moradia no bairro Paulo VI



Fonte: Trilhas Geográficas (2014).

**Figura 4.1** – Condições de moradia no bairro Paulo VI





Fonte: Trilhas Geográficas (2014).

**Figura 5** – Condições das vias e escoamento no bairro Paulo VI



Fonte: Trilha Geográfica (2014).

**Figura 5.1** – Condições da via e escoamento no bairro Paulo VI



Fonte: Google Maps (2019).

## 4.2 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

Na cidade de Caicó tem duas estações pluviométricas, sendo uma com dados mais antigos e localizada próximo ao Açude Itans de código 00637021 e outra próximo ao Açude Recreio de código 00637039 com dados mais atuais, para o referente trabalho utilizou-se a última estação.

A partir dos dados pluviométricos coletados no site HidroWeb, foi possível montar uma série histórica com trinta e três anos de precipitações de 1987 a 2019. Com isso, definiu-se o total anual, máximo diários e médias. A tabela contendo tais informações está no anexo A.

Por garantir eficácia no ajuste dos resultados, a distribuição Gumbel será utilizada nesse trabalho. A partir dos dados de precipitações máximas diárias encontra-se a variável de Gumbel Y, teórica e observada (Tabela 2).

**Tabela 2** – Distribuição Gumbel.

				Variação de Gumbel, Y	
H(mm)	M	P(M/N+1)	T	Observ.	Teórico
X1	1	P1= (X1/4+1)	T1= 1/P1	-LN(-LN(1-1/T1))	(H(mm)-m (0,47*S))/ (0,7797*S)
X2	2	P2= (X2/4+1)	T2= 1/P2	-LN(-LN(1-1/T2))	(H(mm)-m (0,47*S))/ (0,7797*S)
X3	3	P3= (X3/4+1)	T3= 1/P3	-LN(-LN(1-1/T3))	(H(mm)-m (0,47*S))/ (0,7797*S)
X4	4	P4= (X4/4+1)	T4= 1/P4	-LN(-LN(1-1/T4))	(H(mm)-m (0,47*S))/ (0,7797*S)

Fonte: Tucci (2005).

Para realizar distribuição Gumbel em determinados períodos de retorno afim de encontrar a precipitação ajustada, utiliza-se a variável Y e K que podem ser determinadas a partir das equações abaixo:

$$Y = -\ln(-\ln(1 - 1/T)) \quad (1)$$

$$K = 0,7797 * (Y - 0,45) \quad (2)$$

$$H (mm) = m + (S * K) \quad (3)$$

Onde, H: precipitações máximas diárias de cada ano (mm);

M: ordem numérica decrescente;

P: probabilidade;

- N: quantidade de amostras;  
 T: período de retorno;  
 m: média das precipitações;  
 S: desvio padrão das precipitações.

#### 4.2.1 EQUAÇÃO DE CHUVA

Para a equação de chuva foram estabelecidas as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 600, 720, 900, 1080, 1260 e 1440 minutos. Para a desagregação de chuva máxima diária, utilizou-se a fórmula de André Silveira (2000) para encontrar os coeficientes de desagregação, essa equação foi deduzida a partir dos dados fornecidos pelo DAEE/CETESB (1986).

$$C24 = e^{1.5 \ln\left(\frac{t}{7.3}\right)} \quad (4)$$

Onde, C24: coeficiente de desagregação;

t: duração estabelecida (min).

O cálculo é realizado multiplicando o fator de desagregação encontrado para cada duração pelo valor H de Gumbel correspondente a cada período de retorno. Os valores obtidos estão apresentados no anexo B.

Para o procedimento de cálculo das intensidades de chuvas observadas é realizado o quociente da precipitação encontrada anteriormente pela duração, em horas, de acordo com cada período de retorno, os resultados estão apresentados no anexo C. Para determinar os parâmetros necessários na equação de chuva aplica-se logaritmo nos valores da intensidade observada assim como nas durações, que agora serão somados a um  $t_0$  estimado. Esse valor será definido de acordo com o ajuste da Curva Log IDF, quando o  $R^2$  for mais próximo de 1 e os pontos estiverem mais aliados. Nesse trabalho, o  $t_0$  estabelecido foi de 11 s.

As intensidades calculadas são obtidas através da equação 5.

$$i = \frac{K * T_r^m}{(t + t_0)^n} \quad (5)$$

Onde, i: intensidade (mm/h);

Tr: período de retorno (anos);

t: duração da chuva (min);

K, m, n e t0: parâmetros da equação, relativos ao ajuste.

Para determinar os parâmetros da equação utiliza-se da regressão linear para resultados mais satisfatórios, associando equações exponenciais com as logarítmicas.

Para facilitar o cálculo, pressupõem-se que:

$$C = k \times T^m$$

Assim, a partir de propriedades matemáticas tem-se:

$$\log i = \log C - n \times \log(t + t0) \quad (6)$$

$$\log C = \log K + m \times \log T \quad (7)$$

Com as equações geradas por cada Curva Log IDF, pode-se determinar os parâmetros log C e n como sendo o coeficiente linear e angular da reta, respectivamente. Com o gráfico log C x Log T encontra-se os valores de log K e m como sendo o coeficiente linear e angular da reta, respectivamente.

Por fim, pode-se determinar a equação da chuva e assim encontrar os dados das intensidades calculadas.

$$i = \frac{760,15 T^{0,1959}}{(t + 11)^{0,7595}}$$

#### 4.2.2 TESTE QUI-QUADRADO

É um teste de hipóteses que se destina a encontrar um valor da dispersão para duas variáveis categóricas nominais e avaliar a associação existente entre variáveis qualitativas (BEIGUELMAN, 1996). A hipótese pode ser nula (H0) quando o valor observado é igual ao esperado ou pode ser hipótese alternativa (H1) quando os valores não são iguais.

O princípio deste teste é comparar possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para um determinado evento. É utilizado para avaliar se as amostras diferem significativamente uma da outra.

Para que a hipótese seja nula o Qui-Quadrado calculado deve ser inferior ao Qui-Quadrado teórico. O calculado é dado pela equação 8.

$$\chi^2 = \sum \frac{(o - e)^2}{e} \quad (8)$$

Onde,  $\chi^2$ : qui-quadrado calculado;

o: valor observado;

e: valor esperado.

Já para o teórico utiliza-se a função INV.QUIQUA,CD do Excel que retorna o inverso da probabilidade de cauda direita da distribuição Qui-Quadrada a partir do nível de significância e o grau de liberdade. O nível de significância ( $\alpha$ ) é o risco de se rejeitar uma hipótese verdadeira, usualmente é fixado em 5%. O grau de liberdade (GL) é a diferença entre o número de classes dos resultados e o número de parâmetros ajustáveis no cálculo dos valores esperados da amostra.

Para o referente trabalho o teste foi feito tanto para a distribuição Gumbel quanto para a verificação das intensidades calculadas e observadas a fim de garantir que os resultados obtidos fossem suficientemente adequados para prosseguir os cálculos de dimensionamento.

### **4.3 PROJETO DE MICRODRENAGEM**

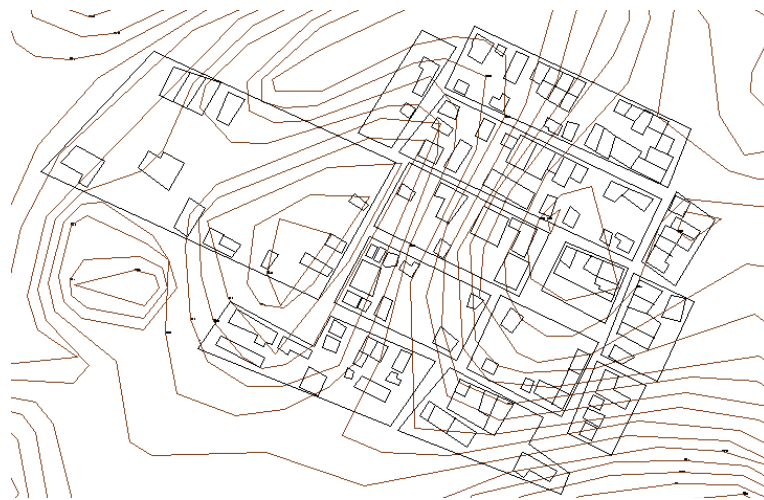
Para a definição do projeto de microdrenagem há uma série de procedimentos a serem seguidos com o mapeamento dos dados. Algumas informações já foram destacadas anteriormente e em conjunto são capazes de auxiliar no início do projeto, sendo eles:

- Plantas: determinar a área de estudo onde será implantado o sistema de drenagem urbana;
- Levantamento Topográfico: dados topográficos necessários para melhor definição do traçado da rede a partir das curvas de níveis;

- Processamento de dados: estudo prévio dos dados já existentes na área de estudo para análise de possíveis interferências;
- Urbanização: informações sobre o uso e ocupação do solo no local.

Para o esquema geral do traçado foi feito em planta baixa, com as demarcações das ruas e as curvas de nível do bairro para que a rede coletora seja lançada de maneira favorável as condições naturais do escoamento superficial no local (Figura 6).

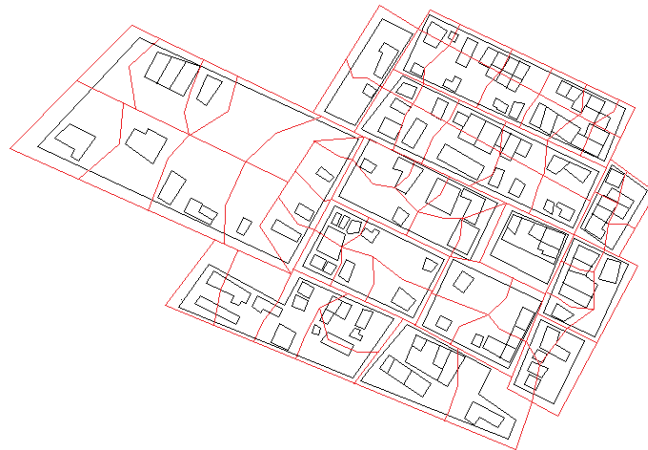
**Figura 6** – Demarcações da área de estudo.



Fonte: Autor (2021).

As áreas contribuintes foram definidas seguindo as indicações das metodologias de Tucci e projetos de outras cidades, junto com o direcionamento das tubulações traçando assim a rede do sistema de drenagem projetado, como mostra a figura 7.

**Figura 7** – Áreas de influência dos trechos.



Fonte: Autor (2021).

Todo o sistema foi idealizado como uma rede única e para cada uma das ruas foi estudado uma solução que fosse econômica e eficiente. As bocas coletoras foram dispostas de modo que não originem alagamentos com zonas mortas. Os poços de visita são inseridos para atender mudanças de direção, de diâmetro entre os trechos e todos foram alocados respeitando o distanciamento máximo entre eles de acordo com seu diâmetro. E adotou-se o recobrimento mínimo das tubulações de 1,0 m.

As galerias foram consideradas padrão com forma circular, de concreto simples e diâmetro mínimo de 0,3 m. De acordo com a necessidade da rede, os diâmetros calculados foram estabelecidos dentre os diâmetros comerciais, sendo o máximo apresentado de 500mm.

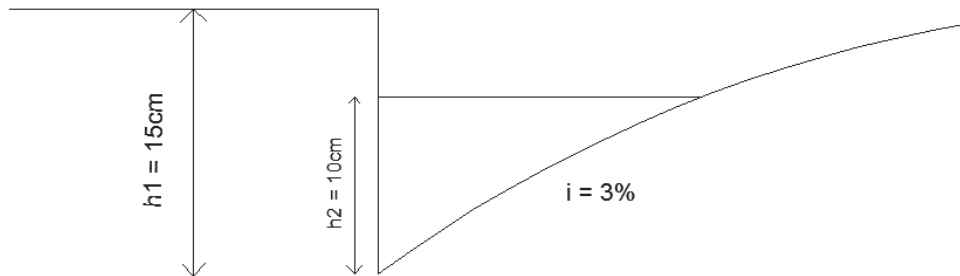
#### **4.3.1 SARJETAS**

As sarjetas são canais, geralmente triangulares, situados nas laterais entre a rua e os passeios para pedestres. É um elemento da microdrenagem que tem como finalidade coletar as águas de escoamento superficial e transportá-las até às bocas coletoras.

Tucci (2000) especifica duas hipóteses que podem ser utilizadas para calcular a capacidade de condução da sarjeta, onde a água pode escoar por toda a calha da rua ou apenas pelas sarjetas. O projetista define de acordo com os critérios de projeto qual melhor irá se adequar.

Ambas as hipóteses se baseiam em valores padrões das calçadas e ruas. Para a primeira a declividade da rua é de 3% e a altura da lâmina d'água ( $h_1$ ) na sarjeta é de 15cm. Já para a segunda, a altura da lâmina d'água ( $h_2$ ) é de 10cm e apresenta a mesma declividade transversal de 3%.

**Figura 8** – Seção Padrão da Sarjeta.



Fonte: Autor (2021)

Para o dimensionamento da sarjeta é necessário definir alguns parâmetros. Primeiro, o coeficiente de rugosidade de Manning, que depende do material da tubulação. Por ser de concreto, o valor do coeficiente utilizado será de 0,013 de acordo com Azevedo Neto (1998) destacado no apêndice A.

Além do coeficiente de Manning, é necessário conhecer o coeficiente de escoamento. Nesse caso também utiliza tabelas para sua definição e depende das características da área e sua ocupação. Para o projeto, o valor do coeficiente de escoamento será de 0,6 por ser uma área residencial com unidades isoladas de acordo a tabela no apêndice B.

Para dados bases será utilizado a hipótese 1, mencionada anteriormente, com profundidade máxima da sarjeta de 0,15 m e declividade transversal da rua de 3%. Ainda com base em Tucci (2000) definiu-se os demais parâmetros como largura da sarjeta de 0,4 m, lâmina máxima de água de 0,13 m e a velocidade máxima e mínima de escoamento de 4 m/s e 0,75 m/s, respectivamente.

#### **4.3.1.1 Vazão de Dimensionamento**

O cálculo da vazão para uma rede pluvial pode ser feito com a equação de movimento uniforme de Manning transformada.



$$Q = \frac{A \times R h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (9)$$

Onde, Q: vazão (m<sup>3</sup>/s);

A: área de contribuição da sarjeta (m<sup>2</sup>);

Rh: raio hidráulico (m);

S: declividade da sarjeta (m/m);

n: coeficiente de rugosidade Manning.

Para determinar o Raio Hidráulico segue a sequência de cálculos abaixo.

a. Capacidade da calha:

$$CC = \frac{h1}{St} \quad (10)$$

Onde, CC: capacidade da calha (m);

h1: profundidade máxima da sarjeta (m);

St: declividade transversal da rua (mm).

b. Área molhada e Perímetro molhado:

Utilizando a figura 10 como gabarito, para o cálculo da área molhada pode-se representar a imagem como um triângulo, assim:

$$Am = \frac{CC \times h1}{2} \quad (11)$$

Onde, Am: área molhada (m<sup>2</sup>);

CC: capacidade da calha (m);

h1: profundidade máxima da sarjeta (m).

Para o perímetro molhado determina seu valor através da fórmula abaixo.

$$Pm = h1 + \sqrt{h1^2 + CC^2} \quad (12)$$

Onde, Pm: perímetro molhado (m);

h1: profundidade máxima da sarjeta (m);

CC: capacidade da calha (m).

Com os valores da área e perímetro molhado é possível definir o Raio Hidráulico para a sarjeta do projeto com a equação 13.

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad (13)$$

Onde, Rh: raio hidráulico (m);

Am: área molhada (m<sup>2</sup>);

Pm: perímetro molhado (m).

Para definir a declividade das sarjetas utiliza-se as cotas montante e jusante e o comprimento de cada trecho a partir da equação 14.

$$S = \frac{Cm - Cj}{L} \quad (14)$$

Onde, S: declividade da sarjeta (m/m);

Cm: cota montante (m);

Cj: cota jusante (m);

L: comprimento do trecho (m).

#### 4.3.1.2 Vazão máxima

O cálculo da vazão máxima teórica será feito utilizando o método racional.

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 \times C \times I \times A \quad (15)$$

Onde, Qmáx: vazão máxima (m<sup>3</sup>/s);

C: coeficiente de escoamento;

I: intensidade da chuva calculada (mm/h);

A: área de contribuição da sarjeta (m<sup>2</sup>).

Para determinar a intensidade utiliza-se a equação 5 com os parâmetros já definidos. O período de retorno para elementos de microdrenagem em áreas residenciais é de 2 anos, como mostra a tabela no apêndice C, e o tempo de concentração tem valor mínimo de 5 minutos, para calcular utilizou-se a fórmula de Kerby-Hathaway adaptada da equação de Kirble (1982).

$$t_c = 0,619 \times n^{0,47} \times L^{0,47} \times S^{-0,235} \quad (16)$$

Onde,  $t_c$ : tempo de concentração (h);

$n$ : coeficiente de Manning;

$L$ : comprimento do trecho (km);

$S$ : declividade do terreno (m/m).

O coeficiente de escoamento e a área de contribuição já foram definidas anteriormente. Com o valor da vazão máxima pode-se determinar a lâmina de água ( $y_0$ ) e a velocidade de escoamento da sarjeta para enfim, fazer a verificação dos valores máximos e mínimos recomendados, certificando que a sarjeta projetada estará dentro dos requisitos.

A lâmina de água pode ser definida a partir da equação 17.

$$y_0 = \left( \frac{Q_{max} \times n}{0,375 \times \frac{1}{St} \times \sqrt{S}} \right)^{1,49} \quad (17)$$

Onde,  $y_0$ : lâmina de água da sarjeta;

$Q_{máx}$ : vazão máxima de projeto ( $m^3/s$ );

$n$ : coeficiente de rugosidade de Manning;

$St$ : declividade transversal da rua (m/m);

$S$ : declividade da sarjeta (m/m).

Para encontrar as velocidades em cada trecho utilizou a equação 18.

$$v = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{\left(\frac{y_0^2 x}{2} \frac{1}{St}\right)} \quad (18)$$

Onde, v: velocidade (m/s);

Q<sub>máx</sub>: vazão máxima de projeto (m<sup>3</sup>/s);

y<sub>0</sub>: lâmina de água da sarjeta;

St: declividade transversal da rua (m/m).

#### 4.3.1.3 Verificações

Com todos os parâmetros definidos, a verificação desses valores é realizada. Caso não atenda aos requisitos exigidos, como solução, pode-se modificar algumas características pré-definidas como a dimensão da sarjeta, a altura da lâmina de água ou as inclinações adotadas.

#### 4.3.2 BOCAS COLETORAS

Bocas coletoras ou boca-de-lobo são outro elemento importante na microdrenagem, pois são responsáveis pela captação do escoamento das águas pluviais vindo das sarjetas. Dispostas no fim das ruas, podem ser classificadas em 3 grupos: boca-de-lobo com ralos de guia, ralos de grelhas ou ralos combinados. Além disso, cada grupo pode incluir variações quanto as depressões (rebaixamento) ou quantidade.

**Figura 9** – Tipos de Boca Coletoras.



Fonte: DAEE/CETESB (1980).

Para o dimensionamento considerou-se que:

- As bocas-de-lobo foram locadas nos pontos mais baixos das quadras para facilitar a coleta da água vinda das sarjetas.
- As bocas-de-lobo foram locadas nas esquinas dos cruzamentos das ruas.
- A máxima distância permitida entre as bocas-de-lobo é de 60 m.
- Para o projeto a boca-de-lobo utilizada foi a com grelha sem depressão.

#### 4.3.2.1 Capacidade de engolimento

O acúmulo de água sobre a boca coletora pode gerar uma lâmina de altura menor do que a abertura da guia, fazendo com que a boca-de-lobo possa ser considerada como um vertedor. Para o projeto, a boca-de-lobo escolhida foi com grelha sem depressão, com dimensões padrão (comprimento x largura) de 1,2 m x 0,3 m. Para calcular a capacidade de engolimento de uma boca coletora pode utilizou-se a equação 19.

$$Q_e = 1,7 \times (2L + 2B) \times y_0^{\frac{3}{2}} \quad (19)$$

Onde,  $Q_e$ : capacidade de engolimento calculada ( $m^3/s$ );

$L$ : comprimento da boca de lobo (m);

$B$ : largura da boca de lobo (m);

$y_0$ : lâmina de água (m).

#### 4.3.2.2 Verificações

A capacidade de engolimento deve ser maior que as vazões recebidas pelas sarjetas. Caso não atenda, modifica as dimensões da boca coletora.

#### 4.3.3 GALERIAS

As galerias são canalizações ligadas as bocas-de-lobo com a finalidade de conduzir as águas pluviais até o corpo d'água receptor. Para o dimensionamento, é utilizado diversas fórmulas hidráulicas e parâmetros já definidos ao longo do trabalho ou obtidos por meio de tabelas.

Nesse dimensionamento, o tempo de concentração é calculado de maneira diferente do que foi apresentado anteriormente. Inicialmente o valor fixo é de 5 minutos, por ser o mínimo permitido, e ao longo do caminhamento da tubulação será somado a esse valor um tempo de escoamento.

$$t_c = t_{c,ant} + t_e \quad (20)$$

Onde,  $t_c$ : tempo de concentração (min);

$t_{c,ant}$ : tempo de concentração do trecho anterior (min);

$t_e$ : tempo de escoamento (min).

$$t_e = \left(\frac{L}{V}\right) \times \frac{1}{60} \quad (21)$$

Onde,  $t_e$ : tempo de escoamento (min);

$L$ : comprimento da tubulação (m);

v: velocidade (m/s).

É necessário o conhecimento do greide formado pelas tubulações de cada trecho, sendo obtido através das cotas naturais do terreno e a profundidade de escavação para cada tubulação. Essa profundidade inicial é a soma de 1 metro de recobrimento mínimo e o diâmetro mínimo de 0,3 metros estabelecido sendo alterado de acordo com a necessidade de cada trecho.

$$C_{gm} = C_{tm} - P \quad (22)$$

$$C_{gj} = C_{tj} - P \quad (23)$$

Onde,  $C_{gm}$ : cota do greide a montante (m);

$C_{gj}$ : cota do greide a jusante (m);

$C_{tm}$ : cota do terreno a montante (m);

$C_{tj}$ : cota do terreno a jusante (m);

P: profundidade de escavação (m).

Com os valores das cotas do greide é possível determinar a declividade dos trechos pela equação 24.

$$S = \frac{C_{gj} - C_{gm}}{L} \quad (24)$$

Onde, S: declividade do trecho (m/m);

$C_{gj}$ : cota do greide a jusante (m);

$C_{gm}$ : cota do greide a montante (m);

L: comprimento do trecho (m).

Para o cálculo do diâmetro da tubulação utilizou a equação 25 e em seguida os valores adotados são comerciais imediatamente acima do calculado.

$$D = 1,55 \times \left( \frac{Q \times \pi \times \pi}{8 \times S} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (25)$$

Onde, D: diâmetro da tubulação (m);

Q: vazão máxima de condução (m<sup>3</sup>/s);

n: coeficiente de rugosidade de Manning;

S: declividade da tubulação (m/m).

A altura da lâmina de água é calculada a partir de dois parâmetros, o coeficiente k e o ângulo central  $\Theta$  definidos pela equação 26 e 27, respectivamente.

$$k = Q \times n \times D^{-8/3} \times S^{-1/2} \quad (26)$$

Onde, k: coeficiente calculado;

Q: vazão máxima de condução (m<sup>3</sup>/s);

D: diâmetro da tubulação (m);

S: declividade da tubulação (m).

$$\theta = \frac{3\pi}{2} \sqrt{1 - \sqrt{1 - \sqrt{\pi k}}} \quad (27)$$

Onde,  $\Theta$ : ângulo central (rad);

k: coeficiente calculado anteriormente.

Assim, o valor da altura lâmina de água será dado pela fórmula a seguir.

$$y_0 = \frac{1}{2} \left( 1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right) \quad (28)$$

Onde,  $y_0$ : altura da lâmina de água;

$\Theta$ : ângulo central (graus).

Com os valores do diâmetro e o ângulo central é possível calcular o raio hidráulico pela equação 29.

$$Rh = \frac{D}{4} \left( 1 + \left( \frac{360 \operatorname{sen} \theta}{2\pi\theta} \right) \right) \quad (29)$$

Onde, Rh: raio hidráulico;

D: diâmetro (m);



$\Theta$ : ângulo central (graus).

Por fim, para o cálculo da velocidade utiliza-se a equação 30.

$$V = \frac{R_h^{2/3} \times S^{0,5}}{n} \quad (30)$$

Onde, v: velocidade no trecho (m/s);

Rh: raio hidráulico;

S: declividade do trecho (m/m);

n: coeficiente de Manning.

#### **4.3.3.1 Verificações**

Após os cálculos é necessário verificar se a altura da lâmina de água e a velocidade estão dentro do permitido. Para a altura da lâmina de água deve ser menor ou igual a 0,85 e quanto a velocidade, de acordo com Tucci (1995), a máxima é de 5,0 m/s e a mínima de 0,6 m/s. Caso não seja atendido os requisitos, é recomendado que o diâmetro seja modificado.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Parâmetros Hidrológicos

Após a realização dos procedimentos citados no item 4.2 da Metodologia, foram obtidos os valores da Distribuição Gumbel, Equação de Chuva e Teste Qui Quadrado, assim como os gráficos referentes a cada um.

#### 5.1.1 Distribuição Gumbel

A partir do gráfico 1 é possível visualizar a consistência dos dados entre os valores observados e teóricos para a variável.

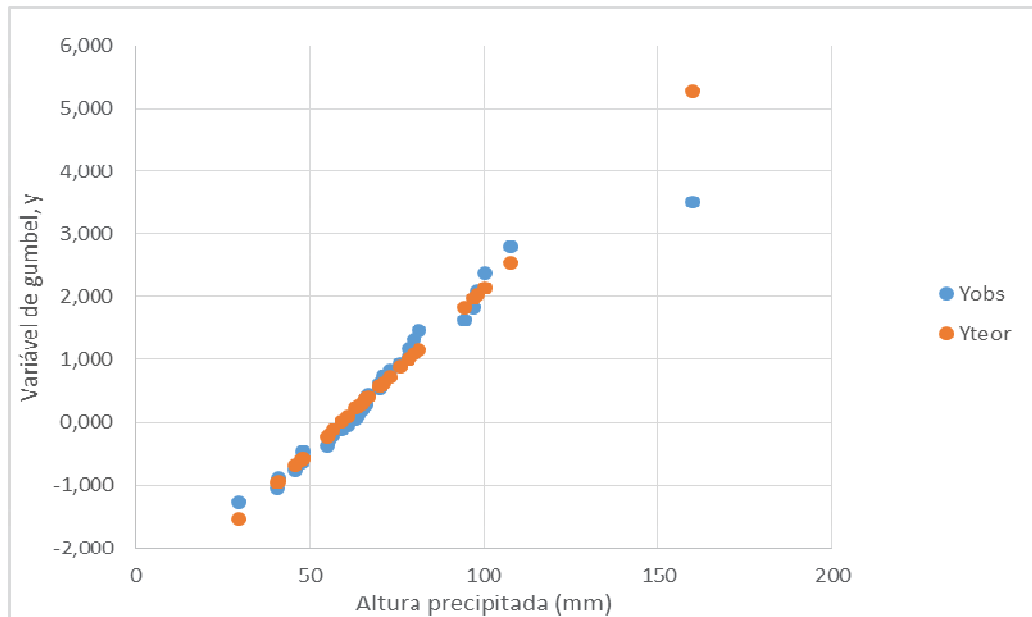
**Tabela 3** – Variável Gumbel

H (mm)	Yobs	Yteor
160	3,511	5,271
107,7	2,803	2,539
100,2	2,382	2,147
98	2,078	2,032
97	1,838	1,980
94,3	1,639	1,839
81,2	1,467	1,155
80	1,316	1,092
78,5	1,179	1,014
78,3	1,055	1,003
76	0,939	0,883
72,9	0,832	0,721
71,1	0,730	0,627
70	0,634	0,570
70	0,541	0,570
66,8	0,453	0,402
66,1	0,367	0,366
66,1	0,283	0,366
65	0,201	0,308
64	0,120	0,256
63,3	0,039	0,220
61	-0,041	0,099
59,2	-0,121	0,005
56,8	-0,202	-0,120
55,6	-0,285	-0,183
54,8	-0,369	-0,225
48	-0,458	-0,580
48	-0,551	-0,580

47,7	-0,651	-0,595
46	-0,761	-0,684
41	-0,887	-0,945
40,7	-1,041	-0,961
29,5	-1,260	-1,546

Fonte: Autor (2021).

**Gráfico 1** – Y observado x Y teórico



Fonte: Autor (2021).

O teste Qui Quadrado foi aplicado para verificar a relação entre a precipitação observada e a teórica antes de dar continuidade aos cálculos. Como o Qui Quadrado calculado foi inferior ao teórico é uma hipótese nula onde o valor observado é igual ao calculado, provando a consistência dos dados.

**Tabela 4** – Precipitação observada e teórica

Hobs (mm)	Hteor (mm)	CHI <sup>2</sup>
160	126,3	8,984
107,7	112,8	0,226
100,2	104,7	0,193
98	98,9	0,008
97	94,3	0,078
94,3	90,5	0,162
81,2	87,2	0,411
80	84,3	0,218
78,5	81,7	0,123

78,3	79,3	0,012
76	77,1	0,015
72,9	75,0	0,060
71,1	73,1	0,053
70	71,2	0,021
70	69,5	0,004
66,8	67,8	0,014
66,1	66,1	0,000
66,1	64,5	0,039
65	62,9	0,068
64	61,4	0,111
63,3	59,9	0,199
61	58,3	0,123
59,2	56,8	0,103
56,8	55,2	0,044
55,6	53,7	0,071
54,8	52,0	0,148
48	50,3	0,108
48	48,6	0,006
47,7	46,6	0,024
46	44,5	0,048
41	42,1	0,030
40,7	39,2	0,060
29,5	35,0	0,857

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 5** – Teste Qui Quadrado para Gumbel

chi <sup>2</sup> calc	12,62
α	0,05
GL	31
chi <sup>2</sup> teor	44,99

Fonte: Autor (2021).

Na tabela 6 estão os valores da distribuição Gumbel feita para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 e 100 anos.

**Tabela 6** – Resultado da Distribuição Gumbel

T (anos)	y	k	H (mm)
2	0,366513	-0,16423	66,11
5	1,49994	0,719503	87,81
10	2,250367	1,304611	102,17
15	2,673752	1,634725	110,28
20	2,970195	1,865861	115,95

25	3,198534	2,043897	120,32
50	3,901939	2,592342	133,79
75	4,310784	2,911118	141,61
100	4,600149	3,136736	147,15

Fonte: Autor (2021).

### 5.1.2 Equação de Chuva

Os parâmetros calculados para a equação de chuva estão na tabela 7. Com esses valores obteve-se a equação de chuva da cidade de Caicó – RN, detalhada anteriormente no tópico 4.2.1. Dessa forma:

**Tabela 7** – Parâmetros da equação

PARÂMETROS	
n	0,7595
To	11
m	0,1959
K	760,15

Fonte: Autor (2021).

$$i = \frac{760,15 T^{0,1959}}{(t + 11)^{0,7595}}$$

Onde, i: valor calculado para a intensidade da chuva (mm/h).

**Tabela 8** – Valores da intensidade calculada de projeto.

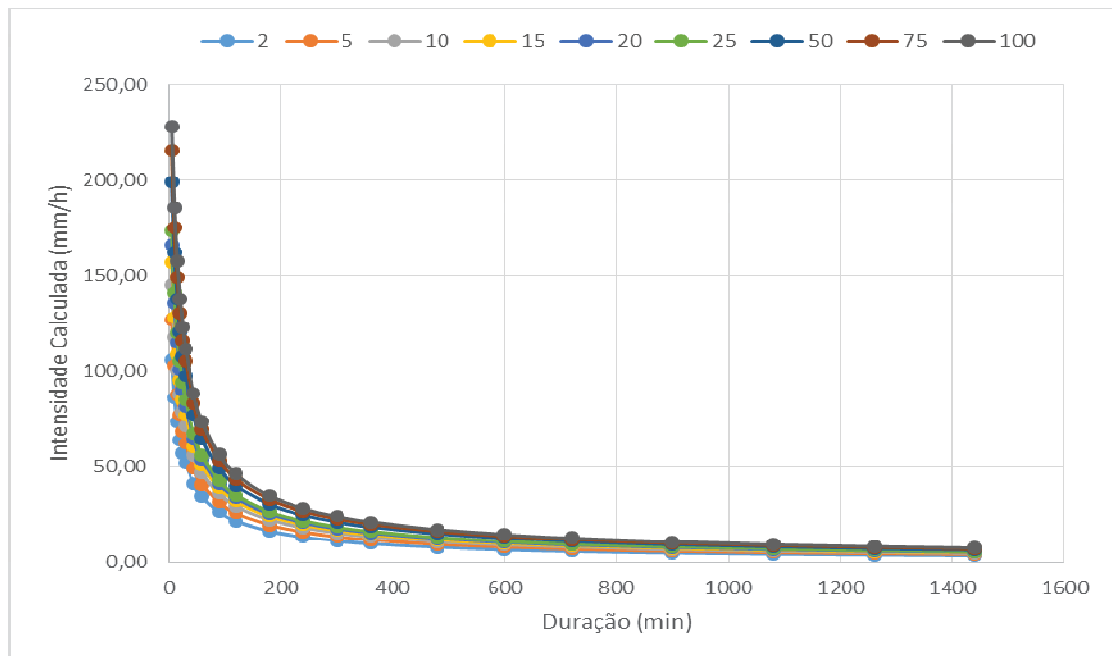
	Intensidade Calculada (mm/h)								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
5	106,01	126,85	145,30	157,31	166,43	173,87	199,16	215,62	228,12
10	86,23	103,18	118,19	127,96	135,38	141,43	162,00	175,39	185,56
15	73,32	87,73	100,49	108,80	115,11	120,25	137,74	149,13	157,77
20	64,15	76,76	87,92	95,19	100,71	105,21	120,51	130,48	138,04
25	57,26	68,52	78,49	84,97	89,90	93,92	107,58	116,47	123,22
30	51,88	62,08	71,10	76,98	81,44	85,08	97,46	105,52	111,63
45	40,94	48,99	56,11	60,75	64,27	67,14	76,91	83,27	88,09
60	34,19	40,91	46,86	50,73	53,67	56,07	64,22	69,53	73,56
90	26,16	31,30	35,85	38,82	41,07	42,90	49,14	53,20	56,29
120	21,47	25,69	29,43	31,86	33,71	35,21	40,33	43,67	46,20
180	16,12	19,29	22,10	23,92	25,31	26,44	30,29	32,79	34,69
240	13,10	15,68	17,96	19,44	20,57	21,49	24,61	26,65	28,19
300	11,13	13,32	15,26	16,52	17,48	18,26	20,92	22,65	23,96
360	9,74	11,65	13,35	14,45	15,29	15,97	18,29	19,81	20,95

480	7,87	9,42	10,79	11,68	12,36	12,91	14,79	16,01	16,94
600	6,67	7,98	9,14	9,89	10,47	10,93	12,52	13,56	14,35
720	5,82	6,96	7,97	8,63	9,13	9,54	10,93	11,83	12,52
900	4,92	5,89	6,75	7,30	7,73	8,07	9,25	10,01	10,59
1080	4,29	5,14	5,88	6,37	6,74	7,04	8,06	8,73	9,24
1260	3,82	4,57	5,24	5,67	6,00	6,27	7,18	7,77	8,22
1440	3,46	4,14	4,74	5,13	5,43	5,67	6,49	7,03	7,44

Fonte: Autor (2021).

O gráfico 2 representa as curvas IDF relacionando a intensidade calculada (mm/h) e duração em minutos, associando também o período de retorno dividido em 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 e 100 anos.

**Gráfico 2 – Curvas IDF**



Fonte: Autor (2021).

O teste Qui Quadrado foi aplicado para as intensidades observadas e calculadas. Como o valor calculado foi inferior ao teórico considera-se uma hipótese nula onde os valores são iguais, assegurando a consistência dos dados obtidos e validando o processo para os cálculos futuros de dimensionamento.

**Tabela 9 – Intensidade calculada e teórica para T = 2 anos**

	i,teorico	i,calc	chi <sup>2</sup>
5	93,62	106,01	1,447
10	80,11	86,23	0,435

15	68,11	73,32	0,369
20	59,44	64,15	0,346
25	52,96	57,26	0,323
30	47,94	51,88	0,299
45	37,84	40,94	0,234
60	31,66	34,19	0,187
90	24,32	26,16	0,130
120	20,01	21,47	0,099
180	15,07	16,12	0,068
240	12,26	13,10	0,054
300	10,41	11,13	0,047
360	9,09	9,74	0,042
480	7,33	7,87	0,038
600	6,18	6,67	0,035
720	5,37	5,82	0,034
900	4,52	4,92	0,033
1080	3,92	4,29	0,032
1260	3,47	3,82	0,032
1440	3,14	3,46	0,029

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 10** – Teste Qui Quadrado para intensidade

chi <sup>2</sup> calc	4,31
α	0,05
GL	17
chi <sup>2</sup> teor	27,59

Fonte: Autor (2021).

## 5.2 Sistema de Drenagem Projetado

A partir da metodologia abordada ao longo do trabalho e detalhada no item 4.3, calculou-se os componentes necessários para o projeto de microdrenagem do bairro Paulo VI da cidade de Caicó – RN.

Foram planejadas situações que mais se adequasse ao terreno, pois é uma área com desníveis acentuados chegando até 10 metros. Ao todo foram programadas três planilhas para o dimensionamento.

### 5.2.1 Sarjetas

Os dados iniciais para dimensionamento das sarjetas estão detalhados no anexo D e o Quadro 1 traz os resultados obtidos no cálculo.

Quadro 1 – Dimensionamento das Sarjetas

Cotas Terreno		S m/m	tempo de conc. (min)		Tr anos	i mm/h	C	Rh	Qmáx l/s	Qd m³/s	Fr	Qadm m³/s	y0 m	y0 verif	v m/s	Vverif
ante	jusante		tccal	tcadotado												
69	167	0,02	4,24	5	2	106,01	0,6	0,073	98,702	1,04	0,8	0,83	0,067	atende	1,31	atende
68	167	0,01	4,51	5	2	106,01	0,6	0,073	34,180	0,27	0,8	0,22	0,050	atende	0,82	atende
67	166	0,02	3,37	5	2	106,01	0,6	0,073	31,245	0,31	0,8	0,25	0,045	atende	0,94	atende
69	168	0,02	3,00	5	2	106,01	0,6	0,073	32,801	0,35	0,8	0,28	0,044	atende	1,01	atende
68	162	0,07	2,87	5	2	106,01	0,6	0,073	78,244	1,56	0,4	0,62	0,048	atende	2,01	atende
64	162	0,03	3,09	5	2	106,01	0,6	0,073	58,546	0,77	0,8	0,61	0,051	atende	1,37	atende
62	159	0,06	2,32	5	2	106,01	0,6	0,073	18,743	0,35	0,4	0,14	0,029	atende	1,32	atende
69	159	0,12	2,52	5	2	106,01	0,6	0,073	54,550	1,41	0,2	0,28	0,038	atende	2,23	atende
69	158	0,016	3,52	5	2	106,01	0,6	0,073	27,443	0,26	0,5	0,13	0,043	atende	0,89	atende
64	158	0,11	2,05	5	2	106,01	0,6	0,073	29,176	0,74	0,2	0,15	0,031	atende	1,88	atende
70	164	0,08	2,63	5	2	106,01	0,6	0,073	65,053	1,38	0,27	0,37	0,044	atende	2,01	atende
68	164	0,05	3,16	5	2	106,01	0,6	0,073	70,959	1,16	0,5	0,58	0,050	atende	1,68	atende
68	165	0,05	2,54	5	2	106,01	0,6	0,073	30,060	0,52	0,5	0,26	0,036	atende	1,42	atende
68	159	0,12	2,39	5	2	106,01	0,6	0,073	71,542	1,86	0,2	0,37	0,042	atende	2,40	atende
69	157	0,03	3,50	5	2	106,01	0,6	0,073	54,497	0,65	0,8	0,52	0,051	atende	1,26	atende
68	157	0,02	3,04	5	2	106,01	0,6	0,073	25,250	0,27	0,8	0,21	0,040	atende	0,94	atende
65	159	0,08	2,63	5	2	106,01	0,6	0,073	60,385	1,28	0,27	0,35	0,043	atende	1,97	atende
65	163	0,04	2,51	5	2	106,01	0,6	0,073	27,690	0,42	0,8	0,34	0,036	atende	1,26	atende
69	157	0,03	3,47	5	2	106,01	0,6	0,073	70,199	0,85	0,8	0,68	0,056	atende	1,34	atende
7,6	157	0,01	3,43	5	2	106,01	0,6	0,073	30,696	0,25	0,5	0,13	0,048	atende	0,81	atende
67	156	0,020	2,96	5	2	106,01	0,6	0,073	26,347	0,28	0,5	0,14	0,041	atende	0,96	atende



### 5.2.2 Bocas Coletoras

O dimensionamento das bocas coletoras é mais simples em relação aos demais como descrito no tópico 4.3.2. Para garantir que atendessem as recomendações a dimensão projetada de 1,2m x 0,3m, no quadro 2 detalha o dimensionamento.

**Quadro 2** – Dimensionamento das Bocas-de-Lobo.

Trechos	Q <sub>máx cond. da sarjeta</sub>	y <sub>0</sub>	Q <sub>engolimento</sub>	Q <sub>e,verif</sub>
	m <sup>3</sup> /s	m	m <sup>3</sup> /s	
P1 - PV1	0,0987	0,0671	0,1773	atende
PV2 - PV1	0,0342	0,0500	0,0570	atende
PV1 - D1	0,0312	0,0447	0,0482	atende
P3 - PV2	0,0328	0,0442	0,0473	atende
PV2 - PV3	0,0782	0,0483	0,1084	atende
P2 - PV3	0,0585	0,0507	0,1165	atende
PV3 - PV4	0,0187	0,0291	0,0254	atende
P3 - PV4	0,0545	0,0383	0,0764	atende
PV4 - PV5	0,0274	0,0431	0,0456	atende
P2 - PV5	0,0292	0,0305	0,0544	atende
P4 - PV6	0,0651	0,0441	0,0944	atende
PV7 - PV6	0,0710	0,0503	0,1150	atende
PV7 - PV10	0,0301	0,0356	0,0343	atende
PV7 - PV8	0,0715	0,0423	0,0888	atende
PV8 - PV9	0,0545	0,0510	0,0588	atende
PV5 - PV9	0,0253	0,0402	0,0411	atende
PV10 - PV11	0,0604	0,0429	0,0905	atende
PV10 - D2	0,0277	0,0363	0,0352	atende
PV11 - PV12	0,0702	0,0560	0,1351	atende
PV9 - PV12	0,0307	0,0476	0,0529	atende
PV12 - D3	0,0263	0,0405	0,0416	atende

Fonte: Autor (2021).

### 5.2.3 Galerias

Para o dimensionamento das galerias utilizou-se a metodologia descrita no tópico 4.3.3. O coeficiente de escoamento C é de 0,6 e o coeficiente de Manning 0,013 como já mencionado anteriormente. O quadro 3 traz os resultados obtidos nesse dimensionamento.

Quadro 3 – Dimensionamento das Galerias.

Q (l/s)	S (m/m)	D (m)		K	θ		λ/D	λ/D verif	Rh	V (m/s)	V verif	te (min)	Cotas Terreno (m)		Prof. Tub. (m)	Cotas Tub. (m)	
		calculado	adotado		rad	graus							Mont	Jus		Mont	Jus
98,70	0,019	0,27	0,3	0,231	3,69	211,56	0,24	atende	0,0571	1,57	atende	1,11	169	167	1,3	167,7	165,7
64,25	0,011	0,25	0,3	0,198	3,46	198,29	0,41	atende	0,0671	1,33	atende	1,14	168	167	1,3	166,7	165,7
127,90	0,017	0,30	0,4	0,148	3,11	178,39	0,33	atende	0,1202	2,42	atende	0,41	167	166	1,4	165,6	164,6
32,80	0,020	0,18	0,4	0,035	2,01	115,38	0,29	atende	0,1377	2,87	atende	0,30	169	168	1,4	167,6	166,6
109,34	0,069	0,22	0,3	0,134	3,01	172,42	0,59	atende	0,0840	3,87	atende	0,37	168	162	1,3	166,7	160,7
58,55	0,030	0,20	0,3	0,109	2,81	161,19	0,27	atende	0,0531	1,88	atende	0,59	164	162	1,3	162,7	160,7
123,96	0,059	0,24	0,3	0,165	3,23	185,16	0,55	atende	0,0795	3,45	atende	0,25	162	159	1,3	160,7	157,7
54,55	0,116	0,15	0,3	0,052	2,25	128,64	0,71	atende	0,0805	2,95	atende	0,29	169	159	1,3	167,7	157,7
67,70	0,016	0,24	0,3	0,175	3,30	189,12	0,02	atende	0,0884	1,91	atende	0,56	159	158	1,3	157,7	156,7
29,18	0,111	0,12	0,5	0,004	1,16	66,65	0,39	atende	0,0696	3,09	atende	0,21	164	158	1,3	162,4	156,4
65,05	0,078	0,18	0,3	0,019	1,71	97,94	0,36	atende	0,0870	4,21	atende	0,30	170	164	1,5	168,5	162,5
70,96	0,046	0,20	0,3	0,107	2,79	159,98	0,56	atende	0,0815	3,10	atende	0,47	168	164	1,3	166,7	162,7
30,06	0,052	0,14	0,3	0,043	2,13	121,85	0,67	atende	0,0971	3,69	atende	0,26	168	165	1,3	166,7	163,7
71,54	0,117	0,17	0,4	0,031	1,95	111,83	0,10	atende	0,0511	3,62	atende	0,35	168	159	1,4	166,6	157,6
122,56	0,025	0,28	0,4	0,064	2,39	136,95	0,06	atende	0,0749	3,10	atende	0,62	159	157	1,4	157,5	155,5
48,04	0,019	0,20	0,3	0,112	2,83	162,33	0,07	atende	0,0522	1,49	atende	0,58	158	157	1,3	156,7	155,7
89,22	0,078	0,20	0,3	0,048	2,20	125,91	0,4	atende	0,1112	2,73	atende	0,26	165	159	1,3	163,6	157,6
57,07	0,040	0,19	0,3	0,092	2,67	152,73	0,22	atende	0,1013	3,34	atende	0,25	165	163	1,3	163,7	161,7
126,41	0,025	0,28	0,3	0,256	3,88	222,47	0,64	atende	0,0856	2,38	atende	0,55	159	157	1,3	157,7	155,7
57,39	0,012	0,24	0,3	0,172	3,28	188,18	0,01	atende	0,0678	1,37	atende	0,63	157,6	157	1,3	156,3	155,7
124,91	0,020	0,29	0,3	0,285	4,13	236,46	0,30	atende	0,0615	1,69	atende	0,49	157	156	1,3	155,7	154,7

#### 5.2.4 Tabela de Resumo

Na tabela abaixo encontra-se um resumo do quantitativo encontrado no fim do dimensionamento da rede.

**Tabela 11** – Tabela de Resumo Quantitativo

SOMA DOS TRECHOS	1455 m
QNT. DE SARJETAS	108
QNT. DE BL	33
METROS / DIAM.	1110 - 300mm 268 - 400mm 77 - 500m

Fonte: Autor (2021).

## **6. CONCLUSÃO**

Para o presente trabalho foi realizado um estudo da área com levantamento de dados hidrológicos a partir da série histórica pluviométrica. Com o método de desagregação de chuva foi possível definir a equação de chuvas intensas da cidade de Caicó – RN.

A aplicação do Teste Qui-Quadrado trouxe validação dos resultados obtidos na Distribuição Gumbel e na equação de chuva encontrada garantindo a consistência dos dados para o dimensionamento da rede idealizada.

Os parâmetros de projeto e dados pré-definidos foram determinados seguindo as bibliografias apresentadas no trabalho e a partir das características da região. Todos os elementos dimensionados foram verificados e atenderam as exigências máximas e mínimas. Nas galerias, a profundidade das tubulações está entre 1,3m e 1,5m, pelo bairro apresentar solo rochoso o processo de escavação para implantação da rede deve ser analisado dentro da viabilidade econômica da gestão pública.

No geral, conclui-se que a proposta do dimensionamento da rede de microdrenagem do bairro Paulo VI da cidade de Caicó – RN está dentro dos limites e exigências estabelecidas, apresentando resultados satisfatórios.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Marcel Carvalho. **Desempenho de métodos de desagregação de chuvas intensas**. 2018. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa Minas Gerais – Brasil, 2018. Disponível em: [encurtador.com.br/nBNV0](http://encurtador.com.br/nBNV0). Acesso em: 05/03/2021.

AMARAL, R; RIBEIRO, R.R. 2009. **Enchentes e Inundações**. In: **Desastres Naturais, conhecer para prevenir**. Tominaga, L.K; Santoro, J; Amaral, R. (Organizadores). Instituto Geológico, São Paulo. p. 40-53.

ARAÚJO, L. E. *et al.* **Análise estatística de chuvas intensas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008.

BATISTA, M. E. M; Lima, E. R. V e Silva, T.C. **Indicador de performance de sistemas de drenagem Urbana por vias, setores censitários e bairros**. 2005. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, PB.

BARROS, M. T. L. de. **Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento**. In: PHILIPPI JR, A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.

BEIGUELMAN, B. 1996. **Curso de Bioestatística Básica**. 4ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética.

BELLÉ, J. P. **AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA. ESTUDO DE CASO: IJUÍ – RS**. 2011. 112p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS.

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

CAMPOS, A. R. *et al.* **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí**. Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 45, n. 3, p. 488-498, jul./set., 2014.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Precipitação. In: CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. São Paulo, 2006.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p. Disponível em:

[http://www.esdec.defesacivil.rj.gov.br/documentos/publicacoes\\_da\\_secretaria\\_nacional/6\\_desastres\\_naturais\\_voll.pdf](http://www.esdec.defesacivil.rj.gov.br/documentos/publicacoes_da_secretaria_nacional/6_desastres_naturais_voll.pdf). Acesso em: 02/03/2021.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. 142p. Tese (Doutorado programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS.

DAEE/CETESB; **Drenagem Urbana**; 2 ed. São Paulo; 1980.

FERNANDES, C. - **MICRODRENAGEM - Um Estudo Inicial**, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande, 2002, 196p.

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

HANSMANN, H. Z. **Descrição e Caracterização das Principais Enchentes e Alagamentos de Pelotas-RS**. 2013. 63p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

LIMA, J. N. **ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA O CÁLCULO DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS**. 2019. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

MIGUEZ, M. G; VERÓL, A. P; REZENDE, O. M. **DRENAGEM URBANA: Do projeto nacional à sustentabilidade**. 1 ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

PISANI, M. A. J. **As enchentes em áreas urbanas**. Ed. 03. pg 42-45. SINERGIA. São Paulo, 2001.

PORTO, R. L. (2012). **Fundamentos para a Gestão da Água**. São Paulo: Universidade de São Paulo.

POMPEO et al. (Orgs.) **Ecologia de reservatórios e interfaces**, São Paulo; Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

RENNÓ, C. D.; BORMA, L. S. Métodos Estatísticos Aplicados a Hidrologia. In: INPE. **Processos Hidrológicos**. São Paulo, 2018. Disponível em: [dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/aulas.html](http://dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/aulas.html). Acesso em 05/03/2021.

RODRIGUES, C. C. L. **PROPOSTA DE IMPLANTANÇÃO DE DRENAGEM URBANA DO BAIRRO JARDIM EUROPA DA CIDADE DE PATOS-PB.** 2016. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB.

SANTOS JÚNIOR, V.J; SANTOS, C.O; **A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas;** Estação Científica UNIFAP; ISSN 2179-1902; v.3 n. 1, p. 19-30, jan.-jun. 2013. Disponível em: <http://periodicos.unifap.br/index.php/estacao>. Acesso em: 02/03/2021.

SILVA, R. **MICRODRENAGEM: ESTUDO DE CASO DA AVENIDA TANCREDO NEVES COM A RUA PERNAMBUCO NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ – MG.** 2016. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha – MG.

SOUZA, V.C.B; MORAES, L.R.S.; BORJA, P.C.; **Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição;** Gesta, ISSN: 2317-563X, v. 1, n. 2 p. 162-175, 2013.

TUCCI, C.E.M.; GENZ, F. **Controle do Impacto da Urbanização.** In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. (Eds.). *Drenagem Urbana.* Porto Alegre: ABRH; Editora da Universidade; UFRGS, cap. 7, 1995.

TUCCI, C.E. M; PORTO, R.L. L; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ABRH. Porto Alegre, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** Editora UFRGS. 3.<sup>a</sup> Edição, Porto Alegre, 2004.

TUCCI, C. E.M; SOUZA, C. F.; CRUZ M. A. S. **Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade.** in: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH/UFRGS, Porto Alegre-RS.

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e recursos hídricos.** In: BICUDO, C. E. de M.; 2010.

**ANEXOS**



**Anexo A** – Total anual, máximo diário anual e média anual da série histórica da cidade de Caicó-RN. (Fonte: Autor, 2021).

	TOTAL ANUAL	MÁX. DIÁRIO ANUAL	MÉDIA ANUAL
1987	836,7	160	69,7
1988	502,2	48	41,9
1989	783,3	80	65,3
1990	316,1	64	26,3
1991	613,1	76	51,1
1992	450,7	70	37,6
1993	239,9	55,6	20,0
1994	882	98	73,5
1995	571	97	47,6
1996	682,6	65	56,9
1997	433,5	66,8	36,1
1998	175,4	48	14,6
1999	274,2	40,7	22,9
2000	748,7	78,3	62,4
2001	412,5	41	34,4
2002	904,1	61	75,3
2003	448,4	54,8	37,4
2004	861,7	81,2	71,8
2005	568,1	66,1	47,3
2006	719,9	46	60,0
2007	498,4	66,1	41,5
2008	872,8	56,8	72,7
2009	1056,4	59,2	88,0
2010	701,5	78,5	58,5
2011	874,6	100,2	72,9
2012	138,9	29,5	11,6
2013	498,5	72,9	41,5
2014	513,5	70	42,8
2015	355,5	47,7	29,6
2016	660,3	107,7	55,0
2017	521,3	71,1	43,4
2018	695,6	63,3	58,0
2019	828,9	94,3	69,1

ção de chuva para obtenção das precipitações máximas em diferentes durações. (Fonte: Autor, 2021).

INTENSIDADE (mm/min)								
5	10	15	20	25	50	75	100	FD
10,36	12,06	13,01	13,68	14,20	15,79	16,71	17,37	0,104
17,73	20,63	22,27	23,42	24,30	27,02	28,60	29,72	0,177
22,62	26,32	28,41	29,87	30,99	34,46	36,48	37,90	0,226
26,32	30,62	33,05	34,75	36,06	40,10	42,44	44,10	0,263
29,31	34,10	36,81	38,70	40,16	44,66	47,27	49,12	0,293
31,84	37,04	39,98	42,04	43,62	48,51	51,34	53,35	0,318
37,69	43,86	47,34	49,77	51,65	57,43	60,79	63,17	0,377
42,05	48,92	52,81	55,52	57,61	64,06	67,81	70,46	0,420
48,45	56,37	60,84	63,97	66,38	73,81	78,13	81,18	0,484
53,17	61,86	66,77	70,20	72,85	81,00	85,74	89,09	0,531
60,06	69,88	75,43	79,31	82,30	91,51	96,86	100,65	0,600
65,12	75,77	81,78	85,99	89,23	99,22	105,02	109,13	0,651
69,14	80,44	86,83	91,29	94,73	105,34	111,50	115,86	0,691
72,48	84,33	91,02	95,70	99,31	110,43	116,88	121,46	0,724
77,86	90,59	97,78	102,81	106,68	118,62	125,56	130,47	0,778
82,11	95,54	103,13	108,43	112,52	125,11	132,43	137,61	0,820
85,65	99,66	107,57	113,10	117,36	130,50	138,13	143,53	0,856
90,04	104,77	113,09	118,90	123,38	137,19	145,21	150,89	0,900
93,69	109,01	117,66	123,71	128,38	142,75	151,09	157,00	0,936
96,81	112,64	121,58	127,83	132,65	147,50	156,12	162,23	0,967
100,10	116,47	125,72	132,18	137,16	152,52	161,44	167,75	1,14
<b>87,81</b>	<b>102,17</b>	<b>110,28</b>	<b>115,95</b>	<b>120,32</b>	<b>133,79</b>	<b>141,61</b>	<b>147,15</b>	

D C – Valores obtidos da intensidade observada. (Fonte: Autor, 2021).

INTENSIDADE OBSERVADA (mm/h)								
	5	10	15	20	25	50	75	100
52	124,35	144,69	156,17	164,20	170,39	189,47	200,54	208,39
1	106,40	123,80	133,63	140,50	145,79	162,11	171,59	178,30
1	90,47	105,27	113,62	119,46	123,97	137,84	145,90	151,61
4	78,95	91,86	99,15	104,25	108,18	120,29	127,32	132,30
6	70,34	81,85	88,35	92,89	96,39	107,18	113,44	117,88
4	63,67	74,08	79,96	84,08	87,24	97,01	102,68	106,70
4	50,26	58,48	63,12	66,37	68,87	76,58	81,05	84,22
6	42,05	48,92	52,81	55,52	57,61	64,06	67,81	70,46
2	32,30	37,58	40,56	42,65	44,25	49,21	52,09	54,12
1	26,58	30,93	33,38	35,10	36,42	40,50	42,87	44,55
7	20,02	23,29	25,14	26,44	27,43	30,50	32,29	33,55
6	16,28	18,94	20,45	21,50	22,31	24,80	26,25	27,28
1	13,83	16,09	17,37	18,26	18,95	21,07	22,30	23,17
9	12,08	14,06	15,17	15,95	16,55	18,40	19,48	20,24
3	9,73	11,32	12,22	12,85	13,34	14,83	15,69	16,31
8	8,21	9,55	10,31	10,84	11,25	12,51	13,24	13,76
7	7,14	8,30	8,96	9,42	9,78	10,87	11,51	11,96
2	6,00	6,98	7,54	7,93	8,23	9,15	9,68	10,06
2	5,20	6,06	6,54	6,87	7,13	7,93	8,39	8,72
7	4,61	5,36	5,79	6,09	6,32	7,02	7,43	7,73
4	4,17	4,85	5,24	5,51	5,72	6,36	6,73	6,99

**ANEXO D –** Parâmetros iniciais para o dimensionamento das sarjetas. (Fonte: Autor, 2021).

DADOS GERAIS	
Coeficiente de Manning	0,013
Coeficiente C	0,6
Profundidade máxima da Sarjeta	0,15 m
Lâmina de água máxima	0,13 m
Largura da sarjeta	0,40 m
Velocidade máxima de escoamento	4 m/s
Velocidade mínima de escoamento	0,75 m/s
Capacidade total da calha da rua	5 m
Área transversal da sarjeta	0,375 m <sup>2</sup>
Perímetro molhado da sarjeta	5,15 m
Declividade transversal da rua	0,03 m/m
Raio Hidráulico	0,073 m

## APÊNDICES

**APÊNDICE A** – Coeficiente de Manning de acordo com o material da tubulação.  
(Fonte: Azevedo Neto, 1998).

<b>MATERIAL DA TUBULAÇÃO</b>	<b>N</b>
Alvenaria de pedras brutas	0,020
Alvenaria de pedras retangulares	0,017
Alvenaria de tijolos sem revestimento	0,015
Alvenaria de tijolos revestida	0,012
Canais de concreto de acabamento ordinário	0,014
Canais de concreto com revestimento liso	0,012
Canais com revestimento muito liso	0,010
Canais de terra em boas condições	0,025
Canais de terra com plantas aquáticas	0,035
Canais irregulares e mal conservados	0,040
Condutos de madeira aparelhada	0,011
Condutos de manilha cerâmica	0,013
Tubos de aço soldado	0,011
<b>Tubos de concreto</b>	<b>0,013</b>
Tubos de ferro fundido	0,012
Tubos de cimento-amianto	0,011
Superfície lisa, de aço.	0,012
Metal corrugado	0,024
Concreto liso	0,011
Bueiro de concreto com junta	0,013
Tijolo vidrado	0,013
Escavação em terra, limpa.	0,022
Leito natural de riacho, limpo, reto.	0,030
Leito em rocha lisa	0,035
Canais sem conservação	0,050- 0,100

**APÊNDICE B** – Coeficiente de Escoamento Superficial. (Fonte: ASCE, 1969).

<i>Tipologia da área de drenagem</i>	<i>Coeficiente de escoamento superficial</i>
<b>Áreas Comerciais</b>	0,70 – 0,95
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
<b>Áreas Residenciais</b>	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m <sup>2</sup> ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
<b>Áreas Industriais</b>	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
<b>Superfícies</b>	
asfalto	0,70 – 0,95
concreto	0,80 – 0,95
blocket	0,70 – 0,89
paralelepípedo	0,58 – 0,81
telhado	0,75 – 0,95
solo compactado	0,59 – 0,79

**APÊNDICE C** – Período de retorno de acordo com o sistema de drenagem. (Fonte: Manual de Drenagem Urbana do município de Toletó – Paraná, 2017).

Sistema	Característica	Intervalo (anos)	Valor recomendado (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5	2
	Comercial	2 – 5	2
	Áreas de prédios públicos	2 – 5	2
	Áreas comerciais e Avenidas	2 – 10	2
	Aeroporto	5 – 10	5
Macro-drenagem		10 – 50	10
	Zoneamento de áreas ribeirinhas	5 -100	50 *

\* limite da área de regulamentação