



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

PROJETO DE UM CANAL DE MACRODRENAGEM DA CIDADE DE IPUEIRA-RN

FELIPE RODRIGUES DE MEDEIROS

POMPBAL – PB

2023

FELIPE RODRIGUES DE MEDEIROS

PROJETO DE UM CANAL DE MACRODRENAGEM DA CIDADE DE IPUEIRA-RN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Dr^a. Elisângela Maria da Silva

Coorientador(a): Me. Fagner França da Costa

POMBAL – PB

2023

M488p Medeiros, Felipe Rodrigues de.
Projeto de um canal de macrodrenagem da cidade de Ipueira - RN /
Felipe Rodrigues de Medeiros. – Pombal, 2023.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Elisângela Maria da Silva, Me Fagner
França da Costa”.

Referências.

1. Drenagem urbana. 2. Macrodrenagem. 3. Águas pluviais - Gestão.
I. Silva, Elisângela Maria da. II. Costa, Fagner França da. III. Título.

CDU 626.861(043)

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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

FELIPE RODRIGUES DE MEDEIROS

TÍTULO DO TRABALHO

Trabalho de Conclusão de Curso do discente FELIPE RODRIGUES DE MEDEIROS **APROVADO** em 16/11/2023 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.

Elisângela Maria da Silva

Prof^ª. Dr^ª. Elisângela Maria da Silva
(Orientadora – UACTA/CCTA/UFCG)

Rosinete Batista dos Santos Ribeiro

Prof^ª. Dr^ª. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro
(Membro Interno – UACTA/CCTA/UFCG)

Fagner França da Costa

Prof. Me. Fagner França da Costa
(Coorientador – Engenheiro Ambiental)

Yanneson Marlon de Araújo Lira

Prof. Me. Yanneson Marlon de Araújo Lira
(Membro Externo – Engenheiro Civil)

AGRADECIMENTOS

Quando olho para trás e reflito sobre esta jornada acadêmica, é impossível não reconhecer o papel que várias pessoas, ao meu entorno, desempenharam para o sucesso da minha trajetória acadêmica. Este é um momento de celebração, e é com imensa gratidão que reconheço a importância de cada indivíduo que cruzou o meu caminho ao longo dessa jornada. A cada desafio, a cada vitória, vocês estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, amor e encorajamento.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, fonte de toda sabedoria e inspiração, por me permitir superar todos os obstáculos encontrados nos caminhos percorridos ao longo da vida.

Agradeço aos meus pais, João Manoel e Maria Aparecida, cujo sacrifício e dedicação foram a luz que iluminou meu caminho durante todos esses anos de estudo. Vocês foram meus maiores incentivadores e a força que impulsionou cada passo desta jornada. Cada conquista minha faz parte de um percurso que traçamos e compartilhamos juntos.

Todo meu agradecimento a Winne Medeiros por sua paciência infinita durante longas noites de estudo, por seu sorriso encorajado nos momentos de dúvida e pela compreensão silenciosa nos períodos de ausência. Seu apoio inabalável foi muito importante por trás desta jornada acadêmica, e cada página deste trabalho é um reflexo do nosso companheirismo.

À minha extensa família, avós, tios e primos, agradeço por celebrarem minhas conquistas e por serem uma rede de suporte que se estende além das fronteiras familiares. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial neste processo, e estou profundamente grato por ter uma família tão incrível ao meu lado.

Expresso minha gratidão aos meus amigos: José Higor, Dielyson Sampaio, Antônio Neto, José Artur, Diógenes Mata, Leonam Kevin, Yves Lorrán e aos demais que me fogem à mente, que foram pilares fundamentais durante toda a graduação. Às noites de estudo compartilhadas, às risadas que aliviaram a pressão e às resenhas que tornaram esse processo mais descontraído, agradeço sinceramente. Vocês tornaram essa jornada mais fácil.

À minha orientadora, Elisângela Silva, e meu coorientador, Fagner França, cuja dedicação, paciência e sabedoria foram fundamentais para o desenvolvimento

deste trabalho, sou profundamente grato pela generosidade de vocês em compartilharem seus conhecimentos.

Ao professor Wesley Santos, por me ceder os dados da série histórica do município de Ipueira-RN.

Agradeço a banca examinadora pela disponibilidade em compartilhar seu tempo e expertise na análise do meu trabalho, bem como por fornecerem valiosas sugestões que contribuíram significativamente para o aprimoramento desta pesquisa.

Este trabalho é o resultado do esforço coletivo de muitos, e é com profunda gratidão que compartilho este momento com todos aqueles que fizeram parte da minha trajetória acadêmica. Obrigado por tudo.

“O sucesso não acontece por acaso. É trabalho duro, perseverança, aprendizado, estudo, sacrifício e, acima de tudo, amor pelo que você está fazendo ou aprendendo a fazer.” (Pelé).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da água no planeta Terra.....	15
Figura 2: Representação do ciclo hidrológico.....	16
Figura 3: Representação dos fenômenos enchente, inundação e alagamento.....	18
Figura 4: Sistema de drenagem urbana.	20
Figura 5: Taxa de urbanização no Brasil dos anos 1950 até 2010.	23
Figura 6: Consequências da urbanização.	24
Figura 7: Parâmetros para cálculo de vazões de cheias.....	27
Figura 8: Delimitação da área de influência de uma bacia hidrográfica.	29
Figura 9: Localização do talvegue a ser executado.	36
Figura 10: Planície inundada que recebe o volume de água transportado pelo canal.	37
Figura 11: 1º trecho do canal a ser implantado revestimento.....	37
Figura 12: 2º trecho do canal a ser implantado revestimento.....	38
Figura 13: 3º trecho do canal a ser implantado revestimento.....	38
Figura 14: Área de influência da bacia.....	40
Figura 15: Disposição de talvegue principal.....	41
Figura 16: Perfil longitudinal do talvegue principal.	42
Figura 17: Perfil longitudinal do talvegue a ser executado.....	42
Figura 18: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica.	43
Figura 19: Seção transversal do canal.	49
Figura 20: Planta baixa do trecho 01.....	55
Figura 21: Planta baixa do trecho 02.....	56
Figura 22: Planta baixa do trecho 03.....	56
Figura 23: Corte da seção transversal do canal.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do Coeficiente de deflúvio de acordo com uso e ocupação do solo.	44
Tabela 2: Períodos de retorno recomendados para obras de drenagem urbana.	45
Tabela 3: Coeficiente de Manning em função do revestimento do canal.....	45
Tabela 4: Cálculo para estimar as dimensões hidráulica do canal.	47
Tabela 5: Valores de borda livre recomendados pelo DAEE para obras hidráulicas.	48
Tabela 6: Quantitativos e orçamento do canal a ser executado.	50

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
Água e ciclo hidrológico	15
Conceitos hidrológicos e hidráulicos.....	17
Drenagem urbana	19
Microdrenagem	20
Macrodrenagem	21
A urbanização e os impactos na drenagem urbana	22
Importância da drenagem urbana	25
Dimensionamento de sistemas de drenagem urbana.....	27
Caracterização de uma bacia hidrográfica	28
Equação de chuva e tempo de concentração	29
Volume de escoamento pelo método racional.....	31
Seção hidráulica do canal pela equação de Manning	32
1. Objetivo e localização	35
1.1. Objetivo	35
1.2. Localização	35
1.3. Descrição da obra	36
2. Dados de Análise	38
3. Especificações	39
4. Memorial de Cálculo	39
4.1. Caracterização fisiográfica da bacia	39
4.1.1. Delimitação da área.....	39
4.1.2. Identificação do talvegue	40
4.1.3. Declividade da bacia.....	41
4.1.4. Uso e ocupação do solo	42

4.2. Dados da bacia hidrográfica.....	44
4.3. Tempo de concentração	45
4.4. Equação de chuva.....	46
4.5. Estimativa da vazão de pico.....	46
4.6. Dimensionamento da seção hidráulica e estrutural do canal artificial	47
5. Quantitativos	49
Referências bibliográficas	52
APÊNDICE A – PRANCHAS DO PROJETO DO CANAL ARTIFICIAL DE MACRODRENAGEM	55

INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2014), com o aumento no índice de êxodo rural a partir de meados do século XX, passaram a surgir diversos problemas em decorrência desse movimento. Com isso, devido da elevada migração de pessoas do campo para as áreas urbanas passou a se formar grandes bairros, esses por sua vez, construídos sem o devido planejamento, impactando significativamente, de maneira negativa, na infraestrutura das cidades e, por conseguinte, acarretando diversos problemas para a população da região.

A ausência de projetos voltados aos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, os quais, constitui-se elementos básicos do saneamento no Brasil, previsto na Lei Federal n.14.026, de 15 de julho de 2020, contribui para a ocorrência de vários problemas ambientais e de saúde humana, tais como aumento do escoamento superficial, proliferação de doenças de veiculação hídrica, maior impermeabilização e erosão do solo. Além disso, no Brasil, ainda há uma carência dos municípios quanto a elaboração de seus planos diretores, corroborando para o aumento dos problemas urbanos, visto que, as obras de infraestruturas não acompanham o crescimento desses espaços.

Segundo Tucci (2003), para implementar medidas sustentáveis na cidade é necessário desenvolver o Plano Diretor de Drenagem Urbana. Para tanto esse plano deve ser fundamentado em princípios essenciais para assegurar uma boa infraestrutura, como proibição do aumento da vazão máxima de jusante para novas obras, o planejamento e controle dos impactos existentes devem ser formulados considerando toda a bacia, o horizonte de planejamento deve ser integrado ao Plano Diretor da cidade, avaliação do controle dos efluentes deve ser realizada de maneira integrada entre esgotamento sanitário e resíduos sólidos.

De acordo com Texeira (2020), a urbanização impacta severamente os sistemas de abastecimento, rede de esgoto e drenagem pluvial urbana, principalmente pela falta de infraestrutura, conscientização da população e de planejamento, pois a implantação destes sistemas não acompanhou o adensamento populacional, originando cidades com planejamento de infraestrutura adequado e outras sem. Tais desigualdade se refletem no meio ambiente, na saúde da população local e no âmbito social.

Ainda nesse viés, consoante Tucci (2003), os danos decorrentes das inundações no sistema de drenagem urbana nas cidades brasileiras têm aumentado significativamente, resultando na perda da qualidade de vida e na desvalorização das propriedades. Isso é consequência do processo de urbanização, que inclui a impermeabilização do solo e a canalização do escoamento pluvial. Os projetos e a gestão da drenagem têm sido conduzidos com uma abordagem localizada e segmentada dos problemas, o que tem provocado impactos ainda maiores do que os já existentes, resultando no desperdício de recursos.

A implantação desses sistemas traz muitos benefícios, pois influencia na melhoria da qualidade de vida da população, torna a região mais atrativa para a sociedade e eleva as chances de desenvolvimento econômico. Ao investir em um sistema de macrodrenagem, o município pode proporcionar um ambiente mais seguro e saudável, promovendo o bem-estar da comunidade e melhorando a imagem da cidade como um todo (PAULA et al. 2017).

Da mesma maneira, para Texeira (2020), a drenagem urbana tem como objetivo minimizar os riscos aos quais a população está sujeita, conduzindo em segurança e para o devido destino as águas provenientes das chuvas, diminuindo os danos causados por enxurradas, inundações e alagamentos. Tudo isso com o intuito de evitar transtornos, prejuízos e riscos, a fim de possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Diante dessa problemática, encontra-se a cidade de Ipueira, localizada na região do Seridó do estado do Rio Grande do Norte. Na parte Norte da cidade há uma pequena bacia hidrográfica, objeto do presente estudo, a qual se encontra com parte do seu curso d'água dentro da malha urbana em um trajeto de aproximadamente 260 metros e possui uma parcela do seu talvegue ainda sem revestimento. Nesse trecho, são observados diversos problemas, a exemplo das erosões, mau cheiro, transbordamentos, assoreamento do talvegue, proliferação de vetores de doenças à população, além disso cita-se um problema de aspecto visual do ambiente.

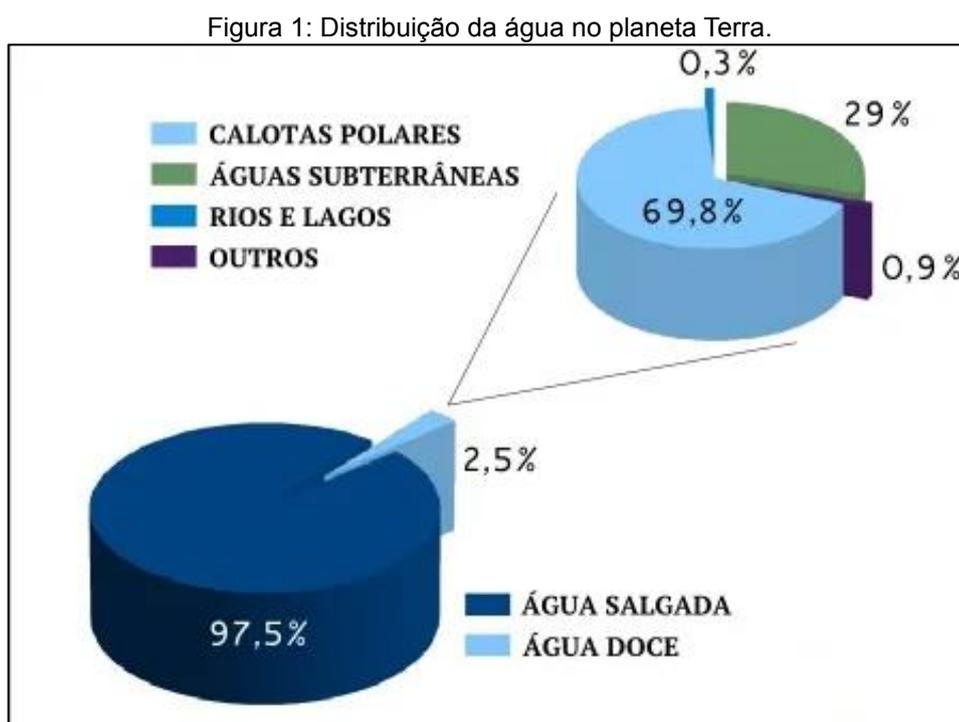
Em suma, na busca por soluções dessa problemática na área em estudo, a elaboração do projeto executivo de macrodrenagem apresenta-se como uma solução essencial para enfrentar os desafios decorrentes da gestão das águas pluviais na região. Por meio da implementação de um sistema eficiente de coleta, transporte e disposição das águas precipitadas, é possível reduzir os riscos de

inundações, proteger o meio ambiente e garantir a qualidade de vida da população local. Além disso, o projeto executivo fornecerá diretrizes claras para a execução das obras, estabelecendo prazos, custos e especificações técnicas, a fim de assegurar a eficácia e a sustentabilidade do empreendimento.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Água e ciclo hidrológico

Segundo Miranda, Oliveira e Silva (2010), a quantidade total de água presente na Terra, em suas fases sólida, líquida e gasosa, permanece quase que inalterada desde o surgimento da humanidade. Essa água está distribuída em três principais reservatórios: os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais há um ciclo contínuo. Mais de 66% da superfície terrestre são cobertos por água nas formas líquida e sólida, enquanto na forma gasosa, a água é um componente variável da atmosfera, podendo ocupar até 4% de seu volume total. Na Figura 1 mostra a distribuição da água no planeta.

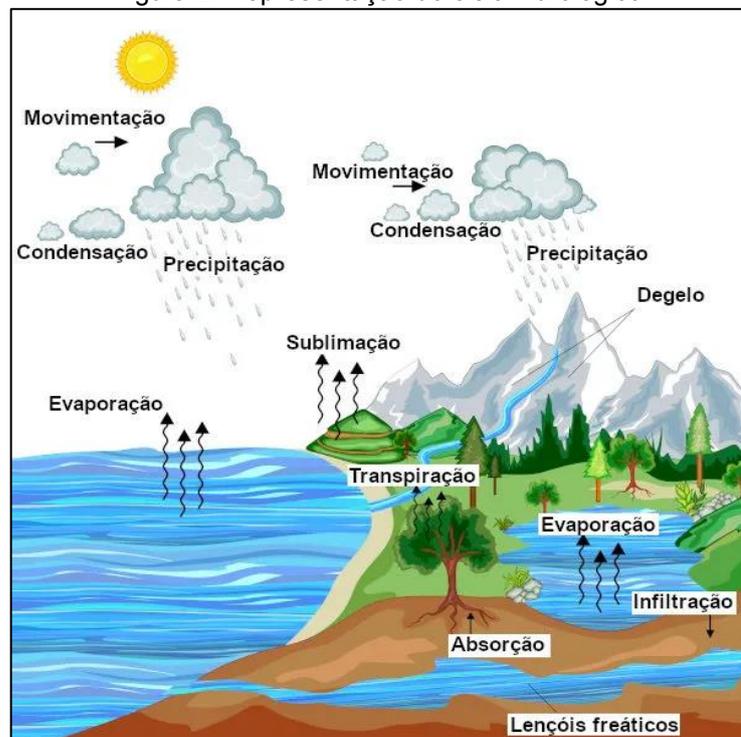


Fonte: Pena, 2022.

O ciclo hidrológico é composto por uma sequência de fases, nas quais a água percorre um trajeto desde sua fase inicial até retornar à sua posição original. Esse procedimento se realiza por meio da circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionada principalmente pela energia solar, em conjunto com a força gravitacional e a circulação atmosférica. As principais etapas desse ciclo

incluem evapotranspiração, precipitação, interceptação, infiltração e escoamento (Figura 2).

Figura 2: Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: Santos, 2021.

Inicialmente acontece a evapotranspiração que é a água perdida pelo solo, corpos hídricos e seres vivos para a atmosfera. Após a evapotranspiração há formação de nuvens e precipitação. À água precipitada vai em direção a superfície terrestre ou aquática, podendo vir a ser interceptada por coberturas como copas de árvore, telhados, pavimentos, entre outros. Parte da água que consegue chegar ao solo infiltra e forma reservas subterrâneas. Ademais, o restante das águas pode escoar superficial ou subterraneamente, principalmente em terrenos com índices de declives elevados (SILVA; CAVALCANTI, 2019).

Os procedimentos supracitados são comuns no ciclo hidrológico em todo o mundo; no entanto, as taxas nas quais esses procedimentos ocorrem se diferem (SILVA; CAVALCANTI, 2019). Em conformidade a isso, Miranda, Oliveira e Silva (2010), afirmam que essa variação está dependendo do conceito aplicado ao ciclo hidrológico. Em uma escala global, a quantidade de água disponível em cada fase do ciclo é relativamente constante. No entanto, ao considerar uma área específica,

as quantidades de água em cada etapa do ciclo variam constantemente. Isso explica a variação de volumes precipitados em diferentes regiões do planeta.

Em suma, o ciclo hidrológico, em relação à sua manifestação, mudanças de fase e interações com a rotina diária, é definido por suas duas etapas diferentes, uma no âmbito atmosférico e outra no terrestre. Em outras palavras, ao levar em consideração que a água integra tanto o ambiente biótico (flora, fauna, microrganismos) quanto o abiótico (atmosfera, solo), e pode vir a ser encontrada na natureza em suas três formas existentes (sólida, líquida e gasosa) (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

Conceitos hidrológicos e hidráulicos

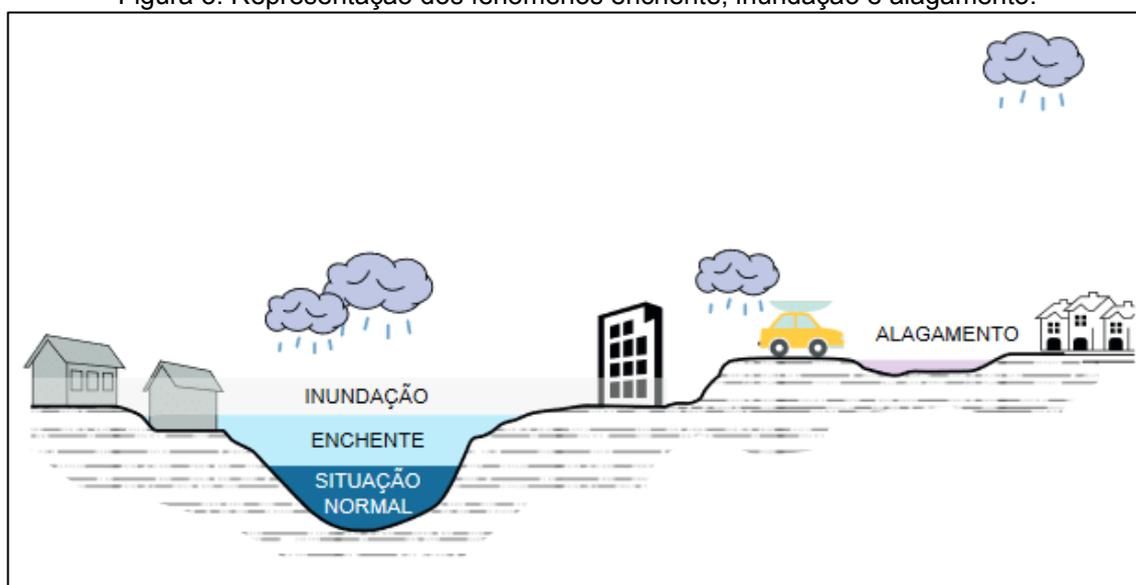
De acordo com Lisboa (2005), a hidrologia é a ciência que estuda as águas da Terra, seu evento, movimentação, propriedades químicas e físicas e todas as suas interações com o ecossistema. Também pode ser caracterizada como uma ciência que fala das permutações dos recursos aquáticos do planeta em decorrência das inúmeras e distintas fases que compõe o ciclo da água. A Hidrologia atualmente é uma ciência de um teor importantíssimo, em decorrência disso seu conhecimento é capital.

A ciência hidrologia se desdobra em várias vertentes, uma delas é a área da hidrologia aplicada, em que, de acordo com Carvalho (2007), ela está voltada para diversos caminhos que envolvem o uso dos recursos hídricos, proteção do meio ambiente e ocupação da bacia hidrográfica. Em um desses parâmetros há relação com a drenagem urbana, na caracterização hidrológica de uma bacia hidrográfica, em que analisa-se fatores como vazão de pico do escoamento superficial e a precipitação incidente.

Dentre esses fenômenos hidrológicos, destaca-se a ocorrência de chuvas, conhecida como precipitação pluvial, que desempenha um papel fundamental na compreensão da dinâmica do meio físico. A distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial é caracterizada por irregularidades significativas, com variações consideráveis em sua intensidade. Portanto, é crucial compreender esses padrões ao planejar e projetar infraestruturas hidráulicas, como bueiros, barragens, sistemas de controle de inundações e prevenção de erosão (SILVA; OLIVEIRA, 2017).

Assim como também, pode-se citar as enchentes, que são caracterizadas pela presença de um fluxo significativo de escoamento superficial. As principais razões para ocorrência de inundações incluem precipitação excessiva e liberação de um volume de água a montante. Esta última situação pode ser desencadeada pela abertura súbita das comportas de um reservatório ou pelo rompimento da estrutura encarregada de conter a água. É importante destacar que uma enchente não necessariamente resultará em inundação (Figura 3), desde que sejam respeitadas as medidas de controle para esse fenômeno (SOUSA; ROCHA, 2016).

Figura 3: Representação dos fenômenos enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Gonçalves et al, 2018.

De acordo com Ferraz (2021), inundações são eventos hidrológicos extremos que ocorrem de forma variada, podendo ser de origem natural ou causados pela intervenção antrópica. Ela se caracteriza como submersão de áreas fora dos limites normais de um canal fluvial, em zonas que normalmente não se encontram submersas. Além disso, o modelo de desenvolvimento urbano adotado nessas áreas, com a ocupação de área indevidas e sem planejamento de drenagem, desafia a natureza. Com isso, as consequências resultantes dessas intervenções podem ser, em muitos casos, desastrosas.

Ao mencionar o conceito de alagamento, refere-se à sobrecarga da capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem nas áreas urbanas. Isso ocorre quando há uma intensa precipitação, resultando no acúmulo de água em vias públicas, calçadas e demais estruturas urbanas. Esse fenômeno é desencadeado

pela incapacidade do sistema de drenagem em lidar com grandes volumes de água, levando ao ajuntamento de água em diferentes partes da cidade (SOUSA; ROCHA, 2016).

Para Azevedo Netto e Fernández (2018), a hidráulica se refere a uma área da engenharia que se concentra no estudo e na aplicação das propriedades e comportamentos dos fluidos, especialmente a água, para o transporte, controle e utilização de energia em sistemas e máquinas. Envolve o uso de princípios físicos para projetar e operar sistemas que envolvem a transmissão de força e movimento através de fluidos. A hidráulica tem participação crucial em uma ampla gama de aplicações, desde sistemas empregados em veículos até grandes projetos de engenharia civil.

A hidráulica em condutos livres, ou a hidráulica de canais, destaca-se como uma das principais ferramentas de dimensionamento para sistemas de drenagem que envolvem escoamentos sujeitos à pressão atmosférica. Essa abordagem abrange o dimensionamento de canais e galerias de águas pluviais e esgoto, incluindo a avaliação da capacidade hidráulica de condutos livres com diversas formas de seções transversais. Além disso, ela trata fenômenos como o ressalto hidráulico e o remanso (BRAGA; MENEZES FILHO; FREIRE, 2017).

Drenagem urbana

Segundo Texeira et al (2020), a drenagem urbana pode ser definida como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais oriundas tanto da população quanto de precipitações. É constituído por uma série de normas que visam prevenir os riscos aos quais a população está exposta, diminuindo os danos ocasionados pelas enchentes, inundações e alagamentos em áreas susceptíveis a esses problemas, com isso, possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e ambientalmente sustentável.

A infraestrutura de drenagem urbana é composta por um sistema de Microdrenagem e Macrodrenagem (Figura 4). Onde a microdrenagem possui como finalidade, inicialmente, coletar as águas de chuva nas áreas urbanas, constituída por elementos considerados secundários, já o sistema de macrodrenagem é formado por galerias de águas pluviais, canais artificiais e canais naturais

modificados, localizados em fundos de vale, constituindo os coletores troncos ou rede principal (TUCCI, 2015).

Figura 4: Sistema de drenagem urbana.



Fonte: Aguiar, 2017.

A drenagem urbana é descrita como a junção de infraestruturas e instalações operacionais relacionadas à drenagem de águas precipitadas, transporte, amortecimento de cheias, tratamento e destino final do volume coletado. Além disso, de acordo com o nível de escoamento da região é definida a medida mais viável para realizar o processo, podendo ser o sistema de macrodrenagem ou de microdrenagem (SANTOS, 2023).

Microdrenagem

A microdrenagem pode ser caracterizada como um sistema de condutos projetados o qual objetiva transportar as águas provenientes de precipitações escoadas dos prédios comerciais ou habitacionais, lotes não construídos, vias públicas, espaços de recreação, entre outros. Em sua composição, na maioria das vezes, o desenho do seu traçado é influenciado pelas vias, facilitando os serviços. Em casos excepcionais podem ser tomada outras medidas (TEXEIRA et al, 2020).

Esse sistema pode ser definido como um sistema de condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana. A microdrenagem possui como função atender a drenagem de precipitações com risco moderado. Além disso a microdrenagem é realizada com o intuito de drenar a água captada em seus diversos pontos de coleta e conduzir por meio de condutos até um coletor principal (PEREIRA, 2023).

O sistema de microdrenagem funciona inicialmente pela captação de chuvas por pavimentos e coberturas, transportando os fluídos por condutores e sarjetas até atingir dispositivos de captação (bocas de lobo, bueiros, etc.), onde através das tubulações intermediárias esse volume é despejado nas galerias, as quais levarão este escoamento para os elementos que compõem o sistema de macrodrenagem ou até mesmo diretamente para os mananciais (RAMOS, 2012).

Segundo Rodrigues, Rodrigues e Rodrigues (2022), as obras de microdrenagem são de suma importância para os municípios uma vez que, contribuem para prevenção de problemas como alagamentos. Esses problemas podem provocar erosão das vias públicas, atrapalham o funcionamento do tráfego tanto de pessoas como de veículos e a saúde da população. É fundamental que esses sistemas sejam projetados e executados para desempenhar com eficácia a sua função. Além disso, é preciso que a manutenção seja feita periodicamente e intensificadas em tempos chuvosos.

Macro drenagem

A macrodrenagem é um sistema dentro da drenagem urbana que é responsável por conduzir volumes elevados de águas pluviais, esses oriundos das mais diversas fontes, podendo vir a citar: a microdrenagem, superfícies marginais a canais e até mesmo de outro sistema de macrodrenagem de menor dimensão. Conforme Santos (2023, p. 24) “A macrodrenagem é a parte do sistema de drenagem que se destina ao escoamento final das águas superficiais, incluindo a água proveniente do sistema de microdrenagem.”

Segundo Ramos (2012), a macrodrenagem urbana é um sistema que compreende um grupo de métodos para mitigar tragédias provenientes das inundações e enchentes, e para essa questão é imprescindível os mecanismos de escoamento como cursos d'águas naturais: rios, riachos, córregos; ou artificiais

como: canais e galerias nas mais variadas capacidades, onde ambos os tipos de sistemas possuem a função de captar as águas oriundas do sistema de microdrenagem e do escoamento superficial em suas margens.

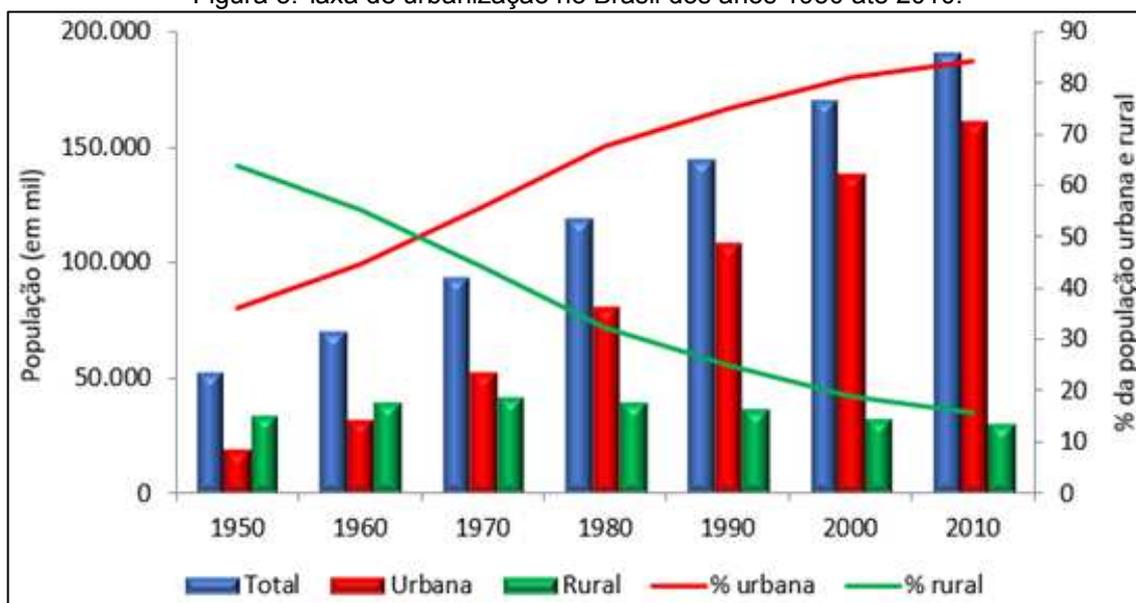
Além desses modelos de sistemas supracitados, há os sistemas de bacia de detenção e retenção, onde o intuito principal desses modelos é o amortecimento do escoamento superficial. De acordo com Tucci (2003), as detenções são reservatórios urbanos mantidos secos com uso do espaço integrado à paisagem urbana, enquanto as retenções são reservatórios com lâmina de água utilizados não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também para qualidade da água.

Em suma, para Rodrigues, Rodrigues e Rodrigues (2022), a macrodrenagem desempenha um papel importante no gerenciamento de águas pluviais e fluviais em áreas urbanas e rurais. Contribuindo para a segurança da população, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável dos espaços urbanos. No entanto, requer planejamento cuidadoso, investimentos significativos e manutenção constante para atingir a eficácia prevista em projeto.

A urbanização e os impactos na drenagem urbana

No Brasil o grande desenvolvimento urbano ocorreu a partir do final dos anos 1960 até o final dos anos 1990, quando o país saiu de 55% de população urbana para 76% (Figura 5). Esta concentração populacional se deu principalmente em grandes metrópoles e junto a isso veio o aumento da frequência das inundações em função da impermeabilização e da canalização. Nos últimos anos, o crescimento da população urbana ocorre principalmente na periferia das metrópoles, ocupando áreas de mananciais com risco de inundação e de escorregamento (TUCCI, 2003).

Figura 5: Taxa de urbanização no Brasil dos anos 1950 até 2010.



Fonte: Alves, 2022.

O crescimento urbano no Brasil tem contribuído de maneira substancial para o aumento da frequência de inundações, da geração de sedimentos e a na degradação da qualidade da água (Figura 6). Esses efeitos se manifestam de forma abrangente em todas as infraestruturas urbanas relacionadas aos recursos hídricos, como abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos sanitários e pluviais. À medida que as cidades se urbanizam surgem problemas como o aumento do escoamento superficial, da produção de resíduos sólidos, da deterioração da qualidade da água e a redução da evapotranspiração (TUCCI, 1997).

Figura 6: Consequências da urbanização.



Fonte: Sodré, 2012.

Ao longo de muito tempo esses problemas relacionados a drenagem dos centros urbanos foram tratados sem a devida importância no contexto do parcelamento do solo para usos urbanos, isso tanto no Brasil como também em outros países do mundo. Na maioria das grandes metrópoles, o desenvolvimento das áreas urbanizadas se deu de maneira acelerada e somente em algumas, a drenagem urbana foi considerada um fator preponderante no planejamento da sua expansão (CANHOLI, 2015).

Segundo Canholi (2015), a urbanização caótica e o mal uso do solo originam a diminuição da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios e estes, irão precisar de outros locais para ocupar. No decorrer da história, estudos na área da drenagem apontaram como solução para o problema de perda de infiltração, conduzir as águas por meio de canalizações gerando aumento da velocidade do escoamento, o que irá prejudicar o local de deságue, de acordo com Canholi (2015, P. 22),

A aceleração dos escoamentos teve como efeito transferir para jusante o problema de redução de espaços naturais. Quanto menor o tempo de concentração, maior o pico de vazão a jusante. Isso, com frequência traz inundações em áreas que anteriormente não sofriam tais problemas, visto

que a ocupação urbana nos vales se desenvolve no sentido de jusante para montante.

Esse ponto da transferência em velocidade de escoamento para jusante também é tratado por outros diversos autores renomados no meio, um deles é Tucci (2003), onde cita que o conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível foi deixado em segundo plano nos países desenvolvidos no início da década de 1970. A consequência imediata dos projetos baseados neste conceito é o aumento das inundações a jusante devido à canalização.

A explicação para essa problemática é que a medida em que a precipitação ocorre, e a água não é infiltrada, este aumento de volume, da ordem de seis vezes, escoam pelos condutos. Além disso, para transportar todo esse volume, é necessário ampliar a capacidade de condutos e canais ao longo de todo o seu trajeto dentro da cidade até um local onde o seu efeito de ampliação não possa atingir a população (TUCCI, 2003).

Para isso, é necessário realizar uma análise que aborde as soluções para esses problemas de maneira multidisciplinar e pragmática, considerando o grande impacto social associado a eles. É necessária a realização de estudos de planejamento global de drenagem urbana, por meio dos planos diretores de drenagem, em que todos os aspectos voltados às obras de infraestrutura e de planejamento urbano sejam analisados de forma integrada, assim aumentando as possibilidades de atingir a eficácia elaborada em projeto (CANHOLI, 2015).

Importância da drenagem urbana

Segundo Rodrigues, Rodrigues e Rodrigues (2022), a drenagem urbana desempenha várias funções de suma importância na gestão sustentável das cidades. Algumas dessas funções que podem ser citadas são as ajudas referentes a prevenção de inundações e erosão do solo. A captação e condução realizada de maneira eficiente das águas pluviais das áreas urbanas são essenciais para proteger a infraestrutura urbana, como vias, edificações e sistemas de saneamento básico. Quando uma cidade possui um sistema bem planejado sana inúmeros problemas nocivos à população, impactando positivamente na saúde pública.

Além disso, a drenagem urbana desempenha um papel crucial na preservação da qualidade dos recursos hídricos. Ela ajuda a evitar a contaminação

de rios e lagos com substâncias transportadas pela água da chuva, como substâncias químicas e resíduos sólidos. Isso não apenas beneficia o meio ambiente, mas também garante que as águas dos mananciais em potencial para o consumo humano sejam mais limpas e seguras. Portanto, investir na construção e manutenção de sistemas de drenagem urbana não só melhora a qualidade de vida nas cidades, mas também contribui para a proteção do meio ambiente (RODRIGUES; RODRIGUES; RODRIGUES, 2022).

De acordo com Caldeira e Lima (2020), as cheias, os alagamentos, as inundações, os deslizamentos e a degradação dos rios e lagos são decorrentes dos efeitos negativos das chuvas e são nesses pontos que se torna notória a importância de um bom sistema de manejo de águas pluviais urbanas. Uma boa drenagem acarreta em diversos benefícios, como valorização das áreas circunvizinhas as benfeitorias, redução da degradação de vias públicas, melhoria da saúde pública, garantia de fluxo contínuo de veículos e pedestres mesmo em eventos extremos e redução da poluição dos corpos hídricos receptores.

É necessário que seja realizado periodicamente um trabalho de manutenção da rede de drenagem, e juntamente a isso seja praticado campanhas de conscientização junto a sociedade, esse processo ajudará a prevenir alagamentos. Dessa maneira, um sistema de drenagem urbana de águas pluviais, possibilitará uma significativa redução nos impactos negativos tanto à população quanto ao meio ambiente, proporcionando uma melhor qualidade de vida para a população (SATIRO et al, 2019).

O reconhecimento da importância da drenagem precede qualquer abordagem paliativa, geralmente adotada. Não há como buscar eficiência em um punhado de obras desconectadas ou inadequadamente interligadas, realizadas com objetivos meramente corretivos em situações emergenciais. Não há como estabelecer uma infraestrutura de qualidade e aplicar uma boa manutenção para o que não é considerado importante pelos órgãos governamentais (POMPÊO, 2000).

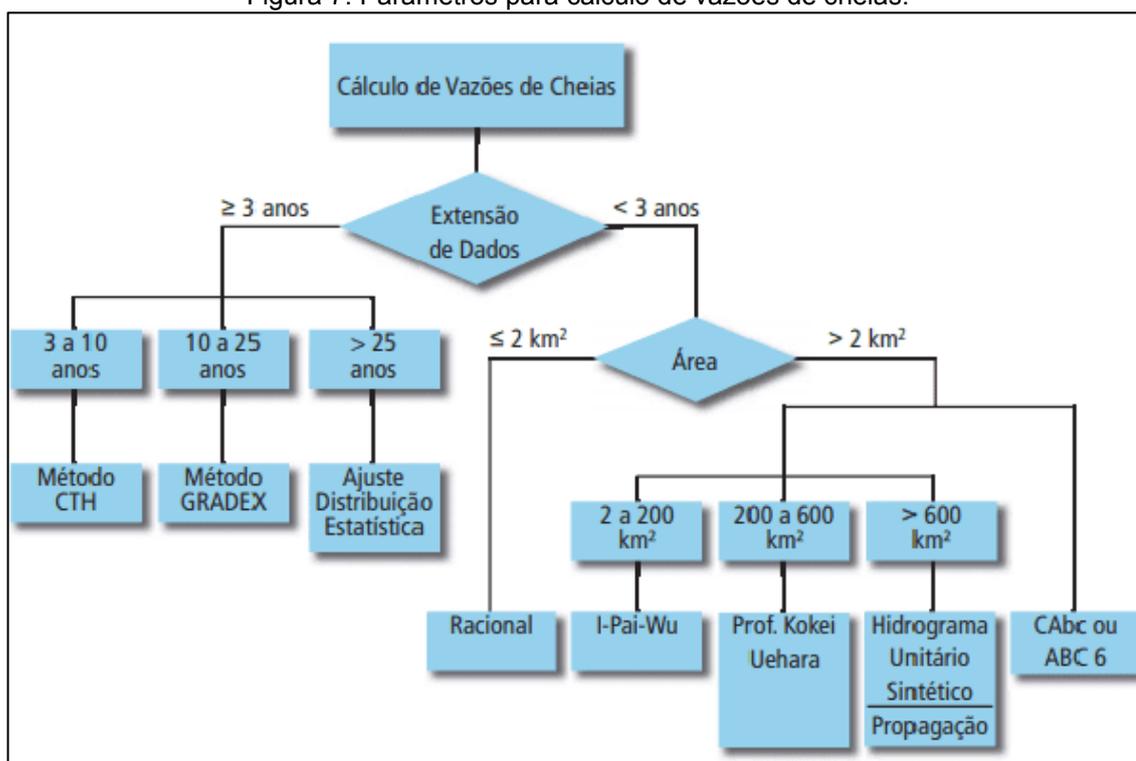
Em suma, para Caldeira e Lima (2020), em decorrência de sua importância a drenagem deve se fazer presente em todas as áreas urbanas, através de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das redes, tudo isso adequado à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado. É importante destacar que para uma boa eficiência do sistema de

drenagem, além de boa organização estrutural urbana é preciso atentar-se para o planejamento, execução e manutenção do projeto.

Dimensionamento de sistemas de drenagem urbana

O dimensionamento de um sistema de drenagem urbana é um processo crucial para garantir a eficiência na gestão de águas pluviais em áreas urbanas. Para alcançar esse objetivo, várias características devem ser consideradas. Primeiramente, a área (Figura 7), que impacta diretamente no montante de água captado em caso incidência de precipitação, que por conseguinte, interfere nas vazões de pico apresentadas na bacia, e sua topografia a qual desempenha um papel fundamental, pois influencia o fluxo das águas pluviais (TEXEIRA et al, 2020).

Figura 7: Parâmetros para cálculo de vazões de cheias.



Fonte: Josa, 2020.

Em conformidade com Bohnenberger (2019), outro aspecto importante é a capacidade de vazão dos sistemas de drenagem, que deve ser dimensionado de acordo com as características de precipitação da região. A análise de eventos de chuva históricos é essencial para determinar os níveis de precipitação máxima esperada. Além disso, é fundamental considerar a capacidade de retenção de água,

por meio de bacias de retenção ou infiltração, para reduzir o volume de água que entra no sistema de drenagem. O dimensionamento adequado do sistema é um fator preponderante para garantir uma drenagem urbana eficaz e sustentável.

A densidade populacional e a área urbanizada são pontos relevantes, pois quanto maior a concentração de pessoas e construções, maior a impermeabilização do solo, o que pode levar a enchentes, inundações ou alagamentos se não houver uma infraestrutura de drenagem eficiente. A capacidade das redes de coleta e escoamento de água devem ser dimensionadas de acordo com o nível de uso e ocupação do solo da bacia, assim estimando mais fielmente a vazão de pico de escoamento superficial (BOHNENBERGER, 2019).

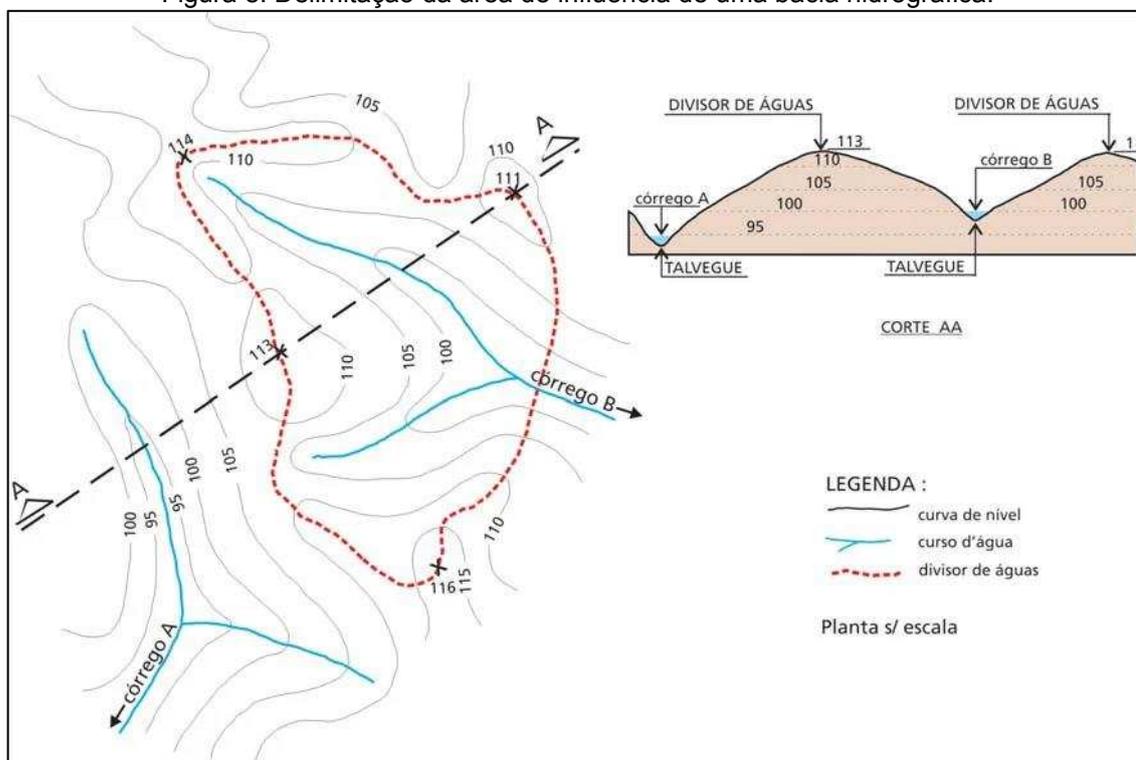
Segundo Pereira (2023), para desenvolver um plano de drenagem de águas pluviais, é essencial possuir um entendimento abrangente de todos os fatores hidrológicos relevantes e reconhecer a significativa influência das características geográficas e geológicas nas bacias hidrográficas. Estas informações são cruciais para compreender como os cursos d'água se comportam em relação às propriedades do solo e à vegetação que cobre essas bacias.

Em suma, entender o funcionamento das vazões máximas pode facilitar a tomada de decisões mais efetivas referentes a prevenção de inundações, sejam elas de natureza estrutural ou não. Isso ocorre porque fornece informações capitais para o planejamento e dimensionamento de obras relacionadas à gestão de recursos hídricos. Na macrodrenagem predomina o longo prazo, que consiste na obtenção de valores de vazões máximas com base em tratamento e análise probabilística de séries históricas (PEREIRA, 2023).

Caracterização de uma bacia hidrográfica

A caracterização fisiográfica de uma bacia hidrográfica (Figura 8) envolve a análise das características geográficas, topográficas e morfológicas da região que compõe a bacia. O relevo desempenha uma função importante na distribuição das águas, delimita as divisões de água em cursos d'água principais e secundários. Também é importante considerar aspectos climáticos, como precipitação e temperatura, que afetam o regime de escoamento. A vegetação e o uso do solo desempenham um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico (Bohnenberger, 2019).

Figura 8: Delimitação da área de influência de uma bacia hidrográfica.



Fonte: DAEE, 2022.

A caracterização fisiográfica é essencial para compreender a dinâmica da bacia. Segundo Tucci (2004), os dados fisiográficos são informações que podem ser adquiridas a partir de mapas, fotografias aéreas e imagens captadas por satélites. Assim, os elementos fundamentais que são analisados em pesquisas hidrológicas para caracterizar uma área são: zona de influência, localização do curso d'água principal, declividade do terreno, formato da bacia hidrográfica ou quão compacta ela é, e também o padrão de escoamento de água.

Equação de chuva e tempo de concentração

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é um parâmetro importante na hidrologia, representando o intervalo de tempo que a precipitação incide sobre uma bacia e escoar até seu exutório. Ele é influenciado por diversos fatores, incluindo a topografia da bacia, a permeabilidade do solo, a vegetação, e a intensidade da chuva, influenciando diretamente a resposta hidrológica da bacia. Um tempo de concentração curto indica que a água escoará rapidamente, aumentando o

risco de enchentes, enquanto um tempo longo implica em uma drenagem mais gradual (MOTA, 2012).

Na Equação (1) retrata uma equação de chuva, que para uma bacia é uma ferramenta essencial que estima intensidade de eventos pluviométricos máximos. Ela leva em consideração parâmetros como índices pluviométricos de uma dada região a fim de prever o escoamento, pela rede de drenagem da bacia, resultante das chuvas. O uso dessa equação possibilita que sejam tomadas decisões cirúrgicas acerca do planejamento de projetos de infraestrutura, contribuindo para uma gestão segura das bacias (MENDES; RÊGO, 2021).

$$i = \frac{k \cdot T_r^m}{(t_c + t_0)^n} \quad (1)$$

Em que,

i = intensidade de chuva (mm/h);

T_r = período de retorno (anos);

t_c = tempo de concentração (min);

k, m e n = são parâmetros empíricos da equação, que variam conforme os dados e também conforme a região de onde os dados são obtidos.

De acordo com Pereira (2023), a equação de chuva é estabelecida pela análise de frequência de chuvas intensas registradas em estações pluviométricas a partir da observação das precipitações ao longo de um período de tempo considerável, sendo mais representativa para a região onde foram coletados os dados. O intuito maior da aplicação dessa equação é estimar possíveis precipitações extremas em determinada localidade, associada a uma frequência de ocorrência e um tempo de duração, no qual as estimativas desses eventos sejam confiáveis a ponto de garantir seu uso para dimensionamento de sistemas eficazes.

Já no que se refere ao tempo de concentração, Savoldi Neto (2022), considera um fator importante para determinar o comportamento da bacia, representando o intervalo necessário para que a água percorra a extensão total da bacia, desde o ponto mais remoto até o ponto de exultório, ou, também pode ser descrito como o período de resposta da bacia a um evento específico de precipitação. A precisão na determinação desse valor é vital para qualquer pesquisa

hidrológica, sendo, portanto, fundamental para um planejamento mais eficiente no contexto dos estudos hidrográficos de uma bacia específica.

Vazão de escoamento pelo método racional

Segundo Kirchner (2019), o método racional é uma abordagem amplamente utilizada para calcular o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica. Ele se baseia na premissa de que a taxa de escoamento é diretamente proporcional à intensidade da chuva e à área impermeável da bacia. O método expresso pela Equação (2) considera fatores como a precipitação, a capacidade de retenção do solo e a área de drenagem da bacia. Embora ele simplifique algumas condições da realidade, como a variabilidade espacial da chuva, o método fornece uma estimativa útil para bacias com áreas relativamente pequenas.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad (2)$$

Em que,

Q = vazão de escoamento (m^3/s);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

i = intensidade de chuva (mm/h);

A = área de contribuição da bacia hidrográfica (km^2).

A ideia principal do método indica que, em uma área que está sob a influência de uma precipitação constante e uniformemente distribuída, ocorre o estabelecimento de um estado constante com a vazão de pico na seção de controle por um período equivalente ao tempo de concentração da bacia. Como a média da intensidade máxima da chuva reduz à medida que sua duração aumenta, o maior fluxo corresponde a uma chuva que dura exatamente o mesmo tempo que o tempo de concentração (Franco, 2004).

Segundo Franco (2004), o método racional é, indiscutivelmente, o mais utilizado na aplicação prática para calcular as vazões máximas em pequenas bacias hidrográficas. A ampla adoção deste método deve-se à sua simplicidade e aos seus resultados, que tendem a ser representativos, desde que os critérios de utilização sejam devidamente seguidos.

Seção hidráulica do canal pela equação de Manning

Segundo Braga, Menezes Filho e Freire (2017), a equação de Manning é uma ferramenta importante na hidrologia utilizada para calcular a seção hidráulica de uma bacia hidrográfica. Desenvolvida por Robert Manning, ela relaciona a vazão da água em um canal com a rugosidade do leito, o gradiente da superfície e a área molhada da seção transversal. A método de Manning é expresso conforme a Equação (3) e é amplamente utilizado em estudos da engenharia para projetar canais, calcular vazões de enchentes e modelar o comportamento dos rios e córregos em diversas aplicações.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (3)$$

Em que,

Q = vazão de escoamento (m³/s);

n = coeficiente de rugosidade (adimensional);

A = área molhada (m²);

$R_h = \frac{A_{molhada}}{P_{molhado}}$ = raio hidráulico (m);

I = declividade do canal (m/m).

O dimensionamento da seção transversal de um canal envolve a especificação da forma e das suas dimensões, uma vez definidos a vazão (Q) e a inclinação do fundo (i). Levando em consideração a fórmula de Manning, que é amplamente empregada nesse contexto, a área molhada e o raio hidráulico são expressos como funções da profundidade (y) e da configuração da seção transversal do canal, enquanto o coeficiente de rugosidade (n) é determinado pela superfície de escoamento e pode ser obtido diretamente por meio de tabelas disponíveis na literatura, aplicáveis tanto a canais naturais quanto artificiais (BRAGA; FILHO; FREIRE, 2017).

Segundo Sefione (2002), a equação empírica formulada pelo engenheiro francês Robert Manning no ano de 1889 foi idealizada inicialmente para canais

artificiais sob condições ideais, como trechos retilíneos, seção constante, declividade acentuada, fundo uniforme. A utilização do coeficiente de Manning para canais naturais acarreta em uma certa simplificação relacionada as condições reais, assim sendo preciso bastante cautela e análise quanto a sua aplicação.

MEMORIAL DESCRITIVO

PROJETO DE UM CANAL DE MACRODRENAGEM DA CIDADE DE IPUEIRA-RN

Proprietário:

Prefeitura municipal de Ipueira-RN

Autor e Responsável Técnico:

Felipe Rodrigues de Medeiros

Engenheiro(a) Civil – Matrícula 919110172

Ipueira, Rio Grande do Norte

Novembro, 2023.

1. Objetivo e localização

1.1. Objetivo

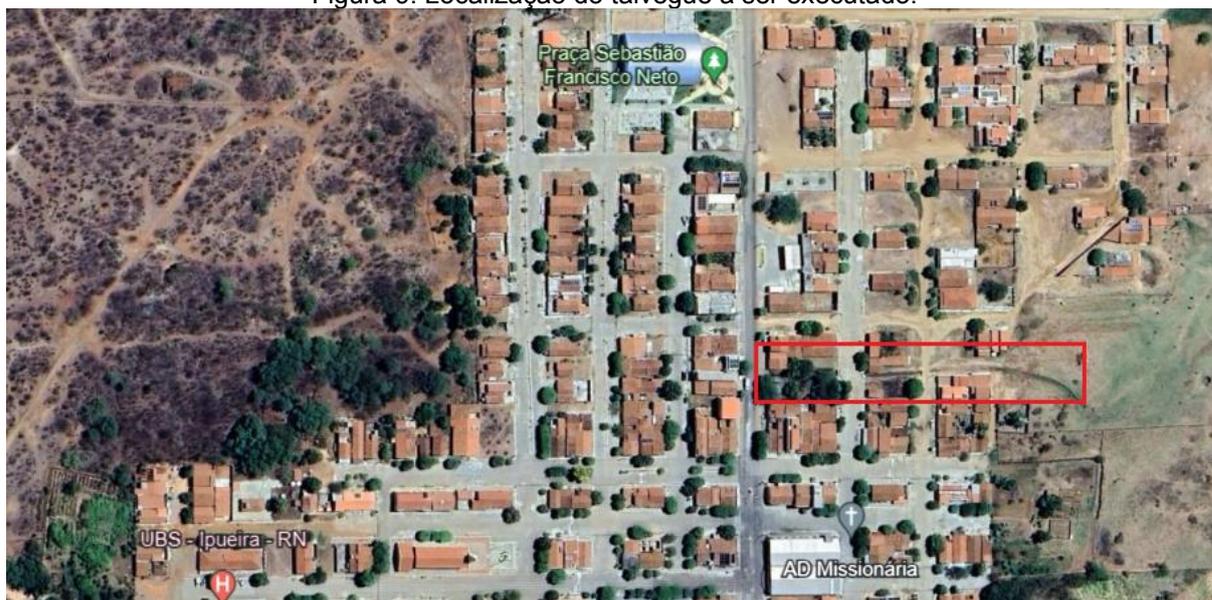
Este documento possui como objetivo o cumprimento das exigências técnicas para elaboração de um projeto de macrodrenagem urbana, apresentando informações importantes sobre detalhes, especificações, cálculos de dimensionamento e quantitativos de acordo com as normas vigentes. No caso da drenagem urbana não há entre todas as normas da ABNT uma que crie padrões para projetos de drenagem urbana. No entanto, para este projeto foi utilizado outras literaturas, como legislações municipais e estaduais.

Apesar da ausência de normas técnicas para esse tipo de obra, tanto na esfera federal quanto na municipal, a solução encontrada foi recorrer às normas regentes da cidade de Natal-RN, capital do estado. Para tanto, foi seguido os dados que constam no Plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais da cidade de Natal homologado em outubro de 2009, tendo como responsável técnica a empresa Engenharia e Consultoria LTDA.

1.2. Localização

O projeto objeto deste documento trata-se de uma obra de drenagem urbana, mais especificamente um sistema de macrodrenagem, sendo ela um projeto de revestimento para um talvegue que se encontra em uma pequena bacia hidrográfica presente na malha urbana do município de Ipueira localizada na região do Seridó do estado do Rio Grande do Norte. O talvegue a ser construído tem início na avenida Fundador Francisco Quinino de Medeiros seguindo seu curso d'água pela cidade em direção ao oeste com término nas proximidades da rua Ana Marina. A disposição do trecho, perante a cidade, está representada na Figura 9.

Figura 9: Localização do talvegue a ser executado.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2023.

1.3. Descrição da obra

A obra em questão refere-se à construção de um canal artificial de macrodrenagem, que possui como intuito conduzir, de maneira segura, o escoamento das águas precipitadas na bacia. A escolha da execução dessa obra se deu devido ao fato que o trecho do canal que não possui revestimento em sua vala é um problema na da população circunvizinha e ainda sofre agravamento em períodos chuvosos.

A zona de influência da bacia hidrográfica possui um comprimento de 526,54 metros ao longo de toda sua extensão, uma declividade de aproximadamente 3,55%, uma área total de 0,12 km² e um fator de forma que pode ser considerado um, pois não conta com um formato achatado e nem alongado.

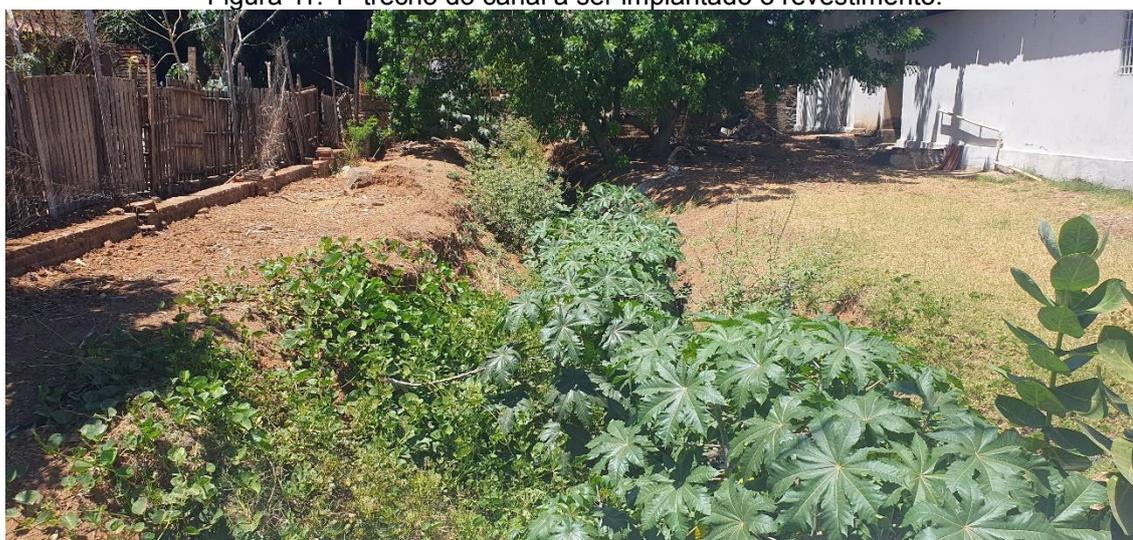
O volume que será conduzida pela obra em questão desembocará em uma planície de inundação que fica situada a aproximadamente 200 metros de distância (Figura 10). Vazão essa que ao percorrer ser curso natural em um momento torna-se afluente do Rio Sabugi, principal curso d'água da Sub-bacia hidrográfica Sabugi que compõe a bacia hidrográfica Piranhas/Açu.

Figura 10: Planície inundada que recebe o volume de água transportado pelo canal.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 11: 1º trecho do canal a ser implantado o revestimento.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 12: 2º trecho do canal a ser implantado o revestimento.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 13: 3º trecho do canal a ser implantado o revestimento.



Fonte: Autor, 2023.

2. Dados de Análise

Para o presente projeto foram feitos vários estudos para que pudesse atingir o melhor resultado. Para o cálculo das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) foram utilizados dados de uma série histórica oriunda de uma pesquisa anterior realizada pelo professor Wesley Santos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). A equação aplicada juntamente com o tempo de concentração encontrado pelo método de Kirpich demonstraram uma boa representatividade com relação as características da bacia estudada.

Quanto ao dimensionamento do escoamento superficial máximo e a seção hidráulica do canal foram escolhidos métodos o mais condizente possível com as características apresentadas na bacia hidrográfica em estudo. Para o estudo referente a vazão de pico foi usado o método racional e para o dimensionamento da seção transversal do canal foi utilizada a equação de Manning, ambas apresentaram resultados proporcionais a realidade.

3. Especificações

Inicialmente deve ser feita a limpeza do local, tendo em vista que atualmente o talvegue funciona em parte sem nenhum revestimento, o que acaba deixando o terreno impróprio para receber a estrutura. Após a limpeza do talvegue e a área em seu entorno deve ser realizado o isolamento do canteiro de obra do terreno que vai ser construído, com isso feito, inicia-se o processo de regularização do curso do canal seja por meio de corte ou aterro.

Para a execução da obra devem ser utilizados seguintes materiais: para o fundo do canal deve ser aplicada uma camada de material granular fino com 20 cm de espessura juntamente com uma camada de 5 cm de espessura de brita; referente a concretagem, deve ser utilizado concreto ciclópico com FCK de 15 Mpa; na drenagem das paredes devem ser utilizados drenos barbacã em tubulações de PVC com 50 mm de diâmetro.

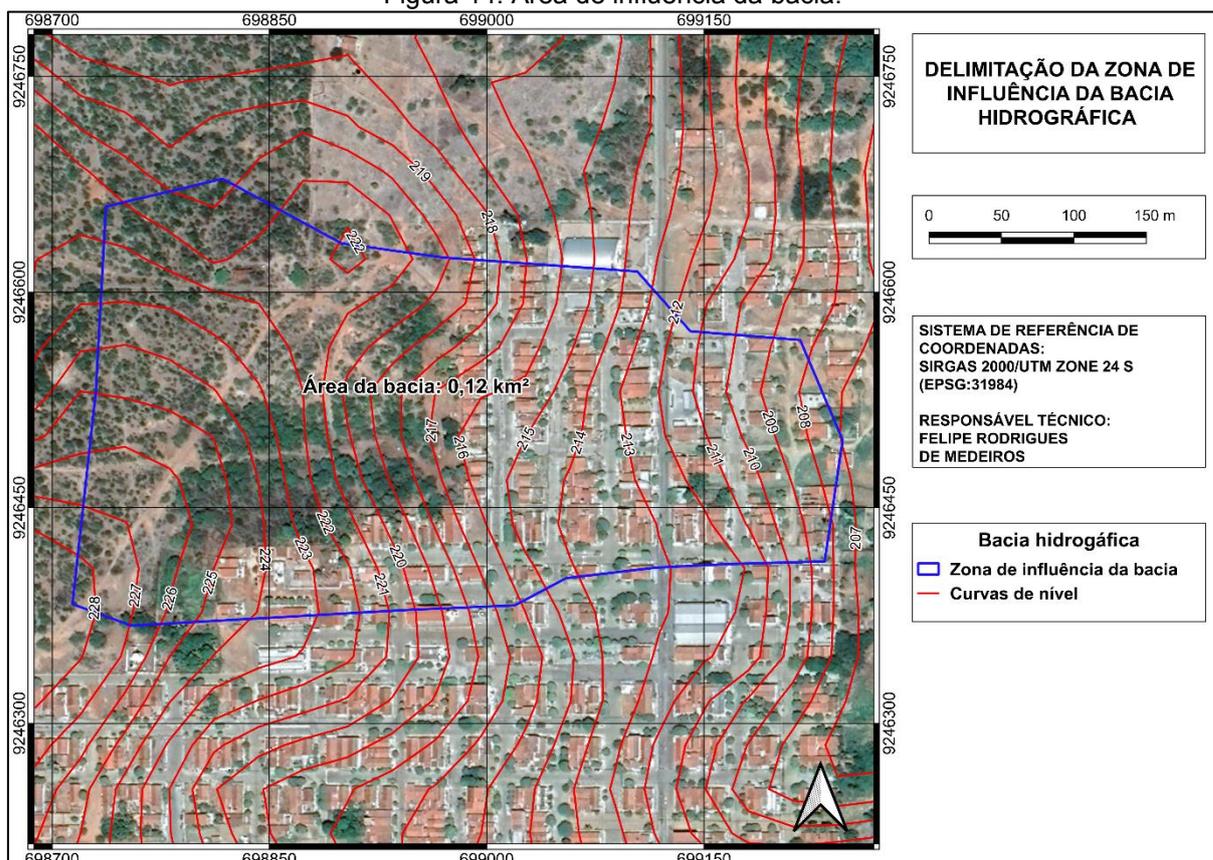
4. Memorial de Cálculo

4.1. Caracterização fisiográfica da bacia

4.1.1. Delimitação da área

A delimitação da área da bacia hidrográfica foi feita com o auxílio do software QGis, onde de acordo com as curvas de níveis da região, que definem os pontos divisores de águas, foi traçada a zona que irá contribuir para o escoamento superficial da bacia até seu exultório. A área da bacia é de aproximadamente 0,12 km², conforme exposto na Figura 14.

Figura 14: Área de influência da bacia.

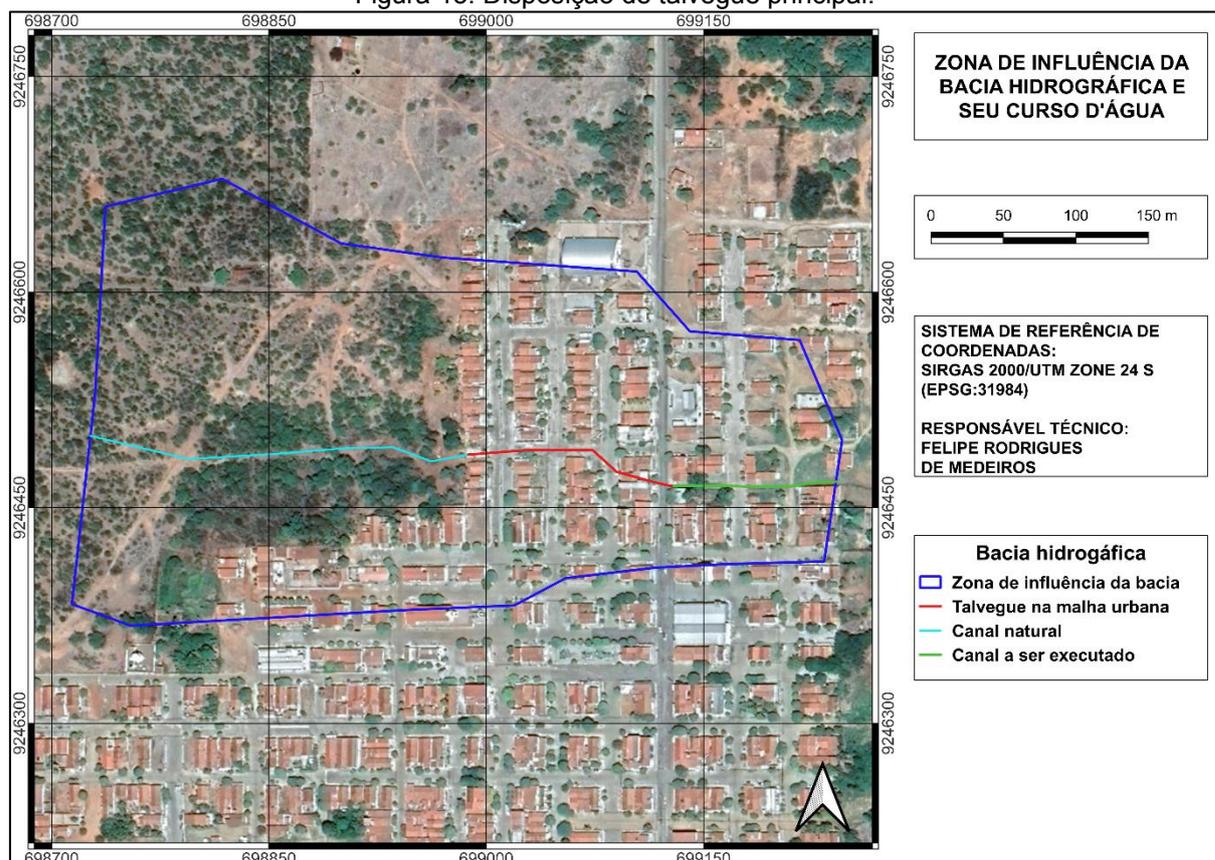


Fonte: Autor, 2023.

4.1.2. Identificação do talvegue

A bacia em estudo possui um curso d'água principal com comprimento total de 526,54 metros e tem como característica a montante ter seu curso d'água disperso por ser um canal natural, mas ao se aproximar do exultório o seu talvegue passa a ser mais bem definido, o que implica em uma maior concentração de volume de escoamento nesse trecho. Para tanto foi realizada essa identificação conforme mostra a Figura 15.

Figura 15: Disposição de talvegue principal.



Fonte: Autor, 2023.

4.1.3. Declividade da bacia

A declividade da bacia foi obtida por meio da Equação (4), onde ocorre a divisão da diferença de altitude entre sua cota mais alta a montante (226,16 metros) e sua cota de exultório (207,46 metros) pelo comprimento da bacia hidrográfica (526,54 metros). O valor obtido para a declividade foi de aproximadamente 3,55%. Na Figura 16 e na Figura 17 são exibidos os perfis longitudinais do curso d'água principal obtidos através do Software QGis.

$$I = \frac{\Delta h}{L} \quad (4)$$

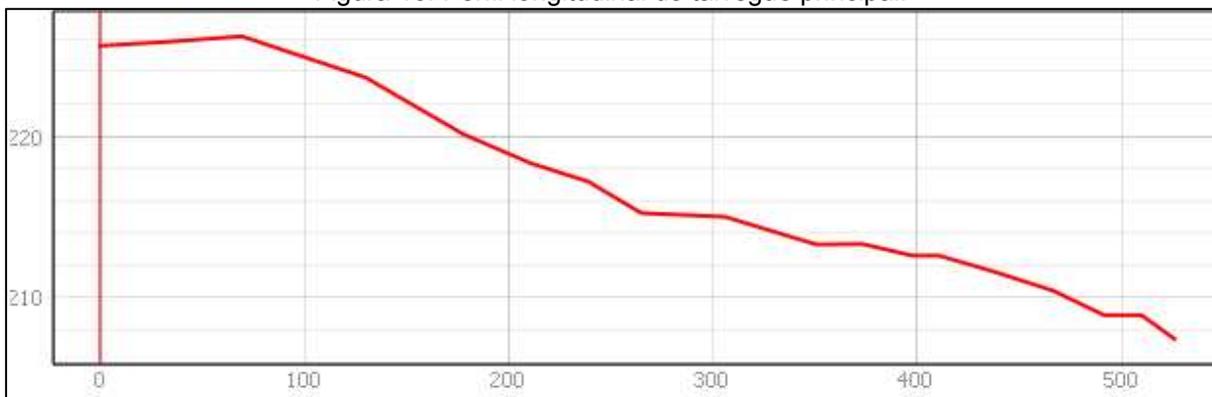
Em que,

I = Declividade (m/m);

Δh = desnível da bacia hidrográfica (m);

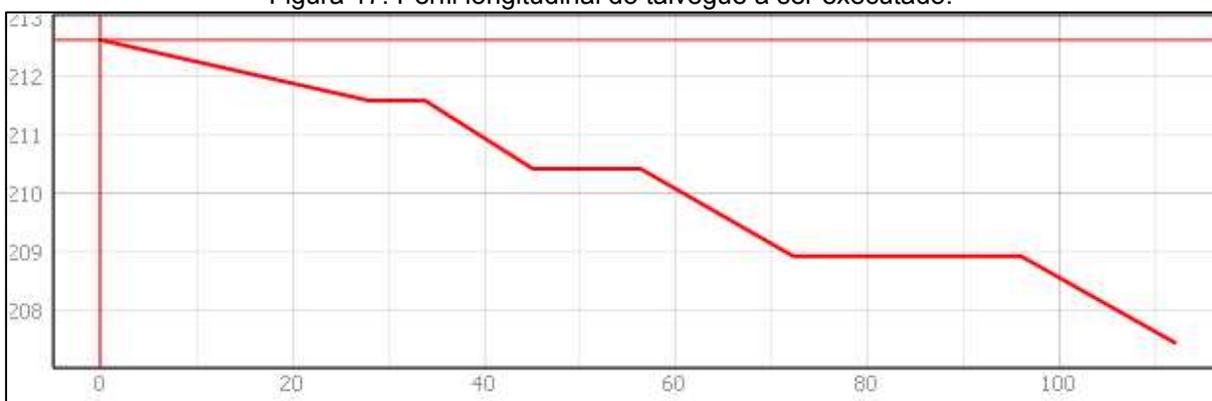
L = comprimento da bacia hidrográfica (m).

Figura 16: Perfil longitudinal do talvegue principal.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 17: Perfil longitudinal do talvegue a ser executado.



Fonte: Autor, 2023.

4.1.4. Uso e ocupação do solo

De acordo com os tipos de solos observados na bacia hidrográfica foram identificados apenas dois tipos (Figura 18), sendo um não urbanizado com presença de vegetação e outro urbanizado possuindo casas e ruas pavimentadas. A divisão da cobertura do solo se deu baseada em imagem de satélite e com uso da ferramenta QGis, para tanto, obteve-se 48,68% de solo urbanizado com coeficiente de deflúvio de 0,60 e 51,32% de solo não urbanizado com coeficiente de deflúvio de 0,20. A classificação do solo foi feita conforme a Tabela 1 retirada do manual de drenagem de Natal-RN, o qual serve como base legal para este projeto.

Para efeito de definição do coeficiente de Runoff foi usada a Equação (5) para ponderar os coeficientes de acordo com áreas que ocupam do solo da bacia, com isso, foi encontrado um valor para o coeficiente de 0,395.

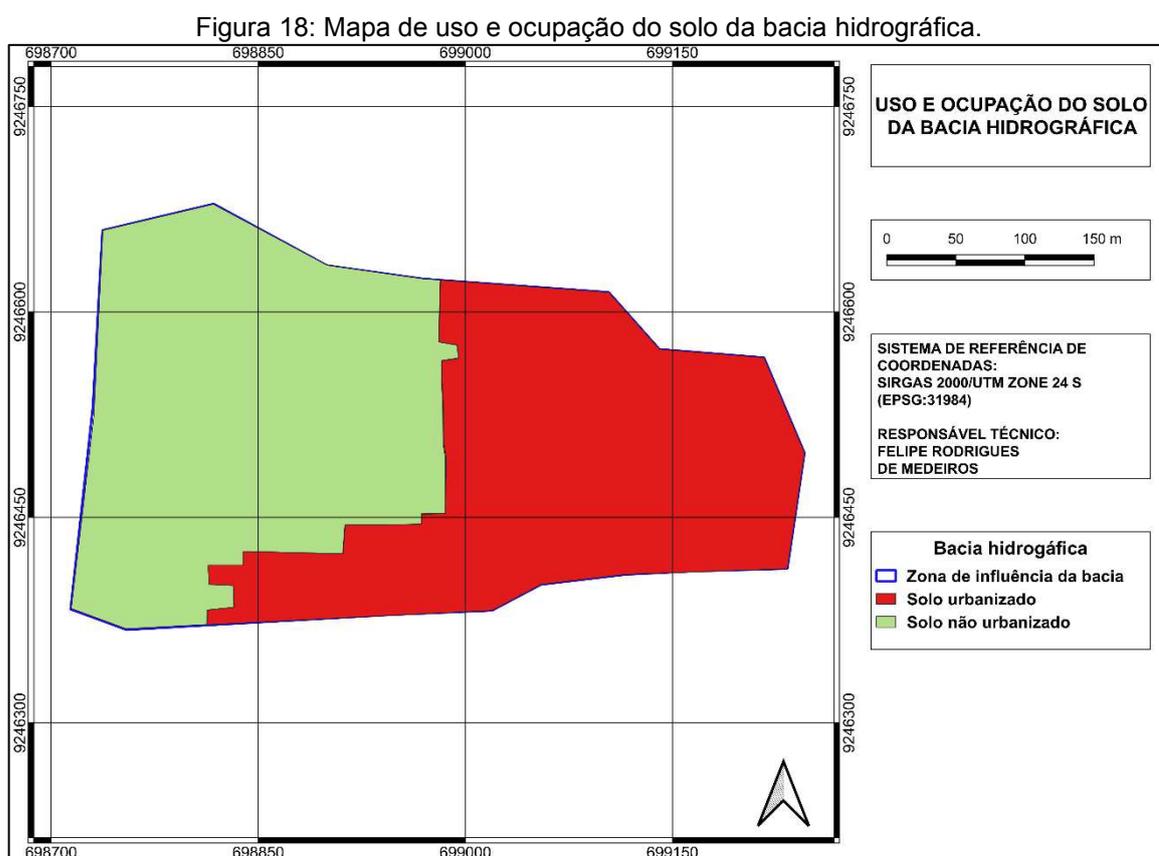
$$C_{pond} = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (5)$$

Em que,

C_{pond} = coeficiente de escoamento superficial ponderado (adimensional);

C_i = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A_i = área (km²).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 1: Valores do Coeficiente de deflúvio de acordo com uso e ocupação do solo.

TIPO DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO	C
Área comercial/edificação muito densa	
Regiões centrais, densamente construídas, cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 – 0,95
Área comercial/edificação não muito densa	
Regiões adjacentes ao centro, de menor densidade ocupacional, com vias e calçadas pavimentadas	0,60 – 0,70
Área residencial	
Residências isoladas, com percentual alto de superfície livre	0,35 – 0,50
Unidades múltiplas (separadas); áreas residenciais com vias macadamizadas ou pavimentadas	0,50 – 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 – 0,75
Lotes com áreas > 2.000 m ²	0,30 – 0,45
Áreas com apartamentos	0,50 – 0,70
Área industrial	
Indústrias leves	0,50 – 0,80
Indústrias pesadas	0,60 – 0,90
Outros tipos de ocupação	
Matas, parques, campos de esporte, áreas rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas e parques ajardinados	0,05 – 0,20
Parques, cemitérios; bairros com pequena densidade de ocupação	0,10 – 0,25
Áreas de <i>playgrounds</i>	0,20 – 0,35
Pátios ferroviários	0,20 – 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 – 0,30

Fonte: Adaptado do Manual de Drenagem de Natal/RN, 2023.

4.2. Dados da bacia hidrográfica

De acordo com a caracterização realizada acima obteve-se algumas informações necessários para o planejamento do projeto de macrodrenagem. Dentre os dados obtidos para a bacia hidrográfica têm-se uma área de 0,12 km², uma declividade de 3,55%, comprimento ao longo da bacia hidrográfica de 526,54 metros e o coeficiente de *Runoff* de 0,395. Em conformidade com a Tabela 2 e a Tabela 3, retiradas do manual de drenagem de Natal/RN, foram adotados um tempo de retorno de 50 anos, por se tratar de uma obra de macrodrenagem, e um coeficiente de rugosidade do canal de 0,024 correspondente ao revestimento do canal em pedra argamassada.

Tabela 2: Períodos de retorno recomendados para obras de drenagem urbana.

SISTEMA	TIPO DE OCUPAÇÃO	TR (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5
	Comercial	2 – 5
	Áreas de prédios públicos	2 – 5
	Aeroporto	5 - 10
	Áreas comerciais e avenidas	5 - 10
		10 - 25
Macro drenagem	Zoneamento de áreas ribeirinhas	10 – 100

Fonte: Adaptado do Manual de Drenagem de Natal/RN, 2023.

Tabela 3: Coeficiente de Manning em função do revestimento do canal.

TIPO DE CANAL	N DE MANNING		
	mínimo	médio	máximo
CONDUTOS PARCIALMENTE CHEIOS			
Galeria reta e livre de detritos	0,01	0,011	0,013
Galeria com curvas, conexões e poucos detritos	0,011	0,013	0,014
Tubo em concreto com poços de visita	0,013	0,015	0,017
Sem acabamento, superfície rugosa	0,015	0,017	0,02
Sem acabamento, superfície alisada	0,012	0,013	0,014
Metal corrugado	0,021	0,024	0,03
Tubos cerâmicos	0,011	0,013	0,017
CANAL A CÉU ABERTO			
Acabamento liso	0,013	0,015	0,016
Sem acabamento	0,014	0,017	0,02
Acabado (margens) com cascalho (liso)	0,015	0,017	0,02
Projetado, seção uniforme	0,016	0,019	0,023
Projetado, seção não uniforme	0,017	0,022	0,025
Pedra argamassada	0,02	0,02	0,024
Pedra argamassada (margens) com fundo em conc. acabado		0,023	0,026

Fonte: Adaptado do Manual de Drenagem de Natal/RN, 2023.

4.3. Tempo de concentração

Para definição do tempo de concentração foram levados em conta alguns fatores importantes, dentre eles está a escolha da equação de Kirpich para a realização do cálculo, para essa tomada de decisão foi levado em consideração a semelhança das suas características com as da bacia objeto de estudo. Foi obtido um tempo de concentração de 8,80 minutos de acordo com a Equação (6).

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0.385} \quad (6)$$

Em que,

T_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do curso d'água principal (km);

Δh = desnível da bacia hidrográfica (m).

4.4. Equação de chuva

Para se obter à equação IDF da cidade de Ipueira-RN foi utilizada a série histórica de 64 anos disponibilizada pelo professor Wesley de Oliveira Santos da UFERSA extraída junto a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). A metodologia empregada para tratar os dados foi o método da Distribuição de Gumbel. Na Equação (7) mostra o produto obtido.

$$i = \frac{873,01 \cdot Tr^{0,174}}{(tc + 12,94)^{0,782}} \quad (7)$$

Em que,

i = intensidade de chuva (mm/h);

Tr = período de retorno (anos);

tc = tempo de concentração (min).

Consonante a Equação (7), chegou-se a uma intensidade de chuva de 155,2 mm/h.

4.5. Estimativa da vazão de pico

Para definição do volume de escoamento superficial em eventos extremos adotou-se o método racional para efetuar essa estimativa, optou-se por esse método devido ao fato dele ser simples e ideal para bacias com área inferior a 2 km² e com tempos de concentração reduzidos, características essas que são semelhantes às

da bacia em questão. Para vazão de pico foi utilizada a Equação (2), conforme exposto a seguir, e obteve-se um valor de 2,042 m³/s.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$$

$$Q = \frac{0,395 \cdot 155,2 \cdot 0,12}{3,6}$$

$$Q = 2,042 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.6. Dimensionamento da seção hidráulica e estrutural do canal artificial

No dimensionamento da seção hidráulica do canal foi empregada a equação de Manning, onde estima-se dados até o escoamento encontrado se assemelhar o máximo possível à vazão de pico calculada anteriormente. O cálculo é feito em concordância com a Equação (3).

$$Q_{esc} = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$Q_{esc} = \frac{1}{0,024} \cdot 0,78 \cdot 0,193^{2/3} \cdot 0,035^{1/2}$$

$$Q_{esc} = 2,046 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acordo com a Equação (3) obteve-se uma vazão de projeto a qual resulta na necessidade de construção de um canal com as seguintes dimensões: 1,5 metros de largura e 0,52 metros de altura para atender a lâmina d'água (Tabela 4), entretanto é preciso considerar um valor de borda livre para que não ocorra transbordamento do canal. Para isso o Departamento e Águas e Energia Elétrica (DAEE) recomenda acrescer o maior valor entre 20% da altura da lâmina d'água e 40 cm (Tabela 5), assim totalizando uma seção de 1,5 metros de largura por 0,92 metros de altura.

Tabela 4: Cálculo para estimar as dimensões hidráulica do canal.

Variáveis	Valores
Base para cálculo	1,500
Altura para cálculo	0,520

Continua

Variáveis	Conclusão
	Valores
Rugosidade para cálculo	0,024
Declividade para cálculo	3,55%
Área molhada ($b x h$)	0,780
Perímetro molhado (<i>Soma dos lados</i>)	4,040
Raio hidráulico ($A_{molhada}/P_{molhado}$)	0,193
Vazão suportada (Q)	2,046
Velocidade (V)	2,622

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5: Valores de borda livre recomendados pelo DAEE para obras hidráulicas.

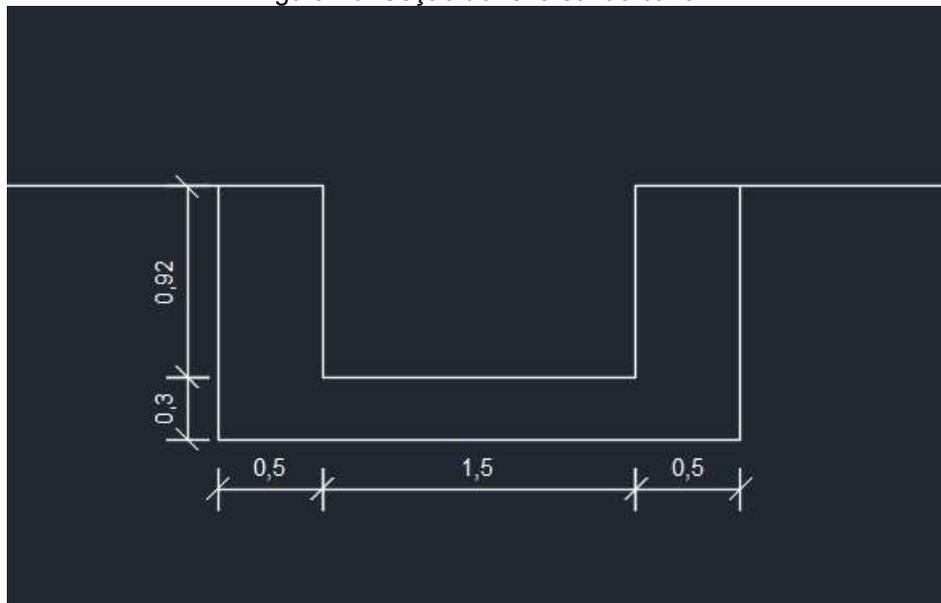
FREEBOARD		
Distância vertical da lâmina d'água até o topo da seção. Pode ser adotado como 20% da lâmina d'água ou mínimo de 40cm.		
Obra Hidráulica	Tipo / Características	Folga sobre dimensionamento (f)
Canalização	seção aberta	$f \geq 0,20 h_{TR}$
	seção em contorno fechado	$f \geq 0,20 H$
Travessia	aérea (pontes)	$f \geq 0,20 h_{TR}$; com $f \geq 0,4$ m
	intermediária (galerias)	$f \geq 0,20 H$
	bueiro	Previsto para trabalhar em carga
Barramento	qualquer tipo, exceto soleiras submersíveis	$f \geq 0,10 H_M$; com $f \geq 0,5$ m
<p>Onde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "h_{TR}" - profundidade da lâmina d'água correspondente à vazão máxima de projeto, associada a um período de retorno (TR), em conformidade com o estabelecido na Tabela 1 (item 1.1.2); • Canalizações em seção aberta – "f" é o desnível entre a linha d'água correspondente à máxima vazão possível de escoar sem extravasamento e a lâmina d'água correspondente à vazão máxima de projeto; • Canalizações em contorno fechado: "H" é a altura máxima da seção transversal, medida internamente; • Travessias aéreas: "f" é o desnível entre a face inferior da estrutura de sustentação do tabuleiro da ponte e a lâmina d'água correspondente à vazão máxima de projeto; • "H_M" - maior altura do barramento (desnível entre a cota de coroamento do maciço e o talvegue na seção do barramento). 		

Fonte: Adaptado do DAEE, 2023.

No que se diz respeito a parte estrutural, em decorrência da falta de dados geotécnicos relacionados ao solo da região de implantação do canal, serão consideradas algumas informações levantadas a partir de um trecho de canal já existente no local. Através de consultas ao engenheiro responsável foi coletado que a estrutura do canal composta de pedra argamassada possui a parede com 50 cm

de espessura e o piso com 30 cm de espessura, assim foram adotadas as mesmas dimensões para este estudo (Figura 19).

Figura 19: Seção transversal do canal.



Fonte: Autor, 2023.

5. Quantitativos

A gestão eficiente de obras demanda uma análise criteriosa dos quantitativos envolvidos, sendo estes elementos cruciais para o planejamento e execução bem-sucedidos de projetos construtivos. Ao compreender detalhadamente os quantitativos, os gestores podem antecipar desafios, otimizar recursos e assegurar a conformidade com as especificações do projeto. A precisão na estimativa dos quantitativos não apenas impacta a viabilidade econômica da obra, mas também influencia diretamente na qualidade final da construção.

No presente projeto será considerada a construção do canal artificial para a região contida na malha urbana que ainda não possui revestimento no talvegue. Para quantificação dos materiais e serviços necessários para a execução da obra de macrodrenagem, foi levada em consideração toda a extensão do curso d'água sem revestimento, totalizando um comprimento de 102 metros. A Tabela 6 o quantitativo de materiais e seu orçamento associado ao projeto.

Tabela 6: Quantitativos e orçamento do canal a ser executado.

Orçamento para obra de canal de macrodrenagem					
Proprietário: Prefeitura Municipal de Ipueira					
Referencial: SINAPI, data referência técnica: 18/09/2023					
Área total: 255 m²					
Código	Especificação	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Serviços preliminares					
98525	LIMPEZA MECANIZADA DE CAMADA VEGETAL, VEGETAÇÃO E PEQUENAS ÁRVORES (DIÂMETRO DE TRONCO MENOR QUE 0,20 M), COM TRATOR DE ESTEIRAS.AF_05/2018	510	m ²	0,37	188,70
103689	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PLACA DE OBRA COM CHAPA GALVANIZADA E ESTRUTURA DE MADEIRA. AF_03/2022_PS	6	m ²	314,69	1888,14
90091	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. DE 1,5 M A 2,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_02/2021	252	m ³	5,99	1512,18
99059	LOCALIZAÇÃO CONVENCIONAL DE OBRA, UTILIZANDO GABARITO DE TÁBUAS CORRIDAS PONTALETADAS A CADA 2,00M - 2 UTILIZAÇÕES. AF_10/2018	102	m	57,44	5858,88
Execução do talvegue					
102726	DRENO BARBACÃ, DN 50 MM, COM MATERIAL DRENANTE. AF_07/2021	102	uni	26,62	2715,24
102487	CONCRETO CICLÓPICO FCK = 15MPA, 30% PEDRA DE MÃO EM VOLUME REAL, INCLUSIVE LANÇAMENTO. AF_05/2021	187	m ³	556,88	104344,83
93592	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M ³ , EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	275	m ³ /km	2,36	649,00
101620	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MAIOR OU IGUAL A 1,5 M E MENOR QUE 2,5 M, COM CAMADA DE AREIA, LANÇAMENTO MANUAL. AF_08/2020	56	m ³	190,99	10714,54
101621	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MAIOR OU IGUAL A 1,5 M E MENOR QUE 2,5 M, COM CAMADA DE BRITA, LANÇAMENTO MANUAL. AF_08/2020	14	m ³	286,95	4024,47

Continua

Código	Especificação	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Conclusão
					Preço total (R\$)
97086	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FORMA PARA RADIER, PISO DE CONCRCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2021	31	m ²	113,94	3509,35
100341	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA CORTINA DE CONTENÇÃO, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 18 MM, 10 UTILIZAÇÃO S. AF_07/2019	132	m ²	38,12	5031,84
93382	REATERRO MANUAL DE VALAS, COM COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO. AF_08/2023	168	m ³	22,55	3795,17
Total					140437,17

Fonte: Autor, 2023.

Referências bibliográficas

- BOHNENBERGER, José Carlos. Modelagem numérica para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana. 2019.
- BRAGA, P. H. A.; MENEZES FILHO, F. C. M.; FREIRE, G. M. Desenvolvimento de um aplicativo android para a hidráulica de canais. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 2017.
- CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. *Engineering Sciences*, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2020.
- CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de textos, 2015.
- CARVALHO, D. F.; Mello, J. L. P. e Silva, L. D. B. Irrigação e Drenagem. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, (UFRRJ). 2007.
- FERRAZ, C. M. L. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica. *Revista Vozes dos Vales – UFVJM – MG – Brasil – Nº 20*. 2021.
- FRANCO, E. J.; FILL, H. D. Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional. **Universidade Federal do Paraná**, 2004.
- KIRCHNER, A. M. Estudo comparativo utilizando o método Racional e Vem Te Chow para cálculo da vazão de pequenas bacias em perímetro urbano. **Engenharia Civil-Tubarão**, 2019.
- LISBOA, H. M. Princípios de hidrologia. In: César Augusto Pompeo. (Org.). *Gestão de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas*. 01ed. Florianópolis: UFSC, 2005, v. 01, p. 1-146.
- MENDES, I. M. S.; RÊGO, P. M. M. Determinação de equações de chuvas intensas para o estado do Pará com foco nas obras de drenagem rodoviária. 2021.
- MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. Ciclo hidrológico planetário: abordagens e conceitos. **Geo Uerj**, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.
- MOTA, Aline de Almeida. Tempo de concentração em pequena bacia experimental. 2012.
- SALVOLDI NETO, O. et al. Análise sobre o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no município de Florianópolis/SC. 2022.
- AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández. **Manual de hidráulica**. Editora Blucher, 2018.
- PAULA, J. S.; SILVA, J. S.; OLIVEIRA, M. A. F.; Rangel, M. P. EXECUÇÃO DE OBRAS DE DRENAGEM PLUVIAL: PRINCÍPIOS EMPREGADOS NA

CONSTRUÇÃO DE REDES DE DRENAGEM URBANA. Revista Interdisciplinar Pensamento Científico, v. 3, n. 2, 22 dez. 2017.

PEREIRA, D. S. Dimensionamento de canal de macrodrenagem urbana utilizando os modelos de chuva-vazão: SCS e o Santa Bárbara (HUSB). 2023.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

RAMOS, C. L. Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo. Lillian Satiko Murata. Ed, São Paulo: [s.n.], 1999. 285 p.

RODRIGUES, N. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. R. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e54911629652-e54911629652, 2022.

SANTOS, J. M. L. C. Proposta de sistema de microdrenagem urbana para o bairro da maternidade no município de Patos/PB. 2023.

SANTOS, W. O. Máximas intensidades e índices de Erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte. Mossoró. 2015

SATIRO, R. S. et al. DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAIS: CENÁRIO ATUAL DO SISTEMA DA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE E SOCIEDAD, 1; CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2. Anais. 2019.

SEFIONE, A. L. Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. 2002.

SILVA, C. B.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas extremas na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, 2017.

SILVA, F. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Avaliação comparativa de técnicas para o ensino de geografia: uma abordagem a partir do conceito de ciclo hidrológico. **Revista Intersaberes**, v. 14, n. 33, p. 644-644, 2019.

SILVA, J. A. B. D. *et al.* A URBANIZAÇÃO NO MUNDO CONTEMPORÂNEO E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS. **Ciências Humanas e Sociais Unit**, Aracaju, v. 2, n. 2, p. 197-207, out. 2014 2316-3143. Disponível em: periodicos.set.edu.br. Acesso em: 26 jun. 2023.

SOUSA, R. V. B.; ROCHA, P. C. INUNDAÇÕES E CONCEITOS CORRELATOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COMPARATIVA. Cap 10. v 2. p. 250-262. 2016.

TEIXEIRA, G. S. et al. Metodologias para Caracterização e Avaliação de Sistemas de Drenagem urbana: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e197943063-e197943063, 2020.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. Ciência e cultura, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

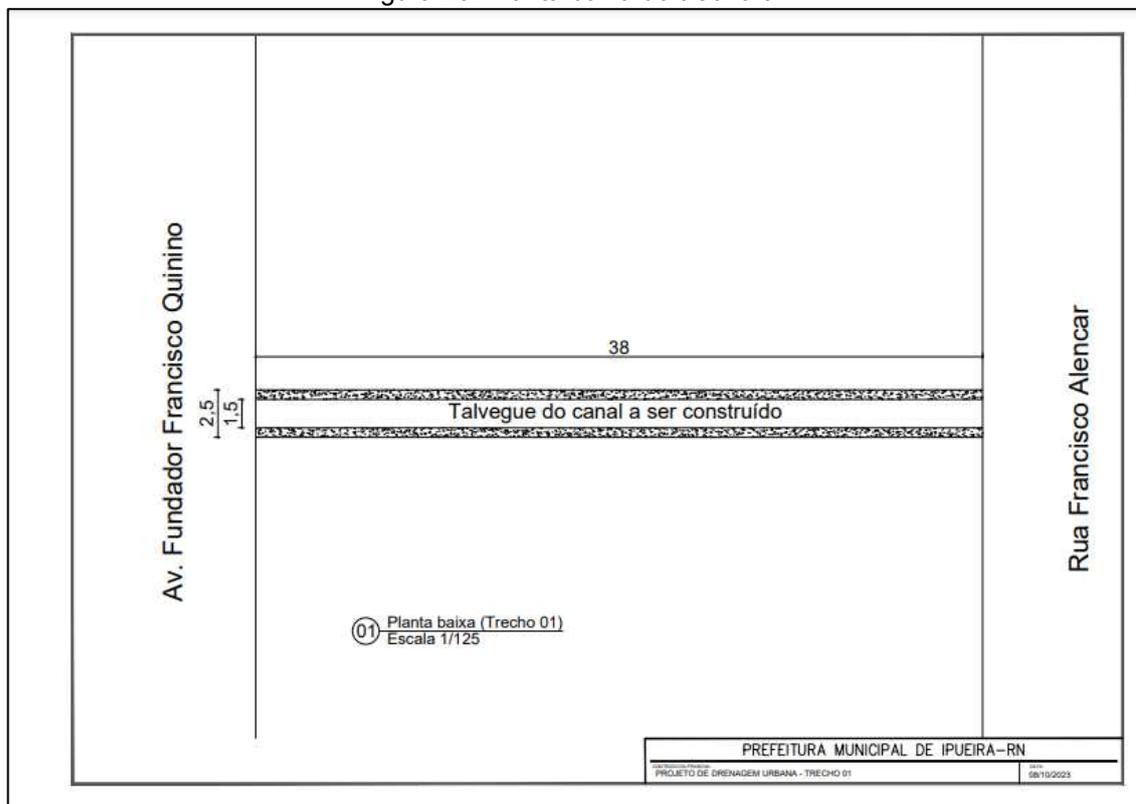
TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. v. 4. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p

TUCCI, C. E. M. et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 4ª edição. **Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH**, 2015.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. V. 2, n. 2 (jul./dez. 1997), p. 5-12, 1997.

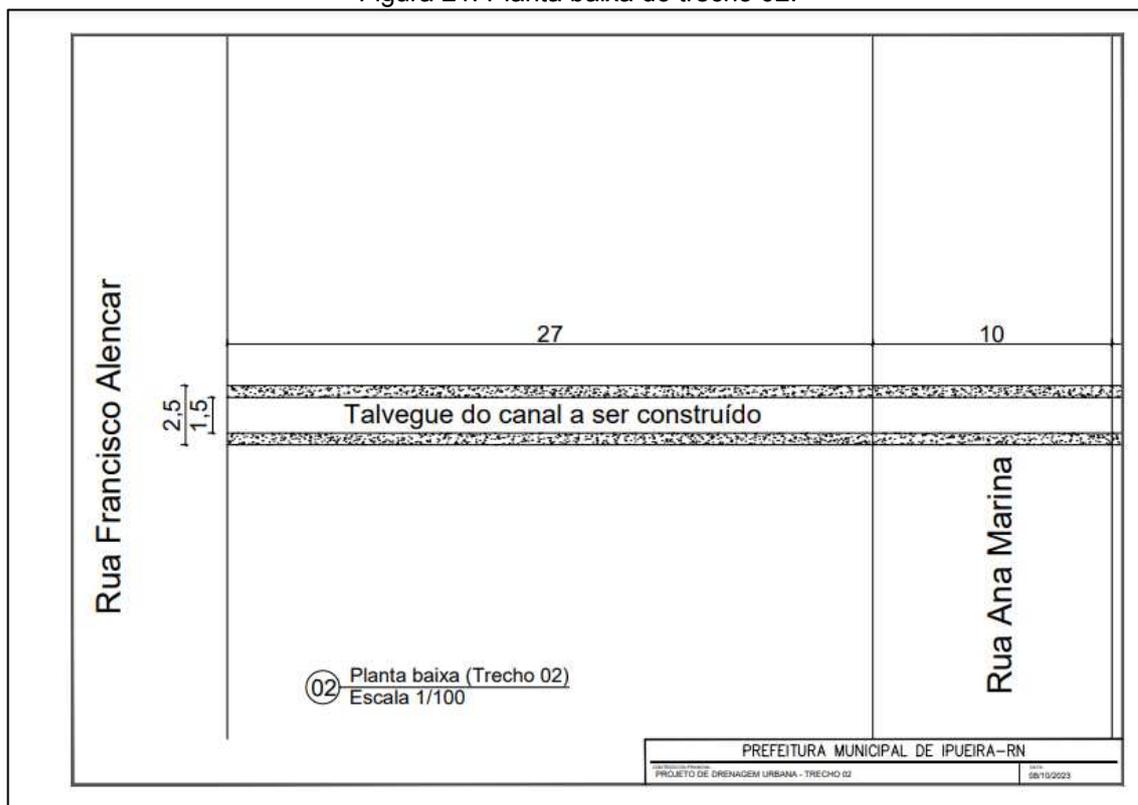
APÊNDICE A – PRANCHAS DO PROJETO DO CANAL ARTIFICIAL DE MACRODRENAGEM

Figura 20: Planta baixa do trecho 01.



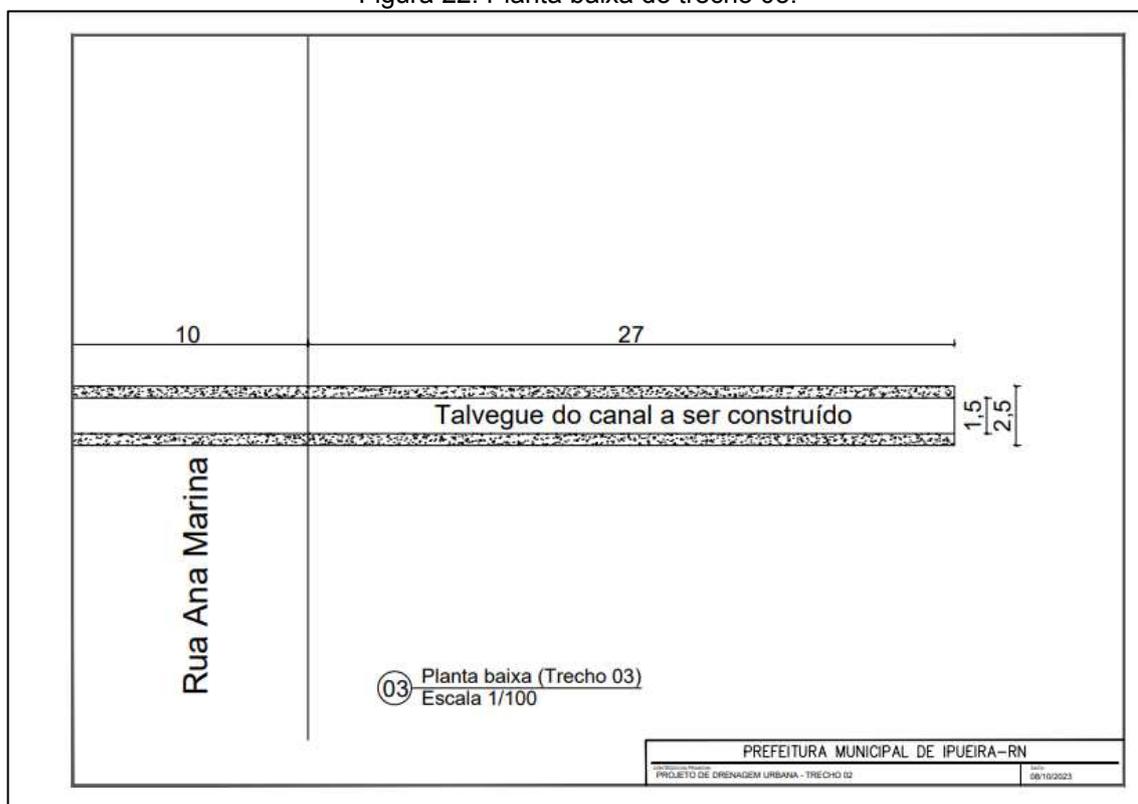
Fonte: Autor, 2023.

Figura 21: Planta baixa do trecho 02.



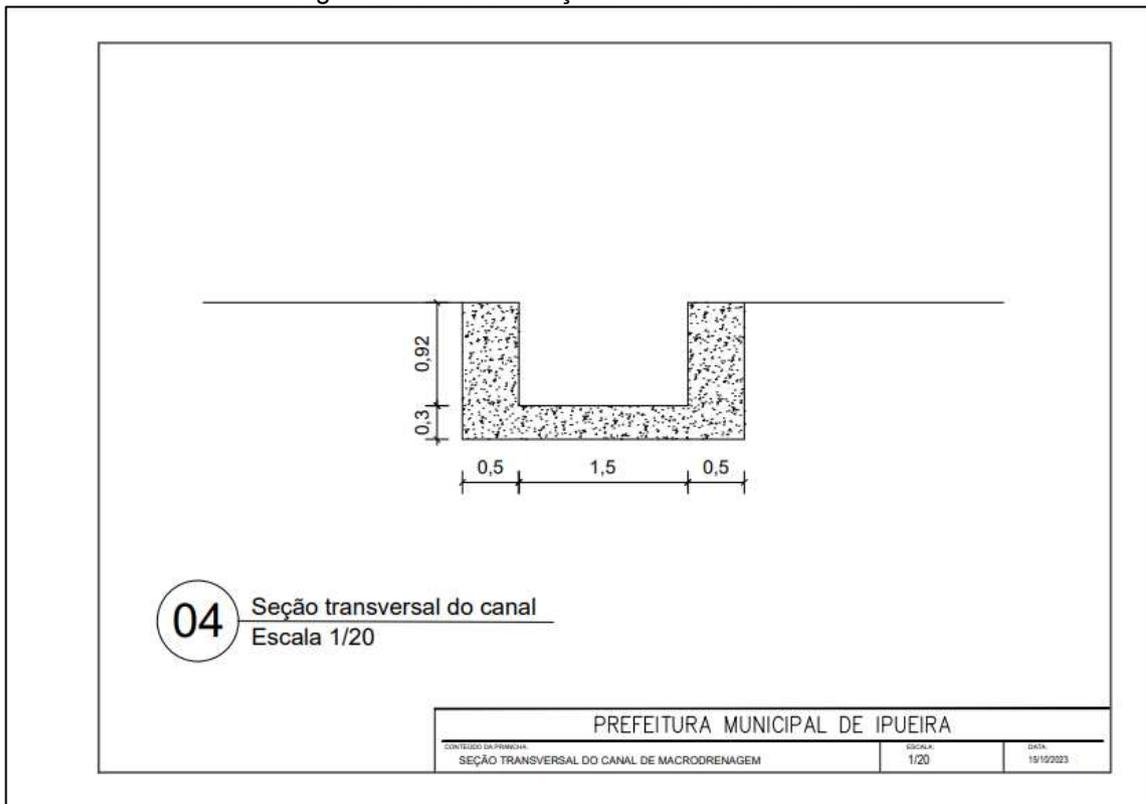
Fonte: Autor, 2023.

Figura 22: Planta baixa do trecho 03.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 23: Corte da seção transversal do canal.



Fonte: Autor, 2023.