



CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Vinícius Lamark Lacerda Santos

ESTUDO HIDROLÓGICO EM SEÇÃO DO CANAL DE MACRODRENAGEM DO
RIACHO DO FRANGO - PATOS/PB

Pombal-PB
2023

Vinícius Lamark Lacerda Santos

ESTUDO HIDROLÓGICO EM SEÇÃO DO CANAL DE MACRODRENAGEM DO
RIACHO DO FRANGO - PATOS/PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande,
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões
de Farias

Pombal-PB
2023

S237e Santos, Vinícius Lamark Lacerda.

Estudo hidrológico em seção do canal de macrodrenagem do Riacho do Frango - Patos/PB / Vinícius Lamark Lacerda Santos. – Pombal, 2023. 121 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: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias”.

Referências.

1. Macrodrenagem. 2. Análise hidrológica. 3. Método SCS. 4. HEC-HMS. 5. Vazão de projeto. 6. Hietograma. 7. Hidrograma. I. Farias, Camilo Allyson Simões de. II. Título.

CDU 626.86 (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.

VINÍCIUS LAMARK LACERDA SANTOS

**ESTUDO HIDROLÓGICO EM SEÇÃO DO CANAL DE MACRODRENAGEM
DO RIACHO DO FRANGO - PATOS/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente VINÍCIUS LAMARK LACERDA
SANTOS **APROVADO** em 01 de dezembro de 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.

CAMILO ALLYSON SIMOES DE FARIAS:03542044407 Digitally signed by CAMILO ALLYSON
SIMOES DE FARIAS:03542044407
Date: 2023.12.05 19:54:21 -03'00'

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias

(Orientador – UFCG)

Documento assinado digitalmente
 WALKER GOMES DE ALBUQUERQUE
Data: 05/12/2023 20:03:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque

(Membro Interno – UFCG)

Documento assinado digitalmente
 ELISANGELA MARIA DA SILVA
Data: 06/12/2023 23:13:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Dra Elisângela Maria da Silva

(Membro externo-Engenheira Ambiental/Doutora em Engenharia Civil e Ambiental)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha irmã Vanessa Crhystina Lacerda Santos, que com muito amor e paciência me auxiliou e me deu forças durante todo o meu longo percurso. Em segundo, a minha tia Josefa Ferreira de Lacerda, que sempre me ajudou com os problemas e dificuldades que eu e minha irmã não podíamos resolver. Aos meus pais Deodoro dos Santos e Maria de Fátima Lacerda Santos, por todo o amor que compartilharam comigo durante minha infância. À minha irmã Valesca Millane Lacerda Santos e às minhas avós Antônia Sebastiana dos Santos e Maria Leuda Lacerda, por fazerem parte da minha vida.

Também gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Camilo, que me apoiou na minha sugestão do tema e me ajudou tirando dúvidas, e auxiliando na resolução de problemas que surgiram no decorrer do trabalho. Aos professores das disciplinas, que com seu vasto conhecimento conseguem nos passar as informações necessárias para com que consigamos ter êxito em nossa carreira profissional. Por fim, gostaria de agradecer a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), por todo o auxílio e atenção prestados.

RESUMO

O crescimento urbano desordenado das cidades vem causando sérios problemas para a manutenção e o gerenciamento dos recursos hídricos, sendo um fator determinante para o desenvolvimento social e econômico. À medida que a malha urbana avança e ocupa espaços, aumenta-se a impermeabilização do solo e os riscos de inundações e enchentes, gerando-se grandes perdas para a sociedade. Dessa forma, o presente trabalho buscou realizar a análise hidrológica da bacia do Riacho do Frango, na cidade de Patos-PB, promovendo uma investigação crítica acerca do comportamento hidráulico e da capacidade de drenagem da região, considerando precipitações de projeto com diferentes períodos de retorno. O processo metodológico consistiu no levantamento das características geomorfológicas e de uso e ocupação do solo da bacia, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Além disso, foram determinados os parâmetros hidrológicos com base nas séries anuais de chuvas máximas diárias obtida do banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). A partir da caracterização da bacia foi possível obter o valor do número de curva (CN) de 86 e do tempo de concentração referente à área de estudo, igual a 54 minutos. Para a distribuição temporal da chuva, utilizou-se o método de Yen e Chow, que considera a ocorrência de uma precipitação crítica (ou de pico) para períodos próximos à metade do tempo de duração da chuva. Por fim, escolheu-se um período de retorno de 30 anos e 90 minutos de duração para a estimativa da vazão de projeto pelo método SCS, utilizando-se os softwares Microsoft Excel e HEC-HMS de modelagem hidrológica. Os hidrogramas de projeto gerados apresentaram vazões de pico iguais a 111,5 m³ /s (Microsoft Excel) e 120,0 m³ /s (HEC-HMS). Com relação às lâminas máximas de cheia calculadas para o Canal do Frango, considerando-se regras padrões de dimensionamento para canais retangulares, obteve-se 3,8 m (Microsoft Excel) e 4,0 m (HEC-HMS).

Palavras- chave: Método SCS. HEC-HMS. Vazão de projeto. Hietograma. Hidrograma. Macrodrenagem.

ABSTRACT

The disorderly urban growth of cities has been causing serious problems for the maintenance and management of water resources, being a determining factor for social and economic development. As the urban fabric advances and occupies spaces, there is an increase in soil impermeability and the risks of floods and inundations, resulting in significant losses for society. Thus, this study aimed to perform a hydrological analysis of the Riacho do Frango watershed in the city of Patos, PB, conducting a critical investigation into the hydraulic behavior and drainage capacity of the region, considering project precipitations with different return periods. The methodological process involved the survey of geomorphological characteristics and land use in the watershed, using geoprocessing tools. Additionally, hydrological parameters were determined based on the annual series of maximum daily rainfall obtained from the database of the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA). From the watershed characterization, the curve number (CN) was determined to be 86, and the time of concentration for the study area was found to be 54 minutes. For the temporal distribution of rainfall, the Yen and Chow method was used, considering the occurrence of critical (or peak) precipitation for periods close to half the duration of the rainfall. Finally, a return period of 30 years and a duration of 90 minutes were chosen for estimating the design flow using the Soil Conservation Service (SCS) method, with the Microsoft Excel and HEC-HMS hydrological modeling software. The generated design hydrographs showed peak flows of 111,5 m³/s (Microsoft Excel) and 120,0 m³/s (HEC-HMS). Regarding the calculated maximum flood depths for the Frango Channel, considering standard sizing rules for rectangular channels, values were obtained as 3,8 m (Microsoft Excel) and 4,0 m (HEC-HMS).

Keywords: SCS Method. HEC-HMS. Design Flow. Hyetograph. Hydrograph. Macrodrainage.

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	16
2.0 OBJETIVOS.....	18
2.1 Geral.....	18
2.2 Específicos.....	18
3.0 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	19
4.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
4.1 Bacia Hidrográfica.....	21
4.2 Uso e Ocupação do Solo.....	22
4.3 Sistemas de Microdrenagem.....	24
4.4 Sistema de Macrodrenagem.....	25
4.5 Ferramentas de Geoprocessamento.....	26
4.6 Precipitações.....	28
4.6.1 <i>Precipitações médias e Chuvas intensas</i>	28
4.6.2 <i>Postos pluviométricos</i>	29
4.6.3 <i>Tempo de concentração</i>	30
4.6.4 <i>Equação da Chuva de intensidade-duração-frequência (IDF)</i>	32
4.6.4.1 <i>Desagregação da chuva</i>	33
4.6.5 <i>Distribuição temporal</i>	33
4.6.6 <i>Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS) para precipitações efetivas</i>	34
4.7 Dimensionamento de canais.....	35
5.0 METODOLOGIA.....	38
5.1 Etapas Metodológicas.....	38
5.1.1 <i>Delimitação da Bacia de Contribuição</i>	39
5.1.2 <i>Características da Bacia de Contribuição</i>	39
5.1.3 <i>Dados de Precipitações</i>	39
5.1.4 <i>Hidrogramas de Projeto</i>	39
5.1.5 <i>Parâmetros hidráulicos do Canal do Frango</i>	39
5.1.6 <i>Simulação do Comportamento hidrológico do Canal do Frango</i>	39
5.1.7 <i>Apresentação dos Resultados</i>	40

5.2	Caracterização da região de estudo.....	40
5.3	Aspectos Topográficos.....	44
5.4	Aspectos geológicos e características do solo.....	45
5.5	Estudo da vegetação.....	46
5.6	Uso e ocupação do solo.....	47
5.7	Aspectos Hidrometeorológicos.....	48
5.8	Equação da Chuva de intensidade-duração-frequência (IDF).....	49
5.9	Distribuição temporal pelo método de Yen e Chow.....	55
5.10	Cálculo da declividade média do talvegue referente a seção de estudo.....	56
5.11	Tempo de concentração da seção de estudo.....	57
5.12	Cálculo do número de curva (CN).....	58
5.13	Vazão de projeto pelo Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS).....	60
5.14	Vazão de projeto pelo software de modelagem hidráulica HEC-HMS.....	62
5.15	Dimensionamento Hidráulico.....	63
6.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
6.1	Delimitação da bacia hidrográfica.....	68
6.2	Uso e ocupação do solo.....	69
6.3	Determinação do CN.....	70
6.4	Equação da Chuva de intensidade-duração-frequência(IDF).....	70
6.5	Distribuição temporal da Chuva pelo Método de Yen e Chow.....	80
6.6	Declividade do Talvegue referente a seção de estudo.....	86
6.7	Tempo de concentração da bacia referente a seção de estudo.....	87
6.8	Vazão de projeto pelo Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS).....	88
6.9	Dimensionamento hidráulico pelo Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS).....	91
6.10	Vazão de projeto pelo software HEC-HMS.....	93
6.11	Dimensionamento hidráulico pelo HEC-HMS.....	94
7.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
	REFERÊNCIAS.....	98
	APÊNDICE A -Memória de cálculo para a distribuição de gumbel.....	103
	APÊNDICE B -Distribuição temporal das chuvas a partir do método de Yen e Chow.....	105

APÊNDICE C -Escoamento superficial do método SCS.....	112
APÊNDICE D -Hidrograma unitário do método SCS.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Canal Riacho do Frango Após chuva intensa.....	20
Figura 2 - Seção do Canal do Frango.....	26
Figura 3 - Equações de tempo de concentração.....	31
Figura 4 - Equações de tempo de concentração indicadas.....	32
Figura 5 - Canal do Riacho do Frango: Seção de estudo.....	38
Figura 6 - Delimitação da bacia Piancó-Piranhas-Açu.....	41
Figura 7 - Obtenção do modelo digital de elevação pelo site da USGS.....	42
Figura 8 - Recorte de camada Raster (Máscara).....	43
Figura 9 - Ponto de Exultório (Laranja), e da seção de estudo (Verde).....	43
Figura 10 - Mapa Hipsométrico do Município de Patos-PB.....	44
Figura 11 - Mapa de Declividade do Município de Patos-PB.....	45
Figura 12 - Mapa geológico do município de Patos/PB.....	46
Figura 13 - Mapa de uso e cobertura vegetal do município de Patos/PB.....	47
Figura 14 - Mapeamento da área impermeável da Bacia do Riacho do Frango.....	48
Figura 15 - Mapeamento da Hidrografia superficial e subterrânea da cidade de Patos.....	49
Figura 16 - Modelagem da Bacia do Riacho do Frango pelo HEC-HMS.....	63
Figura 17 - Delimitação da Bacia do Riacho do Frango.....	68
Figura 18 - Uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho do Frango.....	69
Figura 19 - Dimensionamento da seção de estudo do Canal do Riacho do Frango (SCS).....	92
Figura 20 - Resultados computacionais referentes a modelagem hidrológica.....	93
Figura 21 - Dimensionamento da seção de estudo do Canal do Riacho do Frango (HEC-HMS).....	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de solo SCS.....	59
Tabela 2 - Valores de CN de acordo com o uso e ocupação do solo.....	59
Tabela 3 - Valores de coeficientes de <i>mannig</i>	65
Tabela 4 - Coeficientes de forma K.....	66
Tabela 5 - Velocidades Médias.....	67
Tabela 6 - Caracterização da Bacia do Riacho do Frango.....	68
Tabela 7 - Cobertura e uso do solo.....	70
Tabela 8 - Cálculo do CN médio da bacia.....	70
Tabela 9 - Distribuição precipitações máximas.....	72
Tabela 10 - Desagregação da chuva (Precipitações).....	73
Tabela 11 - Intensidades de chuva.....	74
Tabela 12 - Precipitações para Tr de 15,4 anos.....	75
Tabela 13 - Intensidades para Tr de 15,4 anos.....	76
Tabela 14 - Log (Tr) x Log (C).....	77
Tabela 15 - Parâmetros da IDF.....	78
Tabela 16 - Intensidades pela equação da chuva.....	79
Tabela 17 - Tempo de pico ajustado.....	80
Tabela 18 - Declividade do talvegue (seção de estudo).....	87
Tabela 19 - Tempo de concentração médio.....	87
Tabela 20 - Valores do hidrograma unitário ajustados.....	88
Tabela 21 - Precipitações médias diárias (mm).....	91
Tabela 22 - Parâmetros para dimensionamento do Canal do Frango (SCS).....	91
Tabela 23 - - Parâmetros para dimensionamento do Canal do Frango (HEC-HMS).....	94
Tabela 24 - Distribuição de Gumbel.....	103
Tabela 25 - Yen e Chow para uma duração de 60 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos.....	105
Tabela 26 - Yen e Chow para uma duração de 90 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos.....	106

Tabela 27 - Yen e Chow para uma duração de 120 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos.....	108
Tabela 28 - Parâmetros do escoamento superficial.....	112
Tabela 29 - Escoamento Superficial para duração de 60 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.....	112
Tabela 30 - Escoamento Superficial para duração de 90 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.....	113
Tabela 31 - Escoamento Superficial para duração de 120 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.....	114
Tabela 32 - Hidrograma unitário para duração de 60 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.....	117
Tabela 33 - Hidrograma unitário para duração de 90 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.....	119
Tabela 34 - Hidrograma unitário para duração de 120 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.....	121

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitações máximas diárias anuais Patos/PB.....	71
Gráfico 2 - Ajuste da Distribuição de Gumbel.....	72
Gráfico 3 - Curvas de intensidade-duração-frequência(IDF).....	74
Gráfico 4 - IDF linearizada.....	77
Gráfico 5 - Log (TR) x Log(C).....	78
Gráfico 6 - Curvas IDF pela equação da chuva.....	79
Gráfico 7 - Hietograma para t = 60 min e Tr = 30 anos.....	80
Gráfico 8 - Hietograma para t = 90 min e Tr = 30 anos.....	81
Gráfico 9 - Hietograma para t = 120 min e Tr = 30 anos.....	81
Gráfico 10 - Hietograma para t = 60 min e Tr = 50 anos.....	82
Gráfico 11 - Hietograma para t = 90 min e Tr = 50 anos.....	82
Gráfico 12 - Hietograma para t = 120 min e Tr = 50 anos.....	83
Gráfico 13 - Hietograma para t = 60 min e Tr = 70 anos.....	83
Gráfico 14 - Hietograma para t = 90 min e Tr = 70 anos.....	84
Gráfico 15 - Hietograma para t = 120 min e Tr = 70 anos.....	84
Gráfico 16 - Hietograma para t = 60 min e Tr = 100 anos.....	85
Gráfico 17 - Hietograma para t = 90 min e Tr = 100 anos.....	85
Gráfico 18 - Hietograma para t = 120 min e Tr = 100 anos.....	86
Gráfico 19 - Hidrograma método SCS- Tr = 30, 50, 70 e 100 anos; t = 60 minutos.....	89
Gráfico 20 - Hidrograma método SCS- Tr = 30, 50, 70 e 100 anos; t = 90 minutos.....	89
Gráfico 21 - Hidrograma método SCS- Tr = 30, 50, 70 e 100 anos; t = 120 minutos.....	90
Gráfico 22 - Hidrograma e hietograma efetivo de projeto pelo HEC-HMS.....	94

LISTA DE ABREVIACOES

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PB	Paraíba
SIG	Sistema de Informações Geográficas
APP	Área de Preservação Permanente
Tr	Período de Retorno
tc	Tempo de Concentração
IDF	Intensidade Duração Frequência
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
SCS	<i>Soil Conservation Service</i> - Serviço de Conservação dos Solos
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i> - Centro Hidrológico de Engenharia
HMS	<i>Hydrologic Modeling System</i> - Sistema de Modelagem Hidrológica
MDE	Modelo Digital de Elevação
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
LOG	Logaritmo
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CN	Número de Curva
HUTS	Hidrograma Unitário Triangular Sintético

1.0 INTRODUÇÃO

A aplicação e utilização dos sistemas de macrodrenagem demonstram-se presentes desde as civilizações antigas, pois o gerenciamento dos recursos hídricos sempre foi um fator determinante para o desenvolvimento social e econômico. Segundo Tucci (1995), as estruturas de macrodrenagem são responsáveis pela condução final das águas originadas dos deflúvios oriundos da área urbana, sendo naturalmente pré-existentes nos terrenos anteriormente à ocupação urbana, é constituído pelos córregos, rios e riachos localizados em talvegues e vales, o sistema de drenagem é singular para cada bacia hidrográfica.

De acordo com Santos, Rufino, Filho (2017, p.1), à medida que se enfrenta o crescente uso e ocupação do solo pela malha urbana, a falta de planejamento urbano, e o aumento significativo da população, acarreta dificuldades no enfrentamento de problemas como enchentes e alagamentos característicos e rotineiros do espaço urbano, devido à alta impermeabilização do solo e a poluição hídrica, resultando no mau uso dos sistemas de drenagem urbana.

Segundo Almeida (2020), os problemas recorrentes enfrentados na implementação dos projetos hidrológicos e hidráulicos estão relacionados à erosão, inundações e enchentes. Além disso, as consequências advindas do intenso uso e ocupação desordenados do solo estão associadas ao aumento da poluição ambiental, intensificando, dessa forma, a poluição difusa dos corpos hídricos por meio dos sistemas de drenagem. Portanto, são necessários programas de gestão e planejamento, que busquem o seguro escoamento das águas pluviais para o local correto de destino, além disso para implementar projetos de drenagem e gestão do regime de águas pluviais, os estudos hidrológicos se fazem fundamentais, pois são a peça-chave para a determinação de variáveis pluviométricas e fluviométricas, pertinentes ao escoamento da água e sua distribuição na bacia de estudo.

De acordo com Almeida (2020), o monitoramento é o principal serviço responsável por coletar, tratar e armazenar dados hidrometeorológicos, os quais são pertinentes para a determinação do volume de chuvas e de vazão dos rios. Estes dados são coletados por estações pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas, fornecendo informações sobre cheias e secas da região na qual se localizam.

Para o dimensionamento e análise de trechos específicos em canais de macrodrenagem, os estudos hidrológicos são de extrema importância para se realizar o correto dimensionamento do sistema, sendo considerado, para Tucci (1995), fatores como chuva de projeto, relação intensidade-duração-frequência, picos de cheias, vazões de projeto, tempo de

contribuição da bacia e capacidade de infiltração do solo. Além disso, deve-se determinar os parâmetros hidráulicos necessários para o dimensionamento do sistema de macrodrenagem e da seção característica do canal. Para Cabral e Jesuz (2020), um dos critérios considerados de fundamental importância para a análise da bacia diz respeito às suas características geomorfológicas.

Além disso, vale salientar que, para o avanço e melhor precisão dos estudos hidrológicos, são usados os *softwares* de geoprocessamento e sensoriamento remoto, que segundo Campos *et al.* (2019), apresentam-se como ferramentas imprescindíveis para o mapeamento do uso do solo, caracterização e delimitação de uma bacia hidrográfica, possuindo importante participação na gestão dos recursos hídricos.

Sendo assim, o presente trabalho realizou o estudo e a análise hidrológica em uma seção do canal de macrodrenagem do riacho do Frango na cidade Patos-PB, coordenadas: (37°16'59.8"W;7°00'45.0"S), com o objetivo de investigar criticamente o comportamento hidráulico e a capacidade de drenagem da seção de estudo, com relação a chuvas para diferentes períodos de retorno, levando-se em consideração a caracterização da bacia do riacho do frango, na qual encontra-se inserida no município de Patos.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar estudo hidrológico em seção do canal de macrodrenagem do Riacho do Frango, localizado na cidade Patos-PB.

2.2 Específicos

- Delimitar a bacia de contribuição com base na seção de referência, incluída na bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu;
- Obter as características físicas da bacia de contribuição (e.g., modelo digital de terreno, cobertura vegetal, tempo de concentração e comprimento do talvegue);
- Determinar as precipitações máximas e a equação da chuva para o local de estudo;
- Realizar a distribuição temporal das precipitações máximas e estimar os hidrogramas de projeto para diferentes períodos de retorno;
- Calcular os parâmetros do canal de escoamento (e.g., coeficiente de rugosidade, área molhada, perímetro molhado e declividade);
- Simular o comportamento hidrológico do Canal do Frango;
- Verificar a adequação do canal às vazões de pico calculadas.

3.0 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O crescimento urbano desordenado traz vários fatores de risco na ocupação territorial, no Brasil, em meados do século XX, gerou como consequência o surgimento de grandes metrópoles no país, no qual passam por momentos difíceis em seus dias de alto índice pluviométrico. Segundo Tucci (2001), o cenário urbano brasileiro tem proporcionado um aumento significativo da população urbana relacionada às cidades de médio porte com população entre 100 mil e 500 mil habitantes, as quais têm se mostrado um atrativo para a construção civil e expansão da malha urbana de forma descontrolada, promovendo maior uso e ocupação do solo, além da ocupação irregular de áreas de risco.

Logo, os fatores que interferem no ciclo hidrológico e no desempenho da bacia hidrográfica, que levam em consideração fatores como capacidade de drenagem e infiltração, são comprometidos. Além disso, ainda segundo Tucci (2001), o impacto gerado pela poluição urbana promove a proliferação de doenças de veiculação hídrica, devido às enchentes cada vez mais recorrentes.

De acordo com o IBGE (2021), o município de Patos/PB possui uma população estimada de 108.766 habitantes e densidade demográfica igual a 212,82 hab./km², apresentando um acentuado crescimento urbano, e enfrentando problemas em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos e ao manejo de águas pluviais.

Com relação a área de estudo do presente trabalho, o canal de macrodrenagem do Riacho do Frango, localizado no município de Patos/PB, pertencente a bacia Rio Piancó-Piranhas-Açu, apresenta diversos problemas, como a presença de resíduos sólidos e efluentes, que comprometem sua eficiência hidráulica e capacidade de drenagem. Além disso, para períodos com chuvas intensas, a vazão de projeto utilizada para o dimensionamento demonstrase insuficiente, conforme apresentado, pela Globo G1 Paraíba (2014), na qual apresenta, na reportagem de 18 de março de 2014, altas precipitações pluviométricas, que levaram o Canal do Frango ao extravasamento.

Dessa forma, a realização de estudos hidrológicos e da verificação da capacidade de drenagem são imprescindíveis, pois permitem a estimativa de variáveis como precipitações máximas e vazões de pico, sendo estes fatores importantes para o dimensionamento e a manutenção dos sistemas de drenagem urbana. Ademais, os estudos trazem subsídios para promover um adequado gerenciamento dos recursos hídricos da região e minimizar os riscos de inundações, proporcionando, dessa forma, o escoamento adequado das águas pluviais até seu local de destino, seja para descarga em corpos hídricos ou até mesmo para reuso.

Na figura 1 foi registrado o Canal do Riacho do Frango após chuva intensa de 18 de março de 2014.

Figura 1 - Canal Riacho do Frango Após chuva intensa



Fonte: Portal do Litoral PB (2014)

4.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Bacia Hidrográfica

Define-se bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas a partir de um corpo de água principal, sendo o elemento principal de análise para os estudos quantitativos e qualitativos relacionados ao manejo e gestão dos recursos hídricos (PIRES, SANTOS, DEL PRETTE, 2002).

A área topográfica de uma bacia hidrográfica apresenta os limites altimétricos responsáveis pela sua delimitação, sendo, para Porto *et al.* (1999) um dos fatores que influenciam o escoamento superficial.

Segundo Barbosa Júnior (2022), o contorno ou divisor de águas de uma bacia hidrográfica pode ser determinado pela linha de cumeada ou pontos de cota máxima entre bacias. Esse divisor topográfico, contorna toda a área de delimitação da bacia hidrográfica, sendo cortada pelo curso de água principal apenas em sua seção exutória.

Para se realizar um traçado em mapa topográfico de uma bacia hidrográfica, de acordo com Barbosa Júnior (2022), é necessário determinar o contorno pelos pontos altos cotados da bacia, de modo que o traçado corte perpendicularmente as curvas de nível características da região, evitando o cruzamento com outros cursos de água que não seja o curso de água principal que define o limite a jusante da bacia, podendo ser utilizado como recurso, cartas topográficas com a área de drenagem e curvas de nível da região.

Atualmente, devido ao desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas, ou SIGs, os estudos hidrológicos podem ser auxiliados pelas ferramentas e softwares computacionais, que fornecem resultados representativos sobre a área de estudo, desde que se tenha plena ciência sobre a situação da região, pois segundo Salla e Chuerubim (2014), para o caso da gestão e manejo dos recursos hídricos, o usuário do software computacional, deve ter pleno conhecimento sobre a situação da bacia hidrográfica em questão, além disso o uso dos manuais técnicos são imprescindíveis para se garantir sucesso no uso das ferramentas computacionais.

Com relação a área de drenagem de uma bacia hidrográfica, Porto *et. al* (1999), afirma que há uma relação complexa entre os diversos fatores que influem nos deflúvios superficiais presentes, como por exemplo, a declividade da bacia, tipo de solo e a interceptação da precipitação que contribui no abastecimento e aumento da drenagem da bacia.

Para a declividade da bacia, de acordo com Porto *et al.*(1999), quanto maior a declividade, mais intenso será às variações das vazões instantâneas. Valendo salientar que a permeabilidade do solo e a interceptação das chuvas, característica de vegetações presentes, por exemplo, na bacia hidrográfica de estudo, são fatores que promovem a redução da intensidade do escoamento superficial.

4.2 Uso e Ocupação do Solo

O crescimento desordenado das cidades e a falta de planejamento urbano gerou diversos aspectos negativos e consequências, que se refletem, principalmente no contraste social e econômico, quando se observa a malha urbana como um todo. As periferias urbanas podem ser expressas através da segregação social e ambiental culminando em regiões onde a pobreza pode ser observada com certa homogeneidade em um cenário no qual a alta densidade de ocupação do solo e a exclusão social apresentam-se em evidência (MARICATO,2003).

Essa segregação expõe nitidamente áreas mais desenvolvidas das cidades, aonde chegam os recursos básicos, como sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, em contraponto a áreas nas quais apresentam carência desses recursos e, portanto, apresentam diversos problemas relacionados à coleta básica de resíduos sólidos e efluentes. Segundo (Barros e Silva, 2015), a falta de políticas habitacionais apresenta-se como uma das problemáticas que refletem a ausência de interesse do poder público em garantir, de forma efetiva, moradia adequada para a população, o que acaba gerando a ocupação inapropriada de áreas de risco.

Além disso, a ausência de instrução e de políticas de educação ambiental, potencializam a falta de cuidado da população com o meio ambiente, sendo muito corriqueiro encontrar efluentes e resíduos sólidos presentes no solo e nos corpos hídricos que cortam a área urbana, como por exemplo, a contaminação de rios, lençóis freáticos e do próprio solo, pois de acordo com (Maricato,2003), as ocupações das populações mais carentes, em áreas de risco, são comprometidas quando analisamos a falta de infraestrutura nesses locais, como por exemplo, obras de drenagem, infiltrações pluviais e contaminação do solo por efluentes. Portanto, essas regiões acabam sendo suscetíveis ao risco de enchentes e veiculação hídrica de doenças.

Ainda de acordo com Tucci (1995), nas regiões de alto risco de inundações, são encontradas, sub-habitações, pois são áreas geralmente pertencentes ao poder público e desprezadas pelo poder privado, sendo assim, a medida que ocorrem os impactos ambientais

decorridos das chuvas intensas, a população cobra do poder público soluções estruturais, como por exemplo, obras de drenagem. No entanto, o Estado afirma ser inviável pelo seu alto custo de implantação, sendo assim, percebe-se que a administração pública não está apta técnica e financeiramente para lidar com essa problemática. Vale ressaltar ainda que os planos diretores municipais, não contemplam uma forma de controle da ocupação das áreas de riscos.

Portanto, pode-se afirmar que, a medida em que a malha urbana cresce de maneira descontrolada, a ocupação irregular do solo, e a falta de infraestrutura, como um sistema de drenagem urbana eficiente, se tornam cada vez mais presentes, logo as enchentes e alagamentos se tornam mais frequentes e intensos enquanto houver a necessidade de se ocupar novos espaços para mais moradias (TUCCI, 1995).

O processo de urbanização intenso das cidades, segundo Tucci (1995), tem gerado diversas problemáticas, principalmente com relação ao sistema de drenagem, sendo as causas dos problemas relacionados à impermeabilização dos solos, desmatamento de vegetação, ocupação de várzeas, poluição, canalização de rios, entre outros, que promovem enchentes e alagamentos que produzem impactos sociais, ambientais e econômicos, que interferem, de forma negativa, na estrutura funcional das cidades.

A interferência no ciclo hidrológico devido a redução da taxa de infiltração da água no solo tem como sua principal causa a impermeabilização da região, devido a intensa pavimentação de lotes urbanos, no qual, geralmente não são previstos sistemas de drenagem eficientes e que realizem o transporte correto e seguro das águas pluviais.

De acordo com Tucci (1995), devido a intensa impermeabilização de ruas, calçadas e telhados, a parcela da água que infiltra no solo, passa a escoar pelos condutos, aumentando as vazões de água para o sistema de drenagem já existente, e que pela ausência de planos urbanísticos, tornam-se incapazes de controlar enchentes e alagamentos, pois, segundo Araújo et al.(2000), os sistemas de drenagem urbana devem servir como agentes preventivos de inundações, evitando alagamentos, principalmente em regiões com topografia rebaixada, no entanto, quando o sistema de drenagem não é considerado desde o início do planejamento urbano, provavelmente sua posterior implementação pode-se tornar cara e deficiente.

Dado o exposto, pode-se afirmar que a cidade de Patos- PB, apresenta as problemáticas anteriormente citadas por possuir áreas intensamente impermeabilizadas, pouca arborização, despejo de lixo e efluentes no canal, além de possuir ocupação irregular na região próxima ao riacho do Frango. Sendo assim, em períodos no qual ocorrem precipitações acima da suportada pelo sistema de drenagem existente, a população sofre perdas materiais e riscos de contaminação devido a doenças que se veiculam pelo meio hídrico.

4.3 Sistemas de Microdrenagem

A microdrenagem tradicional, segundo o Manual de Drenagem Urbana (2002), utilizada em grande parte dos centros urbanos, consiste em conduzir, com maior velocidade, o escoamento superficial da área drenada em direção a um coletor principal ou tronco, no entanto, devido à alta impermeabilização do solo, ocorrerá um aumento na vazão máxima, que será conduzida para a jusante pelo sistema de drenagem. Dessa forma, os riscos de inundações acabam se tornando maiores, para as regiões subseqüentes e para o sistema de macrodrenagem.

De acordo com Tucci (1995), existe a falsa afirmação de que a boa drenagem será a que possibilita o rápido escoamento das águas pluviais para a área analisada, sendo que a melhor drenagem se expressa como àquela que garante a coleta do escoamento superficial sem causar impactos para a região e nem para a jusante.

Portanto pode-se afirmar que medidas que visem reduzir o crescente acúmulo do escoamento superficial são de extrema importância, visto que direcionar o problema para a jusante, não se demonstra como uma solução efetiva, visto que promove o aumento da vazão de escoamento superficial e sua velocidade, comprometendo, dessa forma, o patrimônio público e privado, além de causar danos ao próprio sistema de drenagem urbana.

Segundo o Manual de Drenagem Urbana (2002), para reduzir ou mitigar o acréscimo dessas vazões máximas para a jusante, pode-se utilizar estratégias de amortecimento das vazões de pico, como uso de tanques, reservatórios de detenção e retenção, entre outras, medidas que podem vir a proporcionar uma otimização nos custos de implementação ou manutenção para o sistema de drenagem já existente. No entanto, mesmo que a norma NBR 9648 (ABNT, 1986) expresse que as redes do tipo separador absoluto permite que o esgoto seja separado das águas pluviais, há regiões no país, nas quais os sistemas de coleta de esgotos e drenagem urbana não possuem infraestrutura própria, portanto os efluentes residenciais são despejados no sistema de coleta de águas pluviais sem o devido tratamento. Sendo assim, as construções de reservatórios de amortecimento de chuvas acabam se tornando inviáveis.

Com relação a qualidade das águas pluviais, o Manual de Drenagem Urbana (2002) afirma que, após a primeira chuva, a quantidade de material suspenso encontrado na drenagem pluvial supera a encontrada no esgoto in natura. Logo, percebe-se a importância de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos alinhado a um efetivo manejo dos recursos hídricos para a área de estudo.

Dessa forma, faz-se necessário que o sistema de drenagem urbana possua projeto e execução próprios e de acordo com a necessidade da região, além de funcionar de forma independente aos sistemas de esgotamento sanitário e abastecimento de água a partir dos conceitos expressos na NBR 9648 (ABNT, 1986), apresentando correto dimensionamento das unidades do sistema. Essas unidades podem ser denominadas como guias, sarjetas, bocas de lobo e galerias.

A microdrenagem urbana ideal consiste num sistema próprio formado por condutos e estruturas que visem garantir, de forma segura, o correto resgate, transporte e despejo das águas pluviais presentes a loteamentos ou como rede primária urbana. (TUCCI,1995).

4.4 Sistema de Macrodrenagem

O sistema de macrodrenagem tem como objetivo receber o escoamento superficial do volume de água advindo da microdrenagem, além de receber a parcela de contribuição resultante das chuvas efetivas da região.

Segundo Tucci (1995), a macrodrenagem correspondente a uma zona urbana, será a rede de drenagem natural e característica da bacia, que existia antes da ocupação urbana, sendo formada por córregos, riachos, rios, entre outros, encontrados em vales ou talvegues.

O manual de drenagem urbana (2002), afirma que a macrodrenagem abrange os córregos urbanos, naturais e artificiais, sendo o escoamento superficial resultante de áreas tanto urbanizadas como não urbanizadas.

À medida que o escoamento superficial aumenta nos centros urbanos, tem-se optado como uma das alternativas de solução dos problemas, a construção de canais artificiais. Para garantir seu pleno funcionamento, o canal deve ser dimensionado para vazões de projeto com tempos de retorno de 25 a 100 anos (MANUAL DE DRENAGEM URBANA, 2002).

De acordo com Patrício *et al.* (2021), a aplicação dos métodos de estimativa das vazões máximas, são imprescindíveis para se garantir um canal de macrodrenagem adequadamente dimensionado a fim de reduzir ou acabar com os estragos advindos das chuvas intensas.

Além disso, vale ressaltar que uma das problemáticas levantadas por Tucci (1995), diz respeito à degradação da drenagem natural pelo gerenciamento inadequado da ocupação da bacia e da conservação de sua qualidade ambiental, sendo essas problemáticas retratadas por problemas de disposição do lixo e esgoto sanitário, que terminam sendo despejados nos sistemas de macrodrenagem de forma indiscriminada.

O município de Patos/PB apresenta todos os problemas citados anteriormente no sistema de macrodrenagem do Riacho do Frango, pois ao longo do canal pode-se notar mau cheiro característico do sistema de esgoto, além de lixo e outros despejos sólidos, como é possível visualizar na Figura 2, o processo de eutrofização e a falta de manutenção e limpeza.

Figura 2 - Seção do Canal do Frango.



Fonte: Diário do Sertão (2019)

4.5 Ferramentas de Geoprocessamento

As ferramentas de geoprocessamento, atualmente, são consideradas um recurso essencial para os estudos e análise hidrológica da bacia hidrográfica do Riacho do Frango, pois permite que seja possível organizar e relacionar os dados referentes aos Sistemas de informações geográficas, a fim de obter informações topográficas, fluviométricas, assim como a taxa de uso e ocupação do solo, sendo, portanto, parâmetros pertinentes para a caracterização da bacia e posterior estudos de viabilidades relacionados a projetos de drenagem urbana.

Segundo Fitz, (2008), geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias que possibilitam a manipulação, análise, simulação de modelagem, além da visualização de dados georreferenciados. Sendo importante ressaltar que, com o advento da computação, os procedimentos de geoprocessamento se tornaram mais dinâmicos e precisos.

Graças ao desenvolvimento dos sistemas de informações geográficos, foi-se possível agregar e espacializar fatores físicos intrinsecamente relacionados a fenômenos humanos, sociais, climáticos e econômicos, sendo possível o estudo e levantamento de pesquisas relacionadas ao padrão de ocupação de uma região, portanto, o SIG pode ser utilizado como

uma ferramenta de apoio para o fornecimento de subsídios necessários para a preservação e administração dos recursos naturais da região (FITZ,2008).

De acordo com, Leonardi (2020), os SIGs possuem inúmeros aplicações, dentre elas temos:

- Delimitação de áreas de preservação permanente: As delimitações de áreas de preservação permanente (APPs), se refere a áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, tendo como principal função, proteger os recursos hídricas, garantir a estabilidade geológica, preservar a biodiversidade e promover o bem-estar da população.
- Mapeamento do uso do solo: O mapeamento do uso do solo promove maior conhecimento da região e pesquisas que visem realizar a condição atual de ocupação e utilização dos recursos naturais, além dos impactos causados pela ação antrópica.
- Desflorestamento em bacias hidrográficas: Os SIGs também podem ser utilizados para fornecer o mapeamento de supressão vegetal, caracterizado como a remoção da vegetação para o plantio ou criação de pasto.

Para utilizar o SIG, é necessário o manuseio de softwares computacionais que possuam esse sistema.

O Qgis é a ferramenta computacional utilizada no presente trabalho, para a delimitação e caracterização da bacia do Riacho do Frango.

Segundo Leonardi, (2020), o Qgis se trata de um software livre que possui funções desktop, sendo utilizado em escala global, além de disponibilizar a versão gratuita, suas ferramentas permitem: criar, editar, trabalhar com álgebra e projetar mapas. Ainda de acordo com, Leonardi (2020), o software possui, como grande diferencial, a possibilidade de se trabalhar com dados vetoriais e *raster*, além disso, pode ser potencializado com a instalação de complementos dentro do próprio programa, que são ofertados gratuitamente, pela comunidade, e anexados a sua interface. Os arquivos *raster* podem ser utilizados para a obtenção de características topográficas caso possuam o modelo digital de elevação, e os arquivos vetoriais geralmente são processados no software como arquivos do tipo *shapefile*.

Portanto, nota-se que o geoprocessamento integrado ao Sistema de informações geográficas, é uma ferramenta essencial para o estudo, pesquisa e análise da gestão dos recursos hídricos, fornecendo condições para que se possa realizar o levantamento das condições da vegetação, do solo, das condições de ocupação urbana, entre outros fatores que influem nas condições de drenagem de uma bacia hidrográfica, permitindo que, a partir dos parâmetros e

variáveis obtidos, possa-se realizar análise de riscos presentes em determinadas regiões da bacia.

4.6 Precipitações

A precipitação, segundo Pinto *et al.* (1976), trata-se da água proveniente da atmosfera, que se encontra na forma de vapor, e que é depositada na atmosfera terrestre por meio de chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geadas, sendo a água depositada na superfície terrestre e que escoar pelos rios, um resíduo das precipitações.

De acordo com Oliveira (2016), a precipitação é um processo no qual a água depositada na atmosfera, de forma gasosa, retorna para a superfície de forma líquida ou sólida.

Para Barbosa Júnior (2022), a precipitação consiste no vapor de água na atmosfera que se deposita na superfície terrestre, sendo a parcela correspondente às precipitações pluviométricas, a principal contribuinte para o regime hidrológico de uma região.

Dessa forma, pode-se afirmar que o regime de chuvas, característico para cada região, determina seu comportamento hidrológico.

4.6.1 *Precipitações médias e Chuvas intensas*

A quantificação das precipitações médias de uma bacia é obtida por meio da caracterização da chuva pelas variáveis intensidade, duração, frequência e altura da lâmina de água, no qual a duração consiste no período de tempo, em que a chuva cai sendo medida em minutos ou horas. A altura refere-se a espessura da lâmina de água que cobriria a região caso fosse plana e impermeável, sendo medida em milímetro de chuva, que consiste em 1 litro de água distribuído por 1 m². A intensidade é a altura dividida pela duração da chuva, sendo expressa em milímetros por hora. A frequência está relacionada à ocorrência de eventos iguais ou superiores ao da chuva analisada (OLIVEIRA,2016).

Com relação aos eventos hidrológicos, segundo Barbosa Júnior (2022), não se é possível determinar quando determinados eventos hidrológicos ocorrem, no entanto, é possível utilizar-se da análise estatística a partir das séries históricas de chuva para as projeções futuras, sendo possível estimar, de forma teórica, com que frequência e magnitude, determinado regime de chuva pode ocorrer.

Segundo Barbosa Júnior (2022), as chuvas intensas são definidas como eventos nos quais as intensidades pluviométricas ultrapassam um determinado limite de referência, possuindo frequência de ocorrência, distribuição no tempo e espaço característicos.

Para a análise de chuvas intensas, ainda é adotado o período de retorno, que consiste no tempo médio no qual um evento de chuva é superado ou igualado, ou seja, se houver uma chuva com período de retorno de 10 anos, ela é igualada ou superada, em média, a cada 10 anos. (OLIVEIRA,2016). O período de retorno também pode ser interpretado como o inverso da frequência com que ocorre a chuva, ou seja, quanto maior o período de retorno, menor a ocorrência de determinada precipitação.

Segundo Barbosa Júnior, (2022), para o tratamento estatístico e análise dos dados de chuva, podem ser consideradas as séries parciais, anuais e totais. As séries parciais tomam como base de dados todas as alturas pluviométricas superiores a um valor base de referência, independentemente do ano da ocorrência do evento, sendo as séries parciais geralmente utilizadas quando se tem poucos dados referentes ao regime de chuvas. A série anual corresponde a uma única variável correspondente a cada ano, ou seja, o número de dados da série corresponde a quantidade de anos registrados. Já a série total corresponde a todos os dados observados.

4.6.2 *Postos pluviométricos*

Para a obtenção das séries de chuvas, referentes a uma bacia hidrográfica, é necessário que em vários pontos da região, haja um posto pluviométrico, para a medição da precipitação. A necessidade de vários postos se dá por conta da ocorrência de diferentes intensidades, durações e frequências do regime de chuvas para áreas distintas da bacia (PEREIRA, BARBIERO, QUEVEDO, 2020).

De acordo com Barbosa Júnior (2022), os postos pluviométricos têm a função de produzir dados ininterruptos de precipitações ao longo dos anos, garantindo a produção de séries históricas necessárias para a análise hidrológica da bacia.

Para a medição das precipitações diárias, são utilizados nos postos pluviométricos, pluviômetros e/ou pluviógrafos, esses dois são diferenciados pela forma de coleta dados ao longo do dia. O pluviômetro é responsável pela obtenção da altura total da chuva acumulada em um determinado período de tempo determinando-se a altura da lâmina de água característica do evento de chuva registrado, já o pluviógrafo registra a variação das precipitações ao longo do tempo de forma gráfica (MENEZES, 2019).

4.6.3 *Tempo de Concentração*

O tempo de concentração, segundo Oliveira (2016), é o período de tempo necessário para que toda a água, que escoar na bacia, chegue à uma seção específica de estudo.

De acordo com Pinto et al. (1976), o tempo de concentração corresponde ao intervalo de tempo relativo ao início da precipitação para que ocorra a contribuição de toda a bacia hidrográfica para a seção de estudo, sendo o maior intervalo de tempo equivalente à última partícula de água que chegue à seção.

Para Barbosa Júnior (2022), o tempo de concentração é o tempo transcorrido, desde o início da precipitação até que a área da bacia contribua para toda a seção em estudo.

Portanto, para o estudo e análise hidrológica em seção correspondente ao Canal do Riacho do Frango, o tempo de concentração é uma variável imprescindível para a quantificação da vazão de contribuição que chega à seção de estudo, a fim de garantir maior segurança no dimensionamento de obras hidráulicas, reduzindo o risco de inundações.

Na figura 3 pode-se observar algumas equações selecionadas por Silveira (2005) para o cálculo do tempo de concentração.

Figura 3 - Equações de tempo de concentração

Nome	Equação (1)
Izzard (2)	$T_c = 85,5(i/36286+C_r)^{-0,667}L^{0,33}S^{-0,333}$
Kerby-Hathaway (3)	$T_c = 0,619N^{0,47}L^{0,47}S^{-0,235}$
Onda Cinem. (2)	$T_c = 7,35n^{0,6}i^{-0,4}L^{0,6}S^{-0,3}$
FAA (2)	$T_c = 0,37(1,1-C)L^{0,5}S^{-0,333}$
Kirpich (2)	$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$
SCS Lag (2)	$T_c = 0,057(1000/CN-9)^{0,7}L^{0,8}S^{-0,5}$
Simas-Hawkins (4)	$T_c = 0,322A^{0,594}L^{-0,594}S^{-0,150}S_{scs}^{0,313}$
Vente Chow (5)	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$
Dooge (6)	$T_c = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$
Johnstone (7)	$T_c = 0,462L^{0,5}S^{-0,25}$
Corps Engineers (8)	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$
Giandotti (9)	$T_c = 0,0559(4,0A^{0,5}+1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$
Pasini (10)	$T_c = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$
Ventura (10)	$T_c = 0,127A^{0,5}S^{-0,5}$
Picking (11)	$T_c = 0,0883L^{0,667}S^{-0,333}$
DNOS (12)	$T_c = 0,419k^{-1}A^{0,3}L^{0,2}S^{-0,4}$
George Ribeiro (13)	$T_c = 0,222(1,05-0,2p)^{-1}LS^{-0,04}$
Schaake et al (14)	$T_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}$
McCuen et al (15)	$T_c = 2,25i^{-0,7164}L^{0,5552}S^{-0,2070}$
Carter (15)	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$
Eagleson (15)	$T_c = 0,274nR^{-0,67}LS^{-0,5}$
Desbordes (16)	$T_c = 0,0869A^{0,3039}S^{-0,3832}A_{imp}^{-0,4523}$
Espey-Winslow (15)	$T_c = 0,343 \phi L^{0,29} S^{-0,145} A_{imp}^{-0,6}$

Fonte: Silveira (2005)

Há inúmeras equações referentes ao cálculo do tempo de concentração de uma bacia, sendo necessária a análise das fórmulas que mais se adequam às características da bacia do Riacho do Frango.

Portanto, Silveira (2005), realizou estudos de análise de desempenho das equações supracitadas, e apresentou as equações de tempos de concentração que demonstraram resultados representativos com relação à realidade das bacias urbanas e rurais.

As fórmulas do tempo de concentração selecionadas por Silveira (2005), foram classificadas em 'R' para bacias rurais e 'U' para bacias urbanas, além de enumerar as equações que apresentaram os melhores resultados, sendo o número de preferência localizado antes da letra que indica o tipo de bacia. As fórmulas indicadas por Silveira (2005), podem ser observadas na figura 4.

Figura 4 - Equações de tempo de concentração indicadas

Fórmulas	Ordem	Bacias rurais			Bacias urbanas		
		Áreas (km ²)	EM%	EP %	Áreas (ha)	EM %	EP %
Corps E.	1R	<12000	9	21			
V. Chow	2R	<12000	-7	19			
Onda Cin.	3R	<12000	2	20			
Kirpich	4R, 3U	<12000	-9	19	<2700	1	39
Carter	1U				<1100	1	40
Schaake	2U				<62	-9	30
Desbordes	4U				<5100	11	49

Fonte: Silveira (2005)

4.6.4 Equação da chuva de intensidade-duração-frequência (IDF)

As equações da chuva ou curvas intensidade-duração-frequência (IDF), são obtidas por meio das séries históricas de alturas de precipitações (mm/hora) x duração (min), sendo esses valores tabulados e submetidos a uma análise estatística, no qual cada região possui sua própria equação (ALMEIDA, 2020).

Além disso, é imprescindível a determinação das variáveis intensidade, duração e frequência da chuva, principalmente relacionado às precipitações máximas. A curva IDF é bastante utilizada para o dimensionamento de obras hidráulicas, como por exemplo, canais de macrodrenagem.

Segundo o Manual de Drenagem Urbana (2002), as curvas IDF fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno considerado. Sendo necessário, para obtenção das curvas IDF, a sintetização dos dados pluviográficos, advindos dos postos pluviométricos, em relações de intensidade-duração-frequência.

Esses dados devem passar por uma modelagem estatística, a fim de estabelecer uma relação matemática entre as variáveis precipitação e período de retorno. Um dos métodos bastante utilizados para a obtenção desses dados é a distribuição de Gumbel (1958), que relaciona variáveis extremas aleatórias, estabelecendo uma relação logarítmica entre os valores escolhidos. A distribuição de Gumbel é amplamente aplicada na hidrologia, com o objetivo de analisar as frequências ou probabilidades relacionadas às precipitações intensas que geram diferentes riscos para rios e bacias. O período de retorno é a variável que se relaciona com a precipitação observada e obtida pelo inverso da frequência de ocorrência da chuva, gerando, dessa forma, uma relação logarítmica entre as precipitações máximas teóricas e os períodos de retorno específicos para cada evento, ressaltando que, os dados das precipitações observadas devem estar bem ajustadas na distribuição (Guimarães, 2011)

Para a obtenção do comportamento hidráulico da seção de estudo, é necessário que haja a quantificação da chuva de projeto, para diferentes durações e períodos de retorno, com o objetivo de analisar sua capacidade de suporte e risco de prováveis enchentes.

4.6.4.1 *Desagregação da Chuva*

A desagregação da chuva consiste em separar a chuva máxima diária em períodos menores que 24h, pois para um evento de precipitação com determinado tempo de duração espera-se que possua diferentes intensidades neste período.

Segundo Silveira (2000), para relacionar uma chuva de 1 dia para períodos menores de duração, é necessário que haja um coeficiente de desagregação disponível para cada tempo de duração, no qual primeiramente encontra-se a chuva de 24h e a partir da mesma, obtém as precipitações para os diferentes tempos de duração determinados.

Esses coeficientes de desagregação foram tabelados e disponibilizados pelo DAEE/Cetesb (1986), para alguns períodos de duração de chuva, no entanto pela limitação dos valores disponibilizados pelo órgão, Silveira (2000), determinou uma equação empírica que relaciona a chuva de 24h para qualquer tempo de duração estimado. A desagregação da chuva é uma etapa imprescindível para a plotagem da equação da chuva.

4.6.5 *Distribuição temporal*

A distribuição espacial da chuva permite que haja o condicionamento da precipitação excedente, sendo esta a responsável pelo escoamento superficial da bacia. As precipitações excedentes são utilizadas para a plotagem dos hidrogramas de escoamento superficial direto (TUCCI,1995).

Segundo Barbosa Júnior (2022), o hidrograma consiste em uma representação gráfica da vazão instantânea que percorre a seção de um determinado curso de água, em relação ao tempo de passagem da água pela própria seção, sendo estes fatores considerados em razão da ocorrência de uma chuva na bacia de estudo.

Para a determinação do hidrograma correspondente às vazões instantâneas, necessita-se encontrar, primordialmente, o hidrograma que relaciona as precipitações críticas observadas em chuvas de menor duração. De acordo com Bemfica et al. (2000), um dos métodos de distribuição temporal utilizados para se determinar a precipitação para um tempo de duração estimado, é o método de Yen e Chow (1980), que determina uma certa intensidade de pico, geralmente esperada para um tempo localizado entre o início e a metade da duração do evento,

gerando um hidrograma triangular. Para o encontro das precipitações, é necessário a discretização do hidrograma em hietogramas.

Por fim, encontram-se as vazões instantâneas, que têm fundamental importância na análise e estudo de obras hidráulicas. Portanto, para a análise do canal de macrodrenagem do Riacho do Frango, a determinação do hidrograma que representa a curva de vazões no período de cheia, é imprescindível.

4.6.6 Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS) para precipitações efetivas

As precipitações efetivas, em uma bacia hidrográfica, referem-se à parcela de chuva que promove efetivamente o escoamento superficial. Essa parcela pode ser compreendida como um valor correspondente a precipitação a partir de uma superfície na qual o solo se encontra saturado ou impermeável, ou seja, a precipitação efetiva ocorre quando não há mais infiltração.

O cálculo da parcela correspondente do solo é imprescindível para que se possa quantificar a precipitação efetiva e conseqüentemente o escoamento superficial que ocorre na bacia. Segundo Barbosa (2022), o método SCS, pode ser aplicado para se encontrar a parcela de precipitação que não infiltra no solo.

Para o método SCS, os fatores que influenciam na infiltração são, o grupo hidrológico do solo, tipo de cobertura, condições hidrológicas, e condições de umidade antecedente. Além disso, é amplamente utilizado para a estimativa de vazões de projeto, necessárias para o dimensionamento de sistemas de macrodrenagem por levar em consideração vários parâmetros característicos da bacia de estudo (PATRÍCIO *ET AL.*, 2021).

Segundo o Manual de Drenagem Urbana (2002), para áreas superiores a 4 km, o método do SCS é recomendado, pois relaciona as distribuições temporais de chuvas com as características de uso e ocupação do solo, sendo estruturado para realizar estimativas de vazões para bacias rurais e urbanas. Além disso, o método baseia-se na construção de um hidrograma unitário, no qual a partir das variáveis obtidas na caracterização da bacia, determina-se uma vazão de pico específica.

A precipitação que gera o escoamento superficial é denominada de precipitação efetiva, no qual para seu cálculo deve-se desconsiderar as perdas por infiltração, ou seja, toda precipitação abaixo dessa perda, implica em não ocorrência do escoamento superficial (MANUAL DE DRENAGEM URBANA, 2002).

Um dos principais parâmetros, de acordo com Barbosa (2022), do método SCS, é o número de curva, ou CN, que relaciona as características físicas do solo com o seu uso e

ocupação, além disso, o CN possui valores correspondentes para bacias rurais e urbanas, tendo seu valor variando entre 0 e 100, no qual, representa a umidade e cobertura do solo, tratando-se de um parâmetro empírico utilizado para a determinação do escoamento superficial direto a partir dos excessos das precipitações, que dependem das mudanças do uso e cobertura do solo (MELLO, 2020).

Com relação aos parâmetros que influem no escoamento superficial, eles podem ser aplicados no *software Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*, que foi desenvolvido com o objetivo de realizar simulações que estimam a resposta de uma bacia hidrográfica a determinado evento de precipitação, levando-se em conta todas as várias fluviomorfológicas que são imprescindíveis para a modelagem hidrológica, solucionando a maior variedade de problemas, sendo possível sua aplicação em diversas áreas geográficas, abarcando situações que envolvam grandes rios, inundações hidrológicas, pequenos escoamentos de bacias urbanas, entre outros (MAIA ET AL., 2021).

4.7 Dimensionamento de canais

Os canais de macrodrenagem urbana podem ser apresentados naturalmente como rios característicos de determinada bacia hidrográfica. Para Tucci (1995), à medida em que a impermeabilização do solo cresce com o crescimento da malha urbana, a contribuição das vazões advindas desses centros, podem não ser mais suportadas pela bacia de forma natural. Portanto, um canal de macrodrenagem apresenta-se como uma solução construtiva, por exemplo, quando um rio natural demonstra seção insuficiente para escoar de forma satisfatória as vazões advindas da drenagem urbana, logo uma das alternativas seria o aumento da seção e revestimento das paredes do talvegue. Sendo intrinsecamente importante a análise das peculiaridades da região antes da tomada de decisões.

O planejamento e análise de viabilidade para a construção de canais, deve levar primordialmente em consideração, os impactos ambientais e alterações no regime hidrológico da bacia, na qual será implementada a construção do sistema de macrodrenagem.

Segundo Tucci (1995), deve-se determinar todos os fatores que podem dificultar ou inviabilizar a construção de obras hidráulicas na região, sendo importante considerar os requisitos hidráulicos e as necessidades urbanas locais. Além disso, alguns critérios de projeto devem ser considerados, sendo eles:

- Vazões de projeto: As vazões de projeto estão relacionadas com a probabilidade de ocorrência de determinado evento hidrológico, abarcando nos cálculos de dimensionamento as estimativas hidrológicas e os parâmetros hidráulicos;
- Diretrizes Geométricas: O comprimento, percurso e declividade do canal são considerados para a análise das velocidades de escoamento, que determinam a necessidade, ou não, de revestimentos nas paredes do canal mais onerosas;
- Desempenho e Impactos ambientais: Quanto maior a ampliação da capacidade de descarga de um canal, maior é a preocupação com problemas à jusante, logo a necessidade de estruturas paralelas que auxiliem no amortecimento das vazões de chuva são essenciais, além disso, também devem ser estabelecidos manutenções regulares, limpeza das seções e implementação de dispositivos retentores de lixos e sedimentos.

O escoamento de canais é caracterizado como conduto livre, ou seja, possui um lado da seção exposta ao ar, no qual atua a pressão atmosférica, e seu escoamento ocorre por meio da gravidade, logo a declividade exerce influência direta em relação ao seu regime de escoamento.

O regime de escoamento de um conduto pode ser classificado como permanente, a velocidade constante, ou não permanente, com velocidade variável, geralmente no dimensionamento de canais considera-se o escoamento a regime permanente, no entanto, sabe-se que para qualquer escoamento, haverá variações nas velocidades, por isso é importante prever simulações de desempenho do canal para diferentes situações.

Segundo o Manual de Drenagem de Juiz de Fora (2011), o regime de escoamento permanente é utilizado para projetos com vazões máximas previstas para determinado sistema hidráulico. O regime permanente permite que seja possível conhecer os níveis e vazões ao longo do rio e no tempo, sendo a representação da situação real.

Com relação ao escoamento livre, Porto (2006), demonstra as dificuldades em se determinar a seção ideal de projeto para um canal, devido a disponibilidade de inúmeras formas geométricas possíveis de se adotar, cabendo, portanto, ao projetista escolher a que melhor atenda às limitações e necessidades da região.

Para o dimensionamento e especificações de um projeto de canal de macrodrenagem, Porto (2006), afirma a necessidade de qualificar os seguintes parâmetros hidráulicos característicos de canais a céu aberto:

- Área molhada: Área da seção característica da região de escoamento do canal, sendo normal à direção do fluxo;

- Perímetro molhado: Comprimento da seção em contato com o fluxo do escoamento (paredes e fundo);
- Altura da lâmina de água: É a altura vertical correspondente ao fundo do canal até a superfície;
- Raio Hidráulico: É a razão entre área molhada e perímetro molhado;
- Declividade de Fundo: É a declividade longitudinal do canal, necessária ao escoamento por gravidade;
- Largura do topo: É a largura da seção do canal na superfície.

Ainda de acordo com Porto (2006), para o dimensionamento hidráulico de canais, a fórmula de *manning* pode ser aplicada para o cálculo dos parâmetros hidráulicos apresentados anteriormente, desde que os critérios de projeto considerem o escoamento a regime permanente, além disso algumas medidas devem ser observadas em projeto, como a determinação de borda livre de 20% a 30% da altura do canal em relação à altura da lâmina de água, e da adoção de valores com acréscimo de 15% a 20%, para os coeficiente de rugosidade escolhido devido ao envelhecimento das paredes do canal, além de se realizar a análise ambiental e econômica da região.

5.0 METODOLOGIA

5.1 Etapas metodológicas

A metodologia utilizada, se baseia na obtenção dos parâmetros hidrológicos a partir de dados de séries históricas obtidas na HidroWeb (2023), além do uso de recursos de geoprocessamento para delimitação da área de estudo, utilizando-se como orientação, a literatura acadêmica e técnica relacionada à drenagem urbana e hidrologia. Devido esses fatores, os elementos principais para a obtenção dos resultados e sua posterior comparação aos parâmetros hidráulicos do canal do Riacho do Frango.

Para a organização e obtenção dos resultados, foram utilizados softwares computacionais de geoprocessamento Qgis, de modelação hidrológica (HEC-HMS), além do uso do programa Excel, para o cálculo, montagem de planilhas e plotagem de gráficos.

Com relação a análise dos resultados, realizou-se a comparação os valores obtidos através do estudo hidrológico, com os utilizados no dimensionamento do canal, apresentando as problemáticas evidenciadas e presentes na seção de estudo, localizada nas coordenadas geográficas ($37^{\circ}16'59.8''W$; $7^{\circ}00'45.0''S$), de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Canal do Riacho do Frango: Seção de estudo; coordenadas geográficas



Fonte: Autor (2023)

As etapas referentes ao processo metodológico do presente trabalho apresentam-se a seguir.

5.1.1 *Delimitação da Bacia de Contribuição*

A delimitação da Bacia do Riacho do Frango foi realizada por meio da ferramenta computacional Qgis Desktop 3.16.8 *With Grass 7.8.5*.

5.1.2 Características físicas da bacia de contribuição

Nesta etapa foram obtidos dados topográficos, da área de estudo, informações referentes à cobertura vegetal, determinação do tempo de concentração e comprimento do talvegue, sendo utilizado, como ferramenta de auxílio o Qgis.

5.1.3 *Dados de precipitações*

Foram analisados, e organizados em Excel, dados de séries históricas, disponíveis na hidroweb, além do cálculo das precipitações máximas para diferentes períodos de retorno, e a posterior determinação da equação da chuva para a área de estudo.

5.1.4 *Hidrogramas de Projeto*

Os hidrogramas de projeto foram estimados a partir da distribuição temporal das precipitações máximas, de acordo com os períodos de retorno adotados e plotados pela ferramenta Excel.

5.1.5 *Parâmetros hidráulicos do canal do Frango*

Os parâmetros hidráulicos foram calculados para a máxima eficiência, sendo determinado coeficiente de rugosidade, área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico, para a seção de estudo.

5.1.6 *Simulação do comportamento hidrológico do canal do Frango*

Com base nos dados obtidos, nesta etapa foi realizada a simulação do comportamento hidrológico do canal do Frango utilizando a ferramenta computacional HEC-HMS.

5.1.7 Apresentação dos Resultados

Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros hidráulicos do canal do Frango, identificando as problemáticas que venham a ser posteriormente evidenciadas e por fim, elaborou-se conclusões e soluções, de acordo com a complexidade do problema. Nesta etapa foi apresentado planilhas, gráficos e imagens, fornecidas por todas as ferramentas utilizadas no presente trabalho.

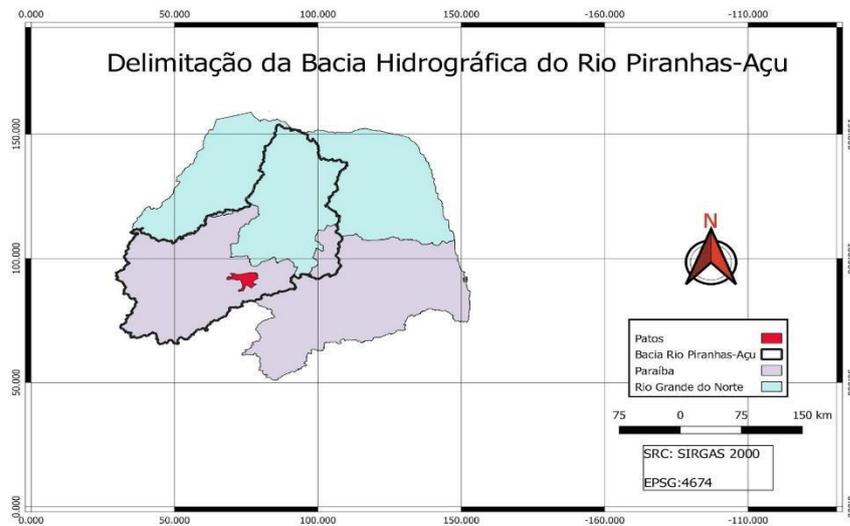
5.2 Caracterização da região de estudo

O município de Patos/PB, segundo o IBGE (2021), possui uma população estimada de 108.766 habitantes e densidade demográfica igual a 212,82 hab./km², apresentando um acentuado crescimento urbano, e enfrentando problemas em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Com relação a área de estudo do presente trabalho, o canal de macrodrenagem do riacho do Frango, localizado no município de Patos/PB é pertencente a sub-bacia do rio espinharas, o qual pertence a bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu (CPRM, 2005).

A seção característica de estudo do canal de macrodrenagem do Riacho do frango possui coordenadas (37°16'59.8"W;7°00'45.0"S), e coordenadas de exutório (37°16'36.5"W; 7°00'40.0"S). Para a escolha do local da pesquisa levou-se em consideração a região, que apresenta áreas de ocupação residencial, comercial e educacional. Além disso, o local é considerado um ponto importante para o trânsito de automóveis e pedestres, devido a isso incidências de enchentes podem apresentar um risco potencial para a região e funcionamento da atividade antrópica local. Portanto, a seção estudada apresentou ser um ponto importante para a análise hidrológica e de macrodrenagem do canal.

Figura 6 - Delimitação da bacia Piancó-Piranhas-Açu

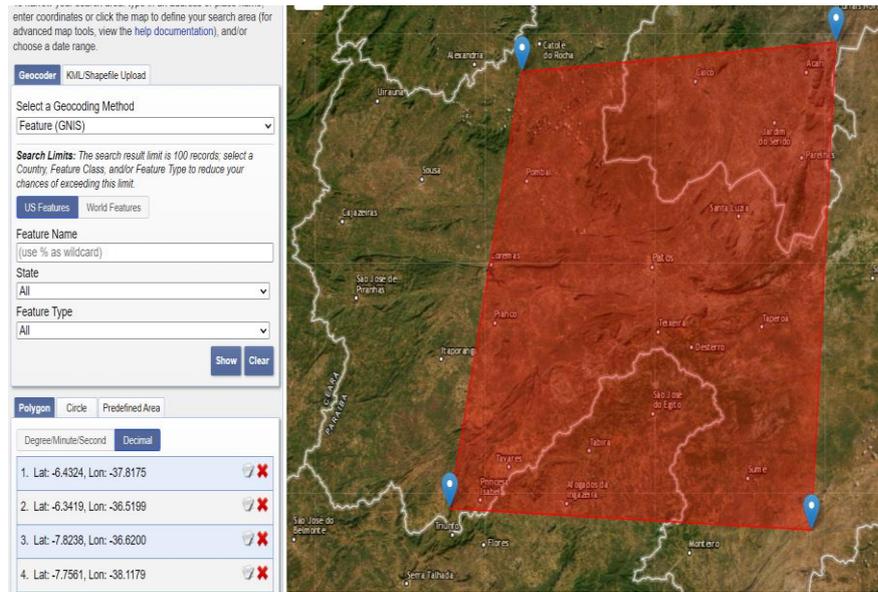


Fonte: Autor (2023)

Para se obter os parâmetros hidrológicos e físicos da bacia do Riacho do Frango, utilizou-se das ferramentas e algoritmos de geoprocessamento fornecidos pelo Software Qgis Desktop 3.16.8 *With Grass* 7.8.5. Os principais algoritmos aplicados para a delimitação da bacia e do fluxo de drenagem foram os algoritmos *r.watershed* e *r.water.outlet*, que são algoritmos de determinação de bacias hidrográficas a partir de quatro arquivos RASTER MDE (modelo digital de elevação) adquiridos pelo site USGS *EarthExplorer*, satélite *Landsat*. Por meio do MDE foi-se possível obter variáveis como fluxo de drenagem, comprimento do talvegue principal, área da bacia, hipsometria da bacia, perfil altimétrico, uso e ocupação do solo, entre outros.

O recorte dos arquivos RASTER para obtenção do modelo digital de elevação pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Obtenção do modelo digital de elevação pelo site da USGS

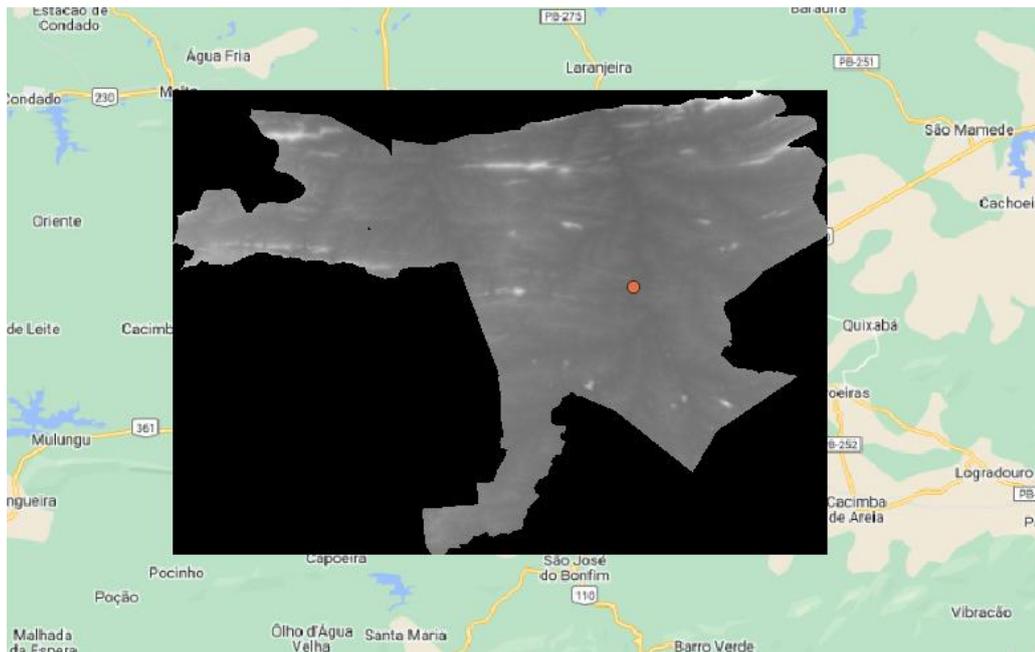


Fonte: earthexplorer.usgs.gov (2023)

É necessário que os quatro recortes ocupem uma área de abrangência maior que a da área de estudo, portanto deve-se recortar o RASTER MDE utilizando a ferramenta 'recortar raster pela camada de máscara', a partir de um arquivo *shapefile* contendo o município de Patos, obtido por meio do site da ANA nos arquivos relacionados a Bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu.

O recorte da camada RASTER MDE utilizada na delimitação da bacia do Riacho do Frango pode ser observada na Figura 8.

Figura 8 - Recorte de camada Raster (Máscara)



Fonte: Autor (2023)

A partir das coordenadas do exultório é possível delimitar a bacia hidrográfica e sua rede de drenagem por meio dos algoritmos *r.watershed* e *r.water.outlet*, e a partir das coordenadas da seção de estudo obtida em campo, foi possível determinar sua localização no mapa da bacia.

A figura 9, apresenta os pontos de exultório (Laranja) e da seção estudada (Verde), da bacia.

Figura 9 - Ponto de Exultório (Laranja), e da seção de estudo (Verde)



Fonte: Autor (2023)

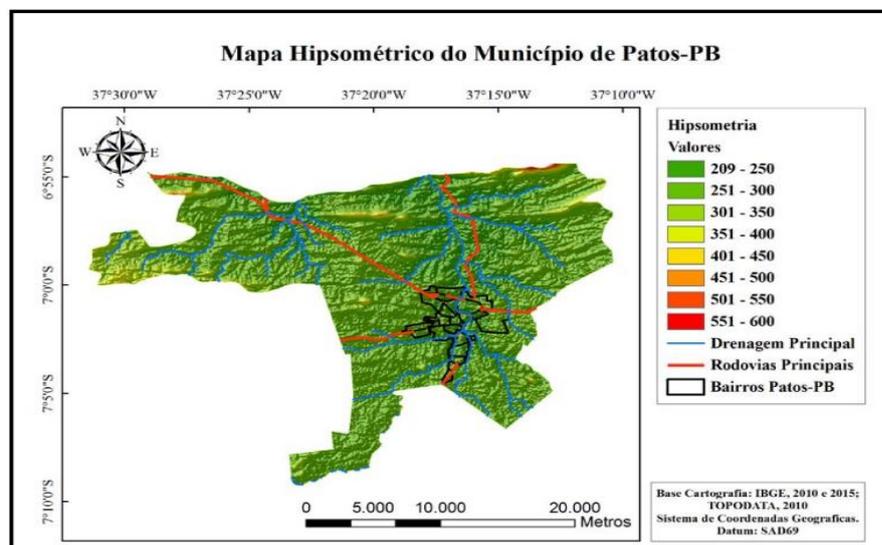
5.3 Aspectos Topográficos

O estudo topográfico apresenta-se como fator fundamental para a compreensão do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, pois a partir das cotas altimétricas pode-se ter conhecimento da declividade do talvegue, que influencia diretamente na velocidade do escoamento superficial, além de determinar o perfil longitudinal dos talvegues que formam a bacia.

Segundo Gomes *et al.* (2019), a topografia se faz presente em muitos conceitos da área da hidrologia, pois os dados fluviométricos necessitam de referências verticais para a determinação do perfil longitudinal dos rios e sua variação no tempo, o cálculo de parâmetros hidrodinâmicos, a determinação do potencial hidráulico dos rios, além de fixar um controle vertical de cheias, permitindo o reconhecimento de áreas de risco a inundações, por exemplo.

No contexto referente ao município de Patos/PB, a cidade apresenta topografia com cotas altimétricas variando entre 240 metros à 580 metros, sendo seu relevo classificado como ondulado a suavemente ondulado, com declividade média à baixa, exceto áreas ao norte onde se localiza a serra de Carnaúba, os serrotes do Espinho Branco e Forquilha ao sul, o Serrote de Serra Negra no centro-oeste, os serrotes de Campo Alegre, Trapiá e Serra do Boqueirão a noroeste, e à oeste, os serrotes Pitombeiras, do Caboclo e do Tamanduá, no qual para todas essas áreas, a declividade é considerada de média a elevada (CPRM,2005). A figura 10, apresenta o mapa hipsométrico da cidade de Patos/PB.

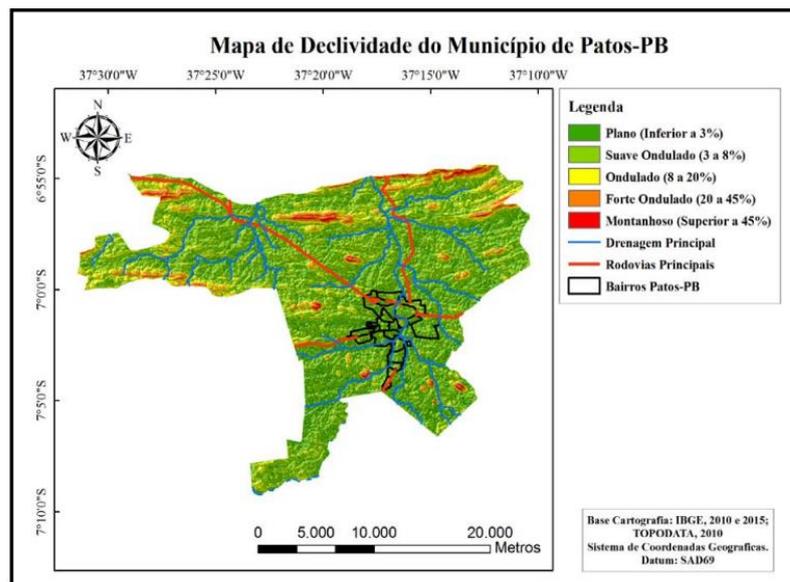
Figura 10 - Mapa Hipsométrico do Município de Patos/PB



Fonte: Tanus *et al.* (2016)

Segundo Tanus et.al (2016), após a determinação da hipsometria junto a rede de drenagem, é possível notar algumas áreas próximas a corpos hídricos de baixa altimetria, sendo, essas regiões, geralmente sujeitas a inundações naturais em períodos de chuvas intensas, podendo vir a enfrentar problemas devido à ocupação humana. A figura 11, demonstra o mapa de declividade da cidade de Patos-PB.

Figura 11 - Mapa de Declividade do Município de Patos-PB



Fonte: Tanus *et al.* (2016)

A partir da Figura 11 é possível notar a predominância do relevo plano a suave ondulado no município de Patos/PB.

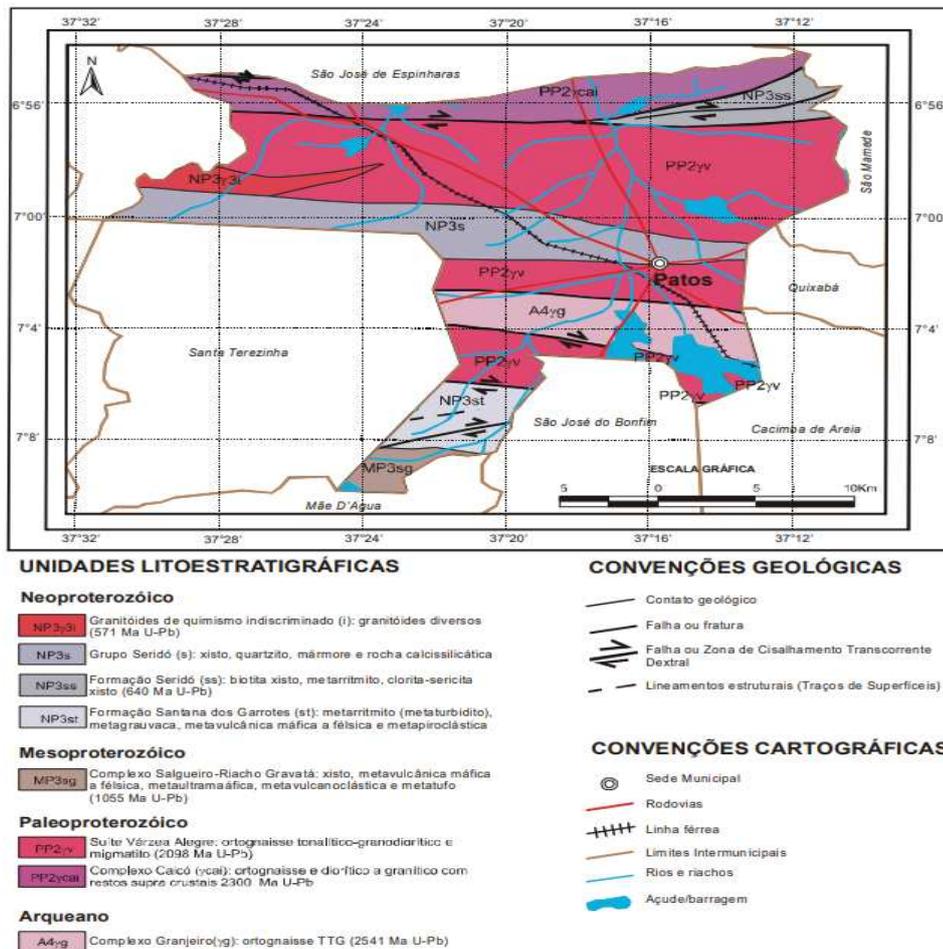
A declividade é uma variável essencial, que junto a outros fatores, tais como grau de impermeabilização do solo, características do solo, barreiras para o escoamento, entre outros, permitem a análise da capacidade de determinada área em absorver ou escoar superficialmente a água precipitada (TANUS *ET AL.*, 2016).

5.4 Aspectos geológicos e características do solo

O estudo geológico do município de Patos/PB foi realizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM em 2005, no qual foi mapeada toda a estrutura geológica da cidade.

Na figura 12, pode-se observar o mapeamento geológico referente a cidade de Patos/PB.

Figura 12 - Mapa geológico do município de Patos/PB



Fonte: CPRM (2005)

Nota-se que o município possui grande parte de constituição geológico formada pela Suíte Várzea Alegre: ortognaisse tonalítico-granodiorítico e migmatito (2098 Ma U-Pb) com origem no período paleoproterozóico, além disso, parte dessa constituição localiza-se na região central da cidade, onde se encontra a malha urbana.

Com relação ao estudo geotécnico relacionado às características do solo presente na cidade de Patos/PB, segundo Lucena.et.al (2019), após uma pesquisa realizada em vários afloramentos rochosos na região, constatou-se uma grande predominância de Luvissoles.

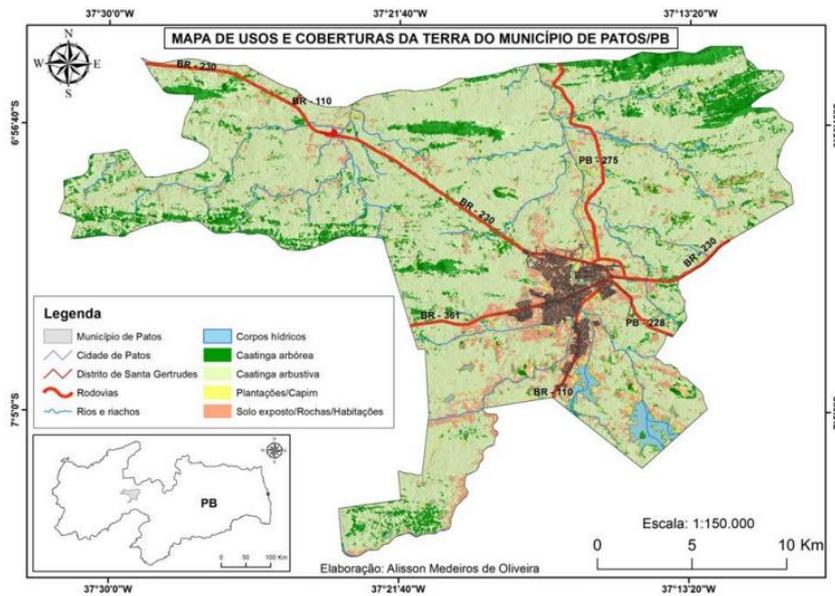
5.5 Estudo da vegetação

O estudo da vegetação característica de uma região torna-se imprescindível, visto que um dos fatores que influenciam no escoamento superficial se dá através da capacidade de interceptação da água das chuvas por meio da vegetação.

O município de Patos/PB está localizado na região do semiárido brasileiro, possuindo bioma nativo denominado Caatinga, sendo subdivida, na região de estudo, em vegetação arbustivo-arbórea aberta, arbustivo-arbórea fechada, e arbórea fechada, apresentando cerca de 57% com baixo a médio grau de cobertura do solo (FERREIRA *ET.AL*, 2001).

Na figura 13, é possível notar a ocupação de grande parte do município pela vegetação Caatinga do tipo arbustiva.

Figura 13 - Mapa de uso e cobertura vegetal do município de Patos/PB



Fonte: Alves (2020)

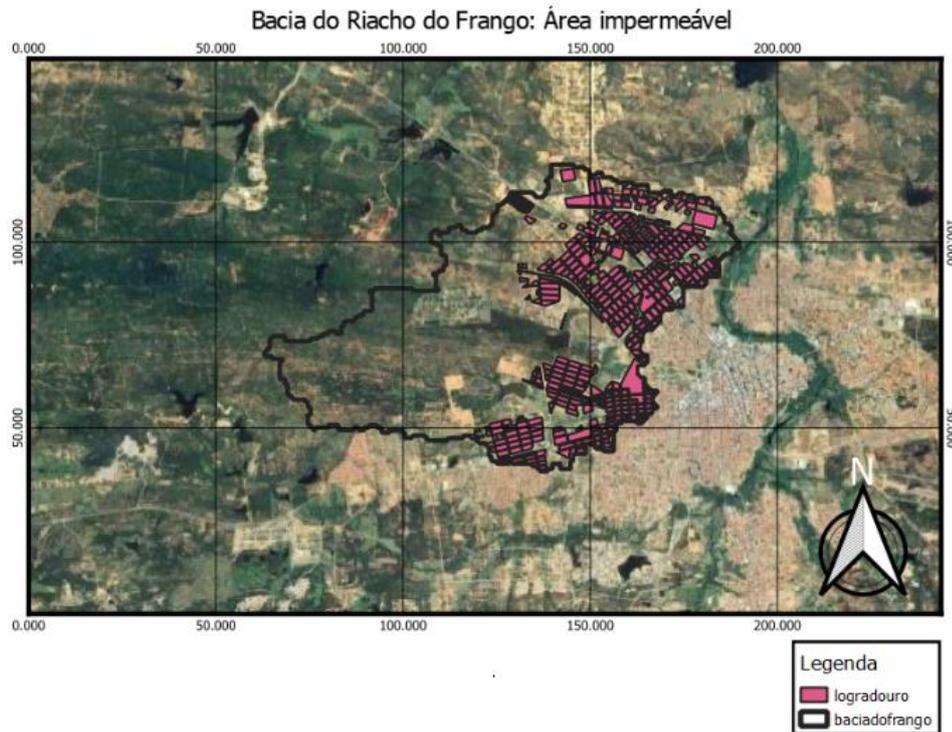
5.6 Uso e ocupação do solo

Para a determinação do mapa de uso e ocupação do solo, foi utilizado o complemento MapBiomias Collection 7.0 (2021), que fornece arquivos RASTER espaciais para cada área de ocupação e preservação característicos da bacia do Riacho do Frango.

Com relação a classificação, para cada área de uso e ocupação do solo, utilizou-se a nomenclatura fornecida pelo próprio MapBiomias. A quantificação de cada área foi obtida por meio da vetorização das camadas RASTER adotando-se pixels de 30x30cm, cuja junção fornece a área de ocupação. Além disso, é necessário que se tenha conhecimento da área impermeável da bacia, elemento de extrema importância para a determinação do tempo de concentração e do escoamento superficial da bacia.

O mapa correspondente à área impermeável, pode ser observado na figura 14, no qual os logradouros são as áreas correspondentes às residências, comércios, escolas, entre outros estabelecimentos, sendo esses espaços considerados como impermeáveis. O arquivo shapefile dos logradouros foi obtido por meio do site referente ao Portal de Mapas do IBGE (2021).

Figura 14 - Mapeamento da área impermeável da Bacia do Riacho do Frango



Fonte: Autor (2023)

5.7 Aspectos Hidrometeorológicos

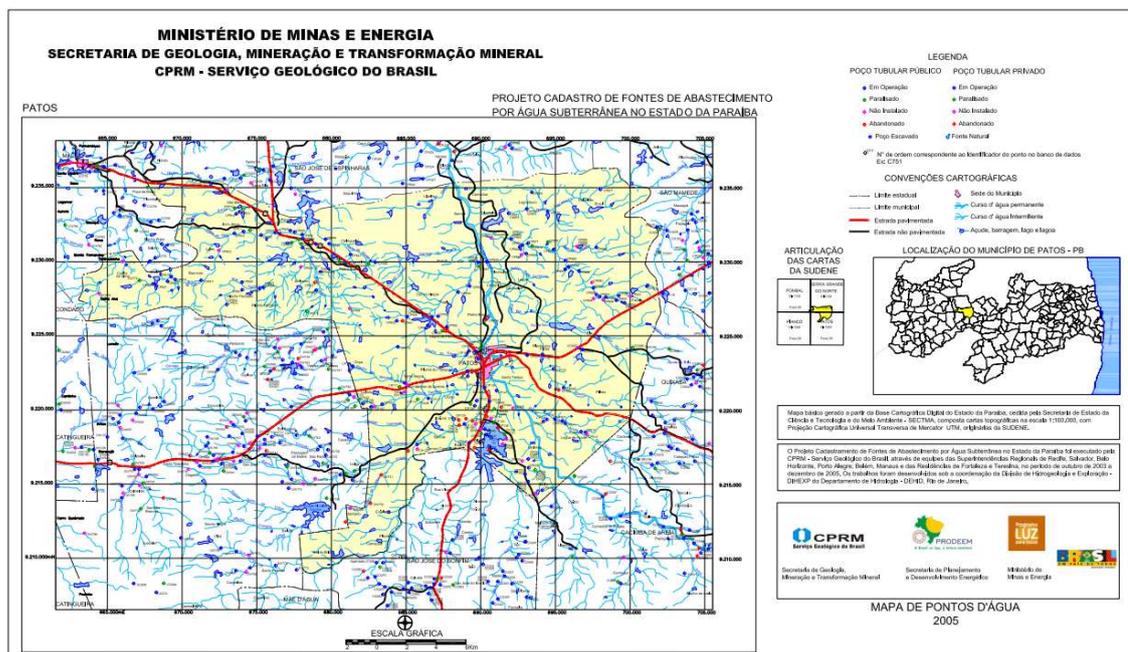
O Riacho do Frango, localizado no município de Patos/PB, é caracterizada como um afluente do Rio Espinharas, no qual contribui com o escoamento superficial advindo de toda a bacia. Além disso, por ser uma bacia que possui parte de sua área de delimitação ocupada pela malha urbana, fatores como a impermeabilização do solo e o clima da região, influem na natureza e intensidade do escoamento superficial.

A cidade de Patos/PB, segundo a CPRM (2005) é caracterizada por ser um município de clima quente e úmido apresentando chuvas de verão e outono, possuindo classificação bioclimática 4aTh-Tropical quente, com seca acentuada de 7 a 8 meses ocorrendo a oeste do município, e à leste possui classificação bioclimática do tipo 2b-Sub-desértico quente de tendência tropical com 9 a 11 meses seco, além disso possui pluviosidade média anual de

715,3mm (1915-1985), com 78% das chuvas concentradas em 4 meses (JFMA), tendo vegetação do tipo Caatinga-Sertão e temperatura média anual entre 27°C à 28°C. Com relação a classificação climática de Köppen (1948), o clima predominante é do tipo semiárido (BS) e quente (h) (Gomes,2013).

Na figura 15, é possível observar os cursos de água que formam toda a rede hidrográfica do município de Patos.

Figura 15- Mapeamento da Hidrografia superficial e subterrânea da cidade de Patos/PB



Fonte: CPRM (2005)

5.8 Equação da Chuva de intensidade-duração-frequência (IDF)

Para a determinação da equação da chuva, primeiramente, foi realizado o tratamento estatístico dos dados referentes às chuvas máximas diárias anuais, obtidas por meio do site da ANA pelo portal da Hidroweb.

Os dados de chuvas máximas diárias anuais utilizados foram correspondentes a dois postos pluviométricos contendo séries de chuvas de 1926-1985 e 1994-2018, totalizando 85 anos de dados de chuvas. Porém foi necessário desconsiderar as séries de dados que possuem dados em branco ou coleta não realizada, resultando em uma série de dados correspondente a 77 anos de medição.

Em seguida, em posse das séries de chuvas máximas diárias anuais, realizou-se o tratamento dos dados por meio do Microsoft Excel, no qual os valores foram organizados de forma decrescente.

Após a organização dos dados, deu-se início a análise estatística utilizando as funções DESV.PAD.A e MEDIA no Excel, para a obtenção do desvio padrão e a média aritmética da amostra. Dando prosseguimento, foi calculada a frequência para cada precipitação máxima correspondente, apresentada pela Equação 1, a seguir.

Equação 1

$$F = \frac{m}{n + 1}$$

Onde:

- F é o corresponde a frequência com que um evento de chuva de ordem 'm' pode ser superado ou igualado (adimensional).
- m é a ordem correspondente para cada valor de chuva, variando de 1 a 'n' valores (adimensional).
- n é o número máximo de anos observados na série histórica (adimensional).

A partir da frequência observada para a série histórica, calculou-se o período de retorno (Tr), que corresponde a quantidade de anos necessários para que certo evento de chuva seja igualado ou superado, podendo ser expresso pela Equação 2.

Equação 2

$$Tr = \frac{1}{f}$$

Onde:

- Tr é o período de retorno, em anos.
- F é a frequência (adimensional).

Para o tratamento estatístico dos dados, utilizou-se da distribuição de Gumbel, no qual realizou-se, primeiramente, o cálculo da variável observada (Y) de Gumbel a partir da Equação 3.

Equação 3

$$Y = -\ln\left(-\ln\left(\frac{Tr - 1}{Tr}\right)\right)$$

Onde:

- Y é a variável reduzida de Gumbel (adimensional).
- Tr é o período de retorno, em anos.

Obtendo-se a variável observada, é possível calcular a precipitação teórica a partir da Equação 4.

Equação 4

$$H_{teo} = \mu + S \cdot (0,7797 \cdot Y + 0,45)$$

Onde:

- H_{teo} é a precipitação teórica na distribuição de Gumbel, em mm.
- μ é a média da amostra, em mm.
- S é o desvio padrão da amostra, em mm.

A partir das precipitações teóricas, plotou-se um gráfico relacionando os valores das precipitações teóricas, obtidas da distribuição de Gumbel, e das precipitações observadas nas séries históricas, com o objetivo de analisar o ajuste dos resultados teóricos em relação aos observados.

Em seguida, as magnitudes de evento para as precipitações máximas foram calculadas, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 anos.

Para o cálculo dos coeficientes de desagregação da chuva, foi utilizado, primeiramente, o valor de 1,14 para o coeficiente de transformação da chuva de 1 dia para a chuva de 24h, obtido por meio do DAEE/Cetesb (1986), os outros coeficientes referentes às outras durações de tempo, foram obtidas através da Equação 5, proposta por Silveira (2000).

Equação 5

$$C_{24}(d) = e^{1,5 \times \ln(\ln d / 7,3)}$$

Onde:

- d é a duração da chuva referente ao coeficiente de desagregação, em min.

- C24(d) é o coeficiente referente ao tempo de duração escolhido (adimensional).

Para o cálculo dos coeficientes, as precipitações máximas teóricas foram desagregadas em durações de chuva de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 720, 900, 1200 e 1440 minutos.

O processo de cálculo iniciou-se, primeiramente, pela multiplicação da chuva máxima diária correspondente a cada período de retorno pelo coeficiente de desagregação para 24 h de chuva ou 1440 minutos. Após o cálculo da precipitação de 24h, multiplicou-se seu valor por cada coeficiente de desagregação, obtido pela equação de Silveira (2000), para os intervalos de tempo de duração anteriormente citados, formando assim a tabela de desagregação das chuvas máximas diárias.

Em seguida, dividindo-se cada valor de precipitação pelo seu tempo de duração obtém-se a tabela de desagregação da chuva em função da intensidade. Sendo possível plotar curvas IDF a partir da tabela de intensidades, para cada período de retorno considerado.

Aplicando-se o logaritmo nos valores da tabela de intensidade, obteve-se a IDF linearizada, sendo possível determinar as equações referentes a cada reta produzida pelo Excel, sendo seus coeficientes lineares e angulares necessários para a determinação dos parâmetros referentes a equação da chuva, representada pela Equação 6.

Equação 6

$$i = \frac{c}{(t + t_0)^n} = \frac{K \cdot Tr^m}{(t + t_0)^n}$$

Onde:

- i é a intensidade da chuva, em mm/h.
- t é o tempo de duração da chuva, em min.
- Tr é o período de retorno, em anos.
- K , m , n e t_0 , são parâmetros de ajuste da equação da chuva, que descrevem as condições locais (adimensionais).

Aplicando-se a anamorfose logarítmica, obtém-se a Equação 7.

Equação 7

$$\log(i) = \log(C) - n \cdot \log(t + t_0)$$

Onde:

- Os valores do log (C), são determinados pelo coeficiente linear da reta.
- O valor de n, é correspondente ao coeficiente angular da reta.

Para a plotagem das equações da reta com maior confiabilidade possível dos resultados, realizou-se o cálculo do parâmetro t_0 , para a obtenção do log (t + t_0) da IDF linearizada.

Para o cálculo do parâmetro t_0 , de acordo com Britto Kelner (2016), Wilken(1978), afirma que o método Fair-Greyer pressupõem que a ocorrência de um evento de chuva com período de retorno 'Tr', ocorre a cada $n/5$ anos. Sendo o período de retorno fixado para a determinação do t_0 .

O período de retorno (Tr) é calculado a partir da Equação 8.

Equação 8

$$Tr = \frac{n}{5}$$

Onde:

- n é o número máximo de anos observados na série histórica (adimensional).
- Tr é o período de retorno, em anos.

Em seguida utiliza-se o período de retorno para calcular a precipitação teórica pela distribuição de Gumbel, e repete-se todo o processo supracitado para obtenção da curva IDF.

Após a obtenção da tabela, Kelner e Britto (2016) afirmam que é possível estabelecer uma relação entre um valor de intensidade compreendido entre os valores máximos e mínimos, a partir da Equação 9.

Equação 9

$$I_3 = \sqrt{I_1 \cdot I_2}$$

Onde:

- I_1 é a intensidade de chuva mínima, em mm/h.

- I_2 é a intensidade de chuva máxima, em mm/h.
- I_3 é a intensidade de chuva compreendida entre a máxima e a mínima, em mm/h.

Obtendo-se o valor de I_3 é necessário analisar na tabela os valores correspondentes ao tempo de duração, para cada intensidade, a fim de obter os pares de coordenadas $(I_1;t_1)$, $(I_2;t_2)$, $(I_3;t_3)$.

Após a obtenção dos valores das intensidades e tempos de duração da chuva supracitados, realizou-se o cálculo do t_0 , a partir da Equação 10 também proposta por Kelner e Britto (2016).

Equação 10

$$t_0 = \frac{t_3^2 - (t_1 \cdot t_2)}{t_1 + t_2 - 2 \cdot t_3}$$

Onde:

- t_0 é o parâmetro da equação da chuva, em min.
- t_1 é o tempo de duração mínimo, em min.
- t_2 é o tempo de duração máximo, em min.
- t_3 é o tempo de duração entre t_1 e t_2 , em min.

O valor obtido de t_0 foi somado aos tempos de duração da IDF, obtendo-se equações da reta para cada IDF linearizada, de modo que, a equação da reta, gerada após a aplicação da anamorfose logarítmica, expressou um índice de confiabilidade $R^2=0,9999$.

Com os valores de $\text{Log}(C)$, é possível analisar a anamorfose logarítmica, utilizando outras duas equivalências da equação da chuva, obtendo-se a Equação 11.

Equação 11

$$\text{Log}(C) = \text{Log}(K) + m \cdot \text{Log}(Tr) \quad \text{Log}(C) = \text{Log}(K) + m \cdot \text{Log}(Tr)$$

Em seguida, plotou-se um novo gráfico utilizando os valores obtidos do $\text{Log}(C)$ da linearização da IDF, correspondentes a cada período de retorno, aplicando-se o logaritmo nos valores, e relacionando $\text{Log}(C)$ e $\text{Log}(Tr)$, construiu-se uma equação da reta cujo coeficiente angular é referente ao parâmetro m , e o K equivalente ao inverso do logaritmo do $\text{Log}(K)$.

Com os parâmetros da equação da Chuva calculados, foi possível construir uma nova tabela de desagregação das chuvas, variando os tempos de duração e período de retorno na equação, resultando em curvas IDF com maior confiabilidade.

5.9 Distribuição temporal pelo método de Yen e Chow

Após a obtenção da equação da chuva e determinado os valores das intensidades para cada tempo de duração, foram analisadas as intensidades de chuvas referentes aos períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos, e chuvas com duração de 60, 90 e 120 minutos.

A partir disso, foi desenvolvido a distribuição temporal das precipitações a partir do método de Yen e Chow (1983), no qual considera que durante a ocorrência de um evento de chuva, a intensidade aumenta até cerca de 37,5% do tempo de duração, e após essa intensidade de pico, a chuva tende a diminuir até o fim do evento.

O processo metodológico do método de Yen e Chow consiste em selecionar os valores de intensidades correspondentes aos períodos de retorno e tempos de duração analisados.

A partir da posse das intensidades de chuva, dividiu-se seus valores pelos respectivos tempos de duração, obtendo-se as precipitações características para cada valor. Em seguida, calcula-se a intensidade e tempo de pico do hidrograma a partir das Equações 12 e 13, respectivamente.

Equação 12

$$ip = \frac{2P}{td}$$

Onde:

- ip é a intensidade de pico, em mm/h.
- P é a precipitação, em mm.
- td é o tempo de duração da chuva, em horas.

Equação 13

$$tp = 0,375 \cdot td$$

Onde:

tp é o tempo de pico, em horas.

td é o tempo de duração, em horas.

Para cada intensidade de pico, plotou-se um hidrograma triangular específico, sendo necessário, determinar as precipitações geradas por essas intensidades ao longo dos tempos de duração das chuvas citadas anteriormente.

Portanto, realizou-se a transformação dos hidrogramas em hietogramas, cuja representação se dá por meio de barras. Dando prosseguimento, foi realizada a discretização do hietograma em intervalos de 5 minutos. Sendo necessário a formação de tabelas para se retirar as precipitações que se acumulam com o passar do tempo.

O hidrograma triangular, característico do método, é formado por duas retas, uma crescente e outra decrescente. Para cada uma deve-se encontrar suas respectivas equações da reta para a determinação das intensidades de chuva, ajustando seus valores em múltiplos de 5, para que o intervalo de tempo tenha relação com a intensidade de pico e com o formato do hidrograma.

Com base nos valores das intensidades, deve-se dividir pelos respectivos intervalos de tempo, obtendo assim, as precipitações acumuladas. A partir disso, considerando-se o primeiro ponto como sendo (0,0), e (0, td) como sendo o último. Em seguida, subtrai-se a precipitação acumulada atual pela anterior, obtendo-se a precipitação real, até o tempo de pico.

Após o tempo de pico, deve-se iniciar o processo tomando como referência do último intervalo até o tempo de pico, realizando a operação de subtração do atual para o último valor. Em posse dos valores das precipitações reais, deve-se reorganizar esses resultados de modo que a primeira parte do hidrograma apresente um aumento da precipitação até o tempo de pico, e após o mesmo ocorra uma diminuição da precipitação até 0, ao final do tempo de duração da chuva.

Por fim, as tabelas e hietogramas discretizados obtidas, e presentes no APÊNDICE B, foram utilizadas para se ter vários cenários diferentes de chuvas a serem analisados, para um melhor dimensionamento hidráulico da seção de estudo.

5.10 Cálculo da declividade média do talvegue referente a seção de estudo

Inicialmente, para o cálculo da declividade do talvegue principal até o ponto da seção de análise, foi feita a identificação do trecho que compreende o início do talvegue até a seção de estudo. Em seguida, para encontrar a declividade média, realizou-se a subdivisão do trecho

principal em trechos menores, resultando no cálculo das declividades de cada subtrecho, por meio da Equação 14.

Posteriormente, as declividades dos subtrechos foram utilizadas para o encontro da declividade média, obtida através da média aritmética dos valores.

Equação 14

$$S_{i-j} = \frac{hc_i - hc_j}{L_{i-j}}$$

Onde:

- S_{i-j} é a declividade entre dois pontos altimétricos analisados
- hc_i é a altura da cota a montante
- hc_j é a altura da cota a jusante
- L_{i-j} é o trecho compreendido entre dois pontos altimétricos

5.11 Tempo de concentração da seção de estudo

As equações consideradas para o cálculo do tempo de concentração foram as indicadas por Silveira (2005), para bacias urbanas. Sendo representadas pelas Equações 15, 16 e 17, a seguir:

1. Equação de Carter

Equação 15

$$tc = 0,0977 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$$

Onde:

- tc é o tempo de concentração, em horas.
- L é o comprimento do talvegue até a seção de estudo, em km.
- S é a declividade média do talvegue, em m/m.

2. Equação de Schakee.et al

Equação 16

$$tc = 0,0828 \cdot L^{0,24} \cdot S^{-0,16} \cdot A_{imp}^{-0,26}$$

Onde:

- t_c é o tempo de concentração, em horas.
- L é o comprimento do talvegue até a seção de estudo, em km.
- S é a declividade média do talvegue, em m/m.
- A_{imp} é a área impermeável da bacia, em km².

3. Equação de Desbordes

Equação 17

$$t_c = 0,0869 \cdot A^{0,3039} \cdot S^{-0,3832} \cdot A_{imp}^{-0,4523}$$

Onde:

- t_c é o tempo de concentração, em horas.
- A é área da bacia, em km².
- S é a declividade média do talvegue, em m/m.
- A_{imp} é a área impermeável da bacia, em km².

Após o cálculo do tempo de concentração utilizando as equações supracitadas, foi realizada a média aritmética entre os valores, assim como recomenda Pereira (2023), a fim de obter o tempo de concentração com maior representatividade.

5.12 Cálculo do número de curva (CN)

O número de curva relaciona as características físicas do solo com seu tipo de cobertura, determinando o grau de impermeabilização gerado pela relação entre estrutura, composição do solo e cobertura.

Para determinação do grupo a que pertence o solo, foi utilizado a Tabela 1 de classificação dos solos, proposto por Sartori et al (2005).

Tabela 1 - Grupos de solo SCS

Grupo Hidrológico	Solos
A	Latosolos de textura média ou muito argilosa
B	Latosolos de textura média com horizonte arenoso
C	Argissolos
D	Luvissolos

Fonte: Sartori *et al.* Adaptado (2005)

Após a determinação do grupo ao qual pertence o solo, deve relacioná-lo ao tipo de cobertura existente na área de estudo, determinando o CN para cada área de diferente uso e ocupação do solo, na bacia.

Os valores de CN utilizados para análise, foram obtidos por meio da Tabela 2, proposta por Tucci (1993).

Tabela 2 - Valores de CN de acordo com o uso e ocupação do solo

Utilização ou cobertura do solo	Grupo Hidrológico de solos			
Zonas Cultivadas sem conservação do solo	72	81	88	91
Zonas Cultivadas com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Terrenos baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta com cobertura boa	25	55	70	77
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais	77	85	90	92
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Vias asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Arruamentos em paralelepípedos	76	85	89	91
Terra exposta	72	82	87	89

Fonte: Tucci (1993)

A partir dos valores de CN obtidos pela Tabela 2, para cada área de uso e ocupação da bacia, deve-se realizar a média ponderada entre esses valores, a fim de se obter o CN médio da bacia do Riacho do Frango.

5.13 Vazão de projeto pelo Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS)

Primeiramente, para se determinar a vazão de projeto pelo método SCS, deve-se calcular a precipitação efetiva. Para isso foi utilizado as Equações 18 e 19.

Equação 18

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Equação 19

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 S}; P > 0,2 \cdot S$$

Onde:

- S é a capacidade de infiltração do solo, em mm.
- P_{ef} é a precipitação efetiva acumulada
- CN é o coeficiente de número de curva.
- P é a precipitação acumulada.

Para que as equações citadas sejam válidas, é necessário atender a condição $P > 0,2S$, ou seja, a precipitação efetiva só é considerada caso a precipitação acumulada exceda em 20% da capacidade de infiltração do solo. Caso seja inferior, a precipitação efetiva considerada será zero.

Dando prosseguimento para a determinação da vazão de projeto pelo método do SCS, deve-se elaborar o hidrograma unitário sintético, para que seja fornecido a vazão de pico que representa a resposta da bacia a uma determinada precipitação em certo intervalo de tempo.

Portanto, para o cálculo da vazão de pico do hidrograma unitário, foi necessário o levantamento dos seguintes parâmetros da bacia.

- Área da bacia hidrográfica
- Períodos de retorno (30, 50, 70 e 100 anos)
- Duração da chuva (60, 90 e 120 minutos)
- Coeficiente CN

- Discretização da chuva, para um tempo de 10 minutos.
- Chuva unitária (1mm)
- Duração da chuva unitária (10 minutos)

Em seguida, relacionando à distribuição temporal pelo método de Yen e Chow, para múltiplos de 10, junto ao cálculo da precipitação efetiva, é possível encontrar o hidrograma unitário sintético, aplicando-se as Equações 20, 21 e 22 formuladas pelo método.

Equação 20

$$tp = 0,5 \cdot td + 0,6 \cdot tc$$

Equação 21

$$tb = 2,67 \cdot tp$$

Equação 22

$$Qp = 0,208 \cdot \frac{A}{tp}$$

Onde:

- tp é o tempo de pico, em horas.
- tb é o tempo de base, em horas.
- Qp é a vazão de pico, em m^3/s
- td é o tempo de discretização da chuva, em horas
- A é a área da bacia, em km^2

Deve-se ajustar os valores de tempo de pico e de base para múltiplos de 10, a fim de obter a vazão máxima no intervalo de tempo com melhor precisão.

Após obter a vazão de pico ajustada, plotam-se duas equações da reta, uma crescente e outra decrescente, para a obtenção do hidrograma unitário.

O processo de obtenção das vazões foi seguido de acordo com o processo de cálculo para o método SCS proposta por Pereira (2023), e apresentada abaixo.

- Para o cálculo do hidrograma de projeto utilizou-se os valores do hietograma excedente, presentes na última coluna das tabelas do APÊNDICE C, referentes aos tempos de duração com Δt de 10min.

- Após a determinação das precipitações efetivas acumuladas, deve-se realizar a subtração entre os termos adjacentes, obtendo-se o hietograma efetivo para cada período de retorno e tempo de duração.
- Em posse dos valores do hietograma, foi realizado sua separação em blocos de chuva, no qual cada bloco irá conter um valor do mesmo.
- Cada bloco multiplicará os valores do hidrograma unitário do SCS, presente no APÊNDICE D, obtendo-se as vazões para cada bloco. Esse processo deve ser realizado para todos os blocos, no qual cada coluna de valores obtidas devem ser postas paralelas umas às outras de modo que, o bloco posterior comece sua distribuição 10 minutos após o anterior.
- Ao fim da distribuição, somam-se os valores alinhados horizontalmente, obtendo-se o hidrograma de projeto com valores em m^3/s e disponível nas tabelas de cálculo, propostas por Pereira (2023), e presentes no APÊNDICE D.
- Esse processo de cálculo foi realizado para todos os eventos de chuva analisados no presente trabalho.

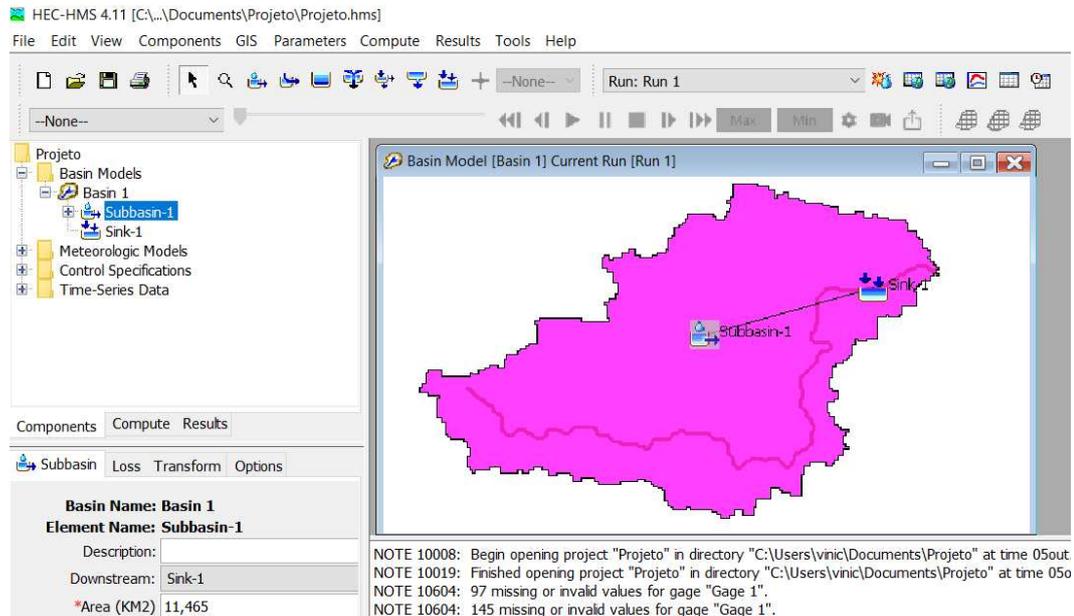
5.14 Vazão de projeto pelo software de modelagem hidráulica HEC-HMS

Para a determinação da vazão de projeto pelo software HEC-HMS, é necessário o levantamento dos seguintes parâmetros.

- Arquivos *shapefiles* referentes a Delimitação da bacia e ao talvegue principal
- Área da bacia (A)
- Perdas por infiltração (0,2S)
- Número de curva (CN)
- LAG TIME, correspondente a 60% do tempo de concentração
- Distribuição temporal da chuva
- Intervalo da chuva

Em posse dos requisitos necessários para o dimensionamento hidrológico da seção de estudo, insere-se as informações no programa, obtendo-se a vazão de projeto Modelagem da Bacia do Riacho do Frango pelo HEC-HMS, conforme observa-se na Figura 16.

Figura 16 - Modelagem da Bacia do Riacho do Frango pelo HEC-HMS



Fonte: Autor (2023)

5.15 Dimensionamento Hidráulico

Com relação ao dimensionamento hidráulico referente ao canal do frango, foram adotados alguns critérios.

- Para o dimensionamento da área de estudo, adotou-se um canal de seção retangular, sendo o formato característico do canal do Frango.
- Com relação ao material de revestimento, foi considerado o concreto em condições regulares.
- A inclinação considerada foi a calculada de acordo com o subtópico 4.10.
- A vazão de projeto foi obtida de acordo com o método SCS e por meio do software HEC-HMS.
- Com relação ao fator razão de aspecto, segundo Porto (2006), deve-se adotar um valor $m = 2$, para canais retangulares.

Após as considerações supracitadas, um dos coeficientes necessários para o dimensionamento hidráulico se refere ao coeficiente dinâmico, calculado a partir da fórmula de *manning*, Equação 23.

Equação 23

$$M = \left(\frac{n \cdot Q}{\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Onde:

- M é o coeficiente dinâmico (adimensional).
- n é o coeficiente de rugosidade de *manning* (adimensional).
- Q é a vazão de projeto, em m³/s.
- I é a declividade do canal, em m/m.

De acordo com as considerações feitas por Porto (2006), deve ser acrescentado 15% do valor do coeficiente de *manning*, pois deve-se prever o envelhecimento das paredes e fundo do canal. Os coeficientes de rugosidade de *manning* podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de coeficientes de manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espaiadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espaiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (2006)

Após a determinação do coeficiente de rugosidade na Equação 23, utiliza-se o coeficiente dinâmico para o cálculo da altura da lâmina de água, a partir da fórmula compacta da equação de Manning (Equação 24).

Equação 24

$$y_0 = \frac{M}{K}$$

Onde:

- y_0 é a altura da lâmina de água, em metros.
- M é o coeficiente dinâmico (adimensional).
- K é o coeficiente de forma (adimensional).

O coeficiente K é encontrado a partir da Tabela 4, no qual o fator de aspecto considerado para seção retangular foi de $m=2$, e a variável Z, que se refere a inclinação das paredes do canal foi é igual a 0, devido ao canal a ser dimensionado ser retangular.

Tabela 4 - Coeficientes de forma K

$m = b/y_0$	Z = 0,0	Z = 0,50	Z = 1,0	Z = 1,25	Z = 1,5	Z = 1,75	Z = 2,0
0	0,000	0,530	0,771	0,859	0,935	1,001	1,061
0,2	0,300	0,640	0,850	0,929	0,998	1,058	1,113
0,4	0,453	0,735	0,921	0,993	1,056	1,112	1,163
0,6	0,572	0,818	0,986	1,052	1,110	1,163	1,211
0,8	0,672	0,893	1,046	1,107	1,162	1,211	1,256
1	0,760	0,961	1,103	1,159	1,210	1,257	1,299
1,2	0,838	1,023	1,155	1,209	1,257	1,300	1,341
1,4	0,909	1,082	1,205	1,255	1,301	1,342	1,380
1,6	0,974	1,136	1,253	1,300	1,343	1,382	1,419
1,8	1,034	1,187	1,298	1,342	1,383	1,421	1,455
2	1,091	1,236	1,340	1,383	1,422	1,458	1,491
2,2	1,143	1,282	1,382	1,422	1,459	1,494	1,526
2,4	1,193	1,326	1,421	1,460	1,495	1,528	1,559
2,6	1,241	1,368	1,459	1,496	1,530	1,562	1,592
2,8	1,286	1,408	1,495	1,531	1,564	1,595	1,623

Fonte: Porto (2006)

Em posse do valor referente ao coeficiente K, utiliza a Equação 24 para a determinação da altura da lâmina de água.

Com os valores da lâmina de água, fator m, e coeficiente K determinados, utilizou-se a Equação 25, retirada da Tabela 4, para o cálculo da largura de fundo do canal.

Equação 25

$$b = y_0 \cdot m$$

Onde:

- b é a largura de fundo do canal, em metros.
- y_0 é a altura da lâmina de água, em metros.
- m é o fator de aspecto (adimensional).

Para a altura do canal, foi adotado as considerações de Porto (2006), no qual foi acrescido 20% a altura da lâmina de água, determinando-se uma borda livre de segurança.

Após a determinação das dimensões do canal, deve-se verificar se a velocidade média de escoamento se encontra em níveis aceitáveis e seguros. A partir da Equação da continuidade (Equação 26), foi possível determinar as velocidades médias para os dois casos de dimensionamento.

Equação 26

$$V = \frac{Q}{A}$$

Com os valores das velocidades médias, verifica-se de acordo com a Tabela 5, se as velocidades médias se encontram em níveis aceitáveis.

Tabela 5 - Velocidades Médias

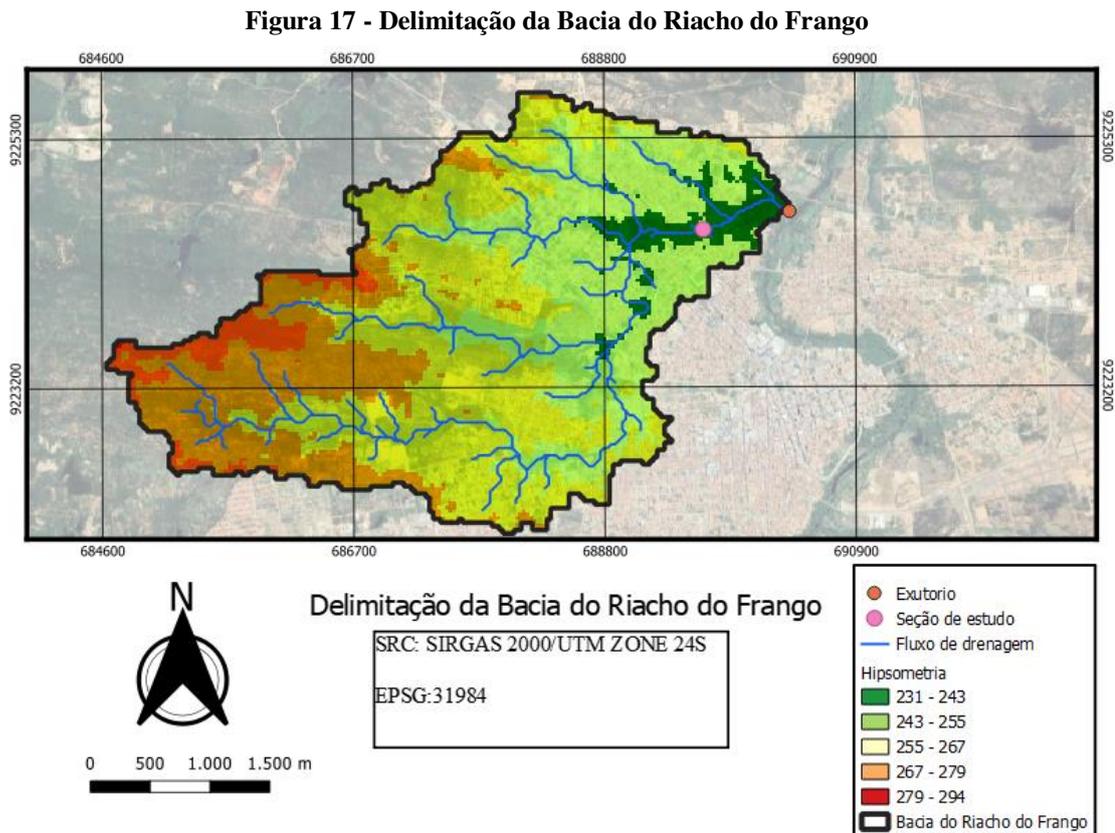
Material das Paredes do Canal	Velocidade Média (m/s)
Areia muito fina	0,23 a 0,30
Areia solta-média	0,30 a 0,46
Areia grossa	0,46 a 0,61
Terreno arenoso comum	0,61 a 0,76
Terreno silte-argiloso	0,76 a 0,84
Terreno de aluvião	0,84 a 0,91
Terreno argiloso-compacto	0,91 a 1,14
Terreno argiloso duro	1,14 a 1,22
Solo cascalhado	1,22 a 1,52
Cascalho grosso, pedregulho, piçarra	1,52 a 1,83
Rochas sedimentares moles-xistos	1,83 a 2,44
Alvenaria	2,44 a 3,05
Rochas compactas	3,05 a 4,00
Concreto	4,00 a 6,00

Fonte: Porto (2006)

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Delimitação da bacia hidrográfica

A delimitação da bacia hidrográfica do Riacho do Frango, junto ao mapa hipsométrico, foram obtidas por meio das ferramentas de geoprocessamento, e observadas na Figura 17.



Fonte: Autor (2023)

Os valores referentes a caracterização da bacia foram obtidos por meio da calculadora de campo, disponível pelo *software* Qgis, cujos resultados estão presentes na Tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização da Bacia do Riacho do Frango

Bacia Riacho do Frango (Seção de Estudo)				
Área da Bacia	Perímetro da Bacia	Comprimento do talvegue	Cota máxima	Cota mínima
11,465 km ²	22,66 km	7,8955 km	279 m	237 m

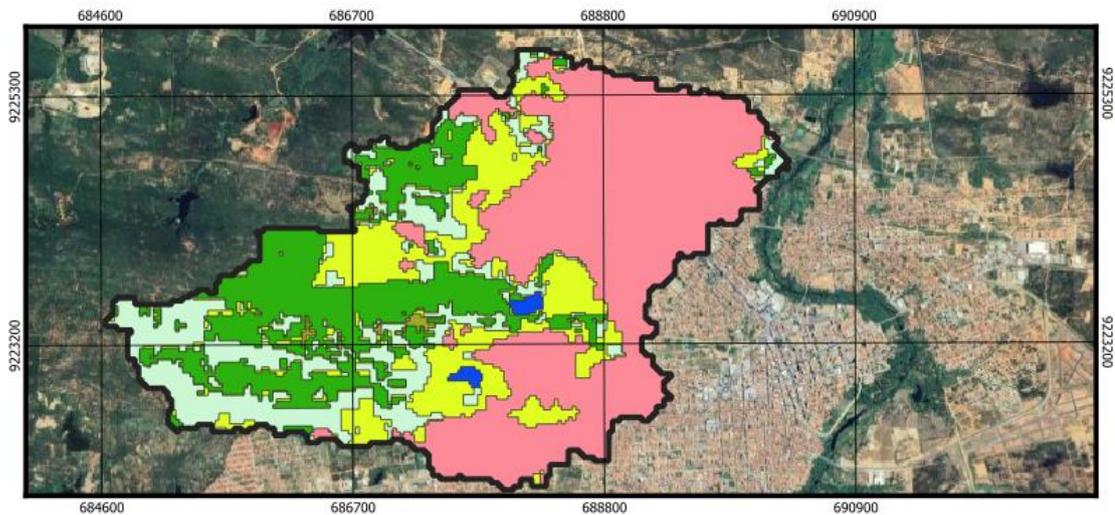
Fonte: Autor (2023)

6.2 Uso e ocupação do solo

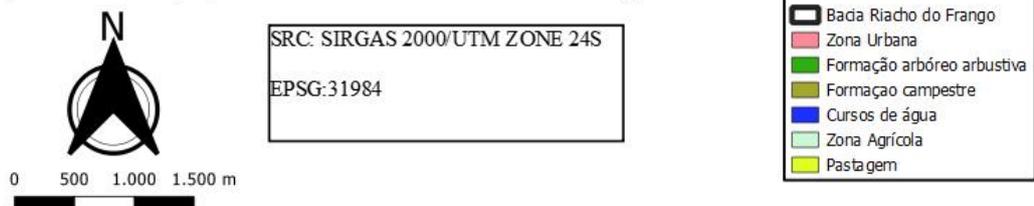
A bacia do Riacho do Frango apresenta predominância de Luvisolos em sua constituição, possuindo área impermeável de 2,56 km².

O mapa de uso e ocupação do solo foi representado na Figura 18.

Figura 18 - Uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho do Frango



Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho do Frango em 2021



Fonte: Autor (2023)

A partir do mapa, gerou-se as áreas correspondentes para cada tipo de cobertura do solo, sendo representadas pela Tabela 7.

Tabela 7 - Cobertura e uso do solo

Cobertura e Uso do solo	Área
Formação Arbóreo arbustiva	2,35 km ²
Zona agrícola	2,2 km ²
Formação Campestre	0,085 km ²
Pastagem	1,76 km ²
Cursos de água	0,074 km ²
Zona urbana	4,94 km ²

Fonte: Autor (2023)

6.3 Determinação do CN

A partir da determinação das áreas de cobertura e uso do solo, do grupo de solo e com base nas informações apresentadas na tabela 2, proposta por Tucci (1993), foi possível determinar o CN médio da bacia na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 - Cálculo do CN médio da bacia

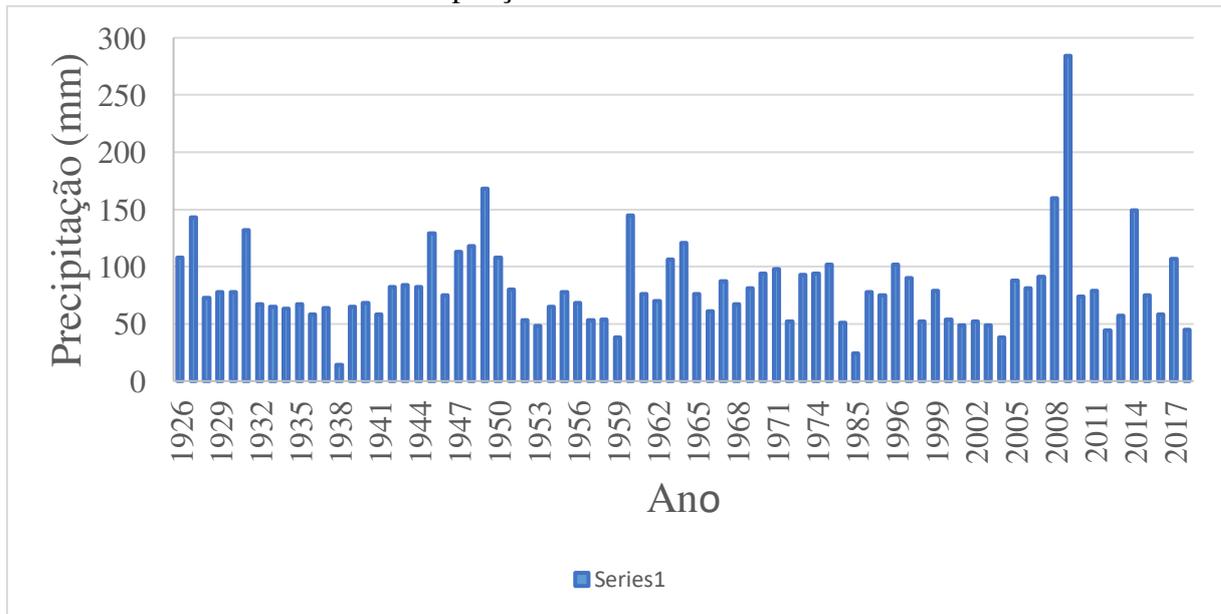
Cobertura e Uso do solo	Área	CN	CN x Área
Formação Arbóreo arbustiva	2,35 km ²	77	181
Zona agrícola	2,2 km ²	81	178
Formação Campestre	0,085 km ²	78	7
Pastagem	1,76 km ²	86	151,36
Cursos de água	0,074 km ²	100	7
Zona urbana	4,94 km ²	92	454
Total	11,409 km ²	CNmédio	86

Fonte: Autor (2023)

6.4 Equação da Chuva de intensidade-duração-frequência (IDF)

Após a coleta e tratamento dos dados referentes às séries históricas de chuvas máximas diárias anuais, foi possível construir o Gráfico 1 das precipitações máximas diárias anuais do município de Patos/PB.

Gráfico 1 - Precipitações máximas diárias anuais Patos/PB

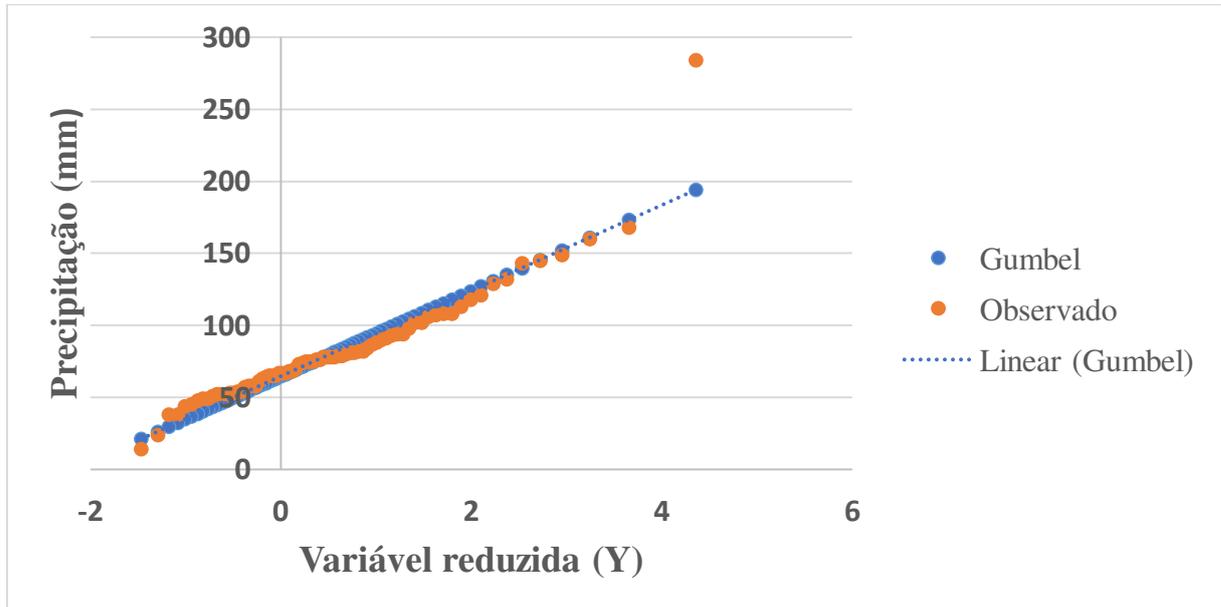


Fonte: Autor (2023)

Pode-se notar que há um período entre os anos 70 e 80, que não apresentou dados de chuva, além disso no ano de 2009, foi registrado um pico de chuva de cerca de 284 mm, sendo considerado um evento atípico e inesperado para a região, além disso, os dados apresentaram desvio padrão de 38,06 mm e média de 81,88 mm

Após a realização do processo metodológico citado anteriormente, foi obtido por meio dos dados do Gráfico 1, a Tabela 24 do APÊNDICE A da memória de cálculo da distribuição de Gumbel, e o Gráfico 2, referente ao ajuste dos valores entre as precipitações teóricas e observadas.

Gráfico 2 - Ajuste da Distribuição de Gumbel



Fonte: Autor (2023)

A partir do Gráfico 2, pode-se perceber que os valores entre as precipitações e a variável reduzida de Gumbel apresentam-se bem ajustados.

Com as precipitações obtidas pela distribuição de Gumbel, elaborou-se a Tabela 9.

Tabela 9 - Distribuição das precipitações máximas

T (anos)	y (reduzido)	P (mm)
2	0,37	75,63
5	1,50	109,27
10	2,25	131,54
15	2,67	144,10
20	2,97	152,90
30	3,38	165,19
40	3,68	173,86
50	3,90	180,55
60	4,09	186,01
70	4,24	190,63
80	4,38	194,61
90	4,49	198,13
100	4,60	201,27

Fonte: Autor (2023)

Dessa forma, nota-se que quanto maior o período de retorno, maior foi a precipitação registrada na Tabela 9.

A partir dos dados obtidos pode-se determinar as tabelas de desagregação da chuva, fornecidas pelas Tabelas 10 e 11, no qual representam as precipitações e intensidades, respectivamente.

Tabela 10 - Desagregação da chuva (Precipitações)

Coeficientes	Duração da Chuva (min)	Período de retorno – TR (anos)												
		2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,104	5	8,93	12,90	15,52	17,01	18,04	19,49	20,52	21,31	21,95	22,50	22,97	23,38	23,75
0,177	10	15,27	22,07	26,56	29,10	30,88	33,36	35,11	36,46	37,57	38,50	39,30	40,01	40,65
0,226	15	19,48	28,15	33,88	37,12	39,38	42,55	44,78	46,51	47,91	49,10	50,13	51,03	51,84
0,263	20	22,67	32,75	39,42	43,19	45,82	49,51	52,10	54,11	55,75	57,13	58,32	59,38	60,32
0,293	25	25,25	36,47	43,91	48,10	51,04	55,14	58,03	60,27	62,09	63,63	64,96	66,13	67,18
0,318	30	27,42	39,62	47,69	52,25	55,43	59,89	63,03	65,46	67,44	69,11	70,56	71,83	72,97
0,420	60	36,22	52,32	62,99	69,00	73,22	79,10	83,25	86,46	89,07	91,28	93,19	94,87	96,38
0,484	90	41,73	60,28	72,57	79,50	84,36	91,14	95,92	99,61	102,63	105,17	107,37	109,31	111,05
0,531	120	45,79	66,16	79,64	87,25	92,58	100,02	105,26	109,32	112,62	115,42	117,83	119,96	121,86
0,569	150	49,03	70,84	85,27	93,42	99,12	107,09	112,71	117,05	120,59	123,58	126,16	128,44	130,48
0,600	180	51,73	74,74	89,97	98,56	104,58	112,99	118,91	123,49	127,23	130,38	133,11	135,52	137,67
0,627	210	54,05	78,09	94,01	102,99	109,27	118,06	124,25	129,03	132,94	136,23	139,08	141,60	143,84
0,651	240	56,09	81,03	97,55	106,87	113,39	122,51	128,93	133,90	137,95	141,37	144,33	146,93	149,26
0,691	300	59,55	86,03	103,57	113,46	120,39	130,06	136,88	142,16	146,46	150,09	153,23	156,00	158,47
0,724	360	62,43	90,19	108,57	118,94	126,20	136,35	143,50	149,03	153,54	157,34	160,63	163,54	166,13
0,753	420	64,89	93,76	112,87	123,65	131,19	141,74	149,17	154,92	159,61	163,56	166,99	170,00	172,70
0,778	480	67,06	96,88	116,63	127,77	135,57	146,47	154,15	160,09	164,93	169,02	172,55	175,67	178,46
0,800	540	68,99	99,67	119,98	131,44	139,47	150,68	158,58	164,69	169,67	173,88	177,51	180,72	183,59
0,820	600	70,73	102,18	123,01	134,76	142,99	154,48	162,58	168,84	173,95	178,26	181,99	185,28	188,22
0,856	720	73,77	106,58	128,30	140,56	149,14	161,13	169,58	176,11	181,44	185,94	189,83	193,26	196,32
0,900	900	77,56	112,05	134,89	147,77	156,79	169,39	178,28	185,15	190,75	195,48	199,57	203,17	206,40
0,957	1200	82,53	119,23	143,53	157,24	166,84	180,25	189,71	197,02	202,98	208,01	212,36	216,20	219,63
1,14	1440	86,22	124,57	149,96	164,28	174,31	188,32	198,20	205,83	212,06	217,31	221,86	225,87	229,45
Precipitação 1 dia		75,63	109,27	131,54	144,10	152,90	165,19	173,86	180,55	186,01	190,63	194,61	198,13	201,27
Chuvas de Projeto (mm)														

Fonte: Autor (2023)

A partir da Tabela 10, percebe-se que quanto maior a duração da chuva, maior será a precipitação. Em posse desses dados, foi possível obter a Tabela 11.

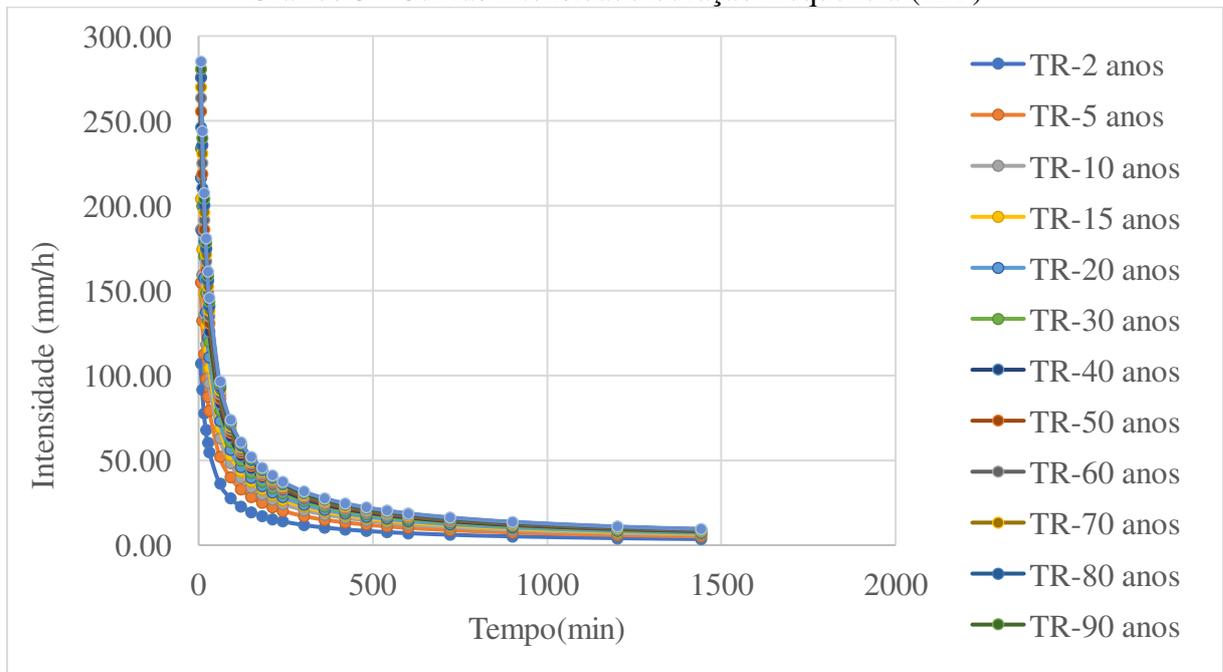
Tabela 11 - Intensidades de chuva

Duração da Chuva (min)	Período de retorno – TR (anos)												
	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	107,11	154,74	186,28	204,08	216,53	233,94	246,21	255,69	263,43	269,96	275,61	280,59	285,04
10	91,64	132,40	159,39	174,61	185,27	200,16	210,66	218,78	225,39	230,98	235,81	240,08	243,88
15	77,92	112,58	135,53	148,47	157,54	170,20	179,12	186,03	191,65	196,40	200,51	204,14	207,37
20	68,00	98,24	118,26	129,56	137,47	148,52	156,31	162,33	167,24	171,39	174,97	178,13	180,96
25	60,59	87,54	105,38	115,44	122,49	132,34	139,28	144,64	149,02	152,71	155,91	158,72	161,24
30	54,84	79,23	95,38	104,49	110,87	119,78	126,06	130,92	134,88	138,22	141,12	143,66	145,94
60	36,22	52,32	62,99	69,00	73,22	79,10	83,25	86,46	89,07	91,28	93,19	94,87	96,38
90	27,82	40,19	48,38	53,00	56,24	60,76	63,95	66,41	68,42	70,11	71,58	72,87	74,03
120	22,90	33,08	39,82	43,62	46,29	50,01	52,63	54,66	56,31	57,71	58,92	59,98	60,93
150	19,61	28,33	34,11	37,37	39,65	42,84	45,08	46,82	48,24	49,43	50,47	51,38	52,19
180	17,24	24,91	29,99	32,85	34,86	37,66	39,64	41,16	42,41	43,46	44,37	45,17	45,89
210	15,44	22,31	26,86	29,42	31,22	33,73	35,50	36,87	37,98	38,92	39,74	40,46	41,10
240	14,02	20,26	24,39	26,72	28,35	30,63	32,23	33,47	34,49	35,34	36,08	36,73	37,32
300	11,91	17,21	20,71	22,69	24,08	26,01	27,38	28,43	29,29	30,02	30,65	31,20	31,69
360	10,40	15,03	18,10	19,82	21,03	22,72	23,92	24,84	25,59	26,22	26,77	27,26	27,69
420	9,27	13,39	16,12	17,66	18,74	20,25	21,31	22,13	22,80	23,37	23,86	24,29	24,67
480	8,38	12,11	14,58	15,97	16,95	18,31	19,27	20,01	20,62	21,13	21,57	21,96	22,31
540	7,67	11,07	13,33	14,60	15,50	16,74	17,62	18,30	18,85	19,32	19,72	20,08	20,40
600	7,07	10,22	12,30	13,48	14,30	15,45	16,26	16,88	17,40	17,83	18,20	18,53	18,82
720	6,15	8,88	10,69	11,71	12,43	13,43	14,13	14,68	15,12	15,49	15,82	16,10	16,36
900	5,17	7,47	8,99	9,85	10,45	11,29	11,89	12,34	12,72	13,03	13,30	13,54	13,76
1200	4,13	5,96	7,18	7,86	8,34	9,01	9,49	9,85	10,15	10,40	10,62	10,81	10,98
1440	3,59	5,19	6,25	6,84	7,26	7,85	8,26	8,58	8,84	9,05	9,24	9,41	9,56
Intensidade da chuva (mm/h)													

Fonte: Autor (2023)

A partir da Tabela 11, conclui-se que, quanto maior o tempo de duração da chuva, menor será a intensidade. Em posse desses dados foi possível elaborar o gráfico 3, a seguir, que apresenta as curvas de intensidade duração e frequência para cada período de retorno.

Gráfico 3 - Curvas intensidade-duração-frequência (IDF)



Fonte: Autor (2023)

Para o cálculo do parâmetro t_0 , utilizou-se a Equação 7 para a elaboração das Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Precipitações para T_r de 15,4 anos

Duração da Chuva (min)	Tempo de retorno (anos)	
	15,4	
5	17,10	5
10	29,27	10
15	37,33	15
20	43,43	20
25	48,37	25
30	52,54	30
60	69,39	60
90	79,95	90
120	87,74	120
150	93,94	150
180	99,12	180
210	103,56	210
240	107,47	240
300	114,10	300
360	119,61	360
420	124,34	420
480	128,49	480
540	132,18	540
600	135,51	600
720	141,35	720
900	148,60	900
1200	158,13	1200
1440	165,20	1440
1 dia	144,91	
	Precipitação (mm)	

Fonte: Autor (2023)

A partir da Tabela 12, obtém-se a Tabela 13, com as intensidades.

Tabela 13 - Intensidades para Tr de 15,4 anos

	Tempo de retorno (anos)
Duração da Chuva (min)	15,4
5	205,22
10	175,59
15	149,30
20	130,29
25	116,09
30	105,08
60	69,39
90	53,30
120	43,87
150	37,58
180	33,04
210	29,59
240	26,87
300	22,82
360	19,94
420	17,76
480	16,06
540	14,69
600	13,55
720	11,78
900	9,91
1200	7,91
1440	6,88
	Intensidade da chuva (mm/h)

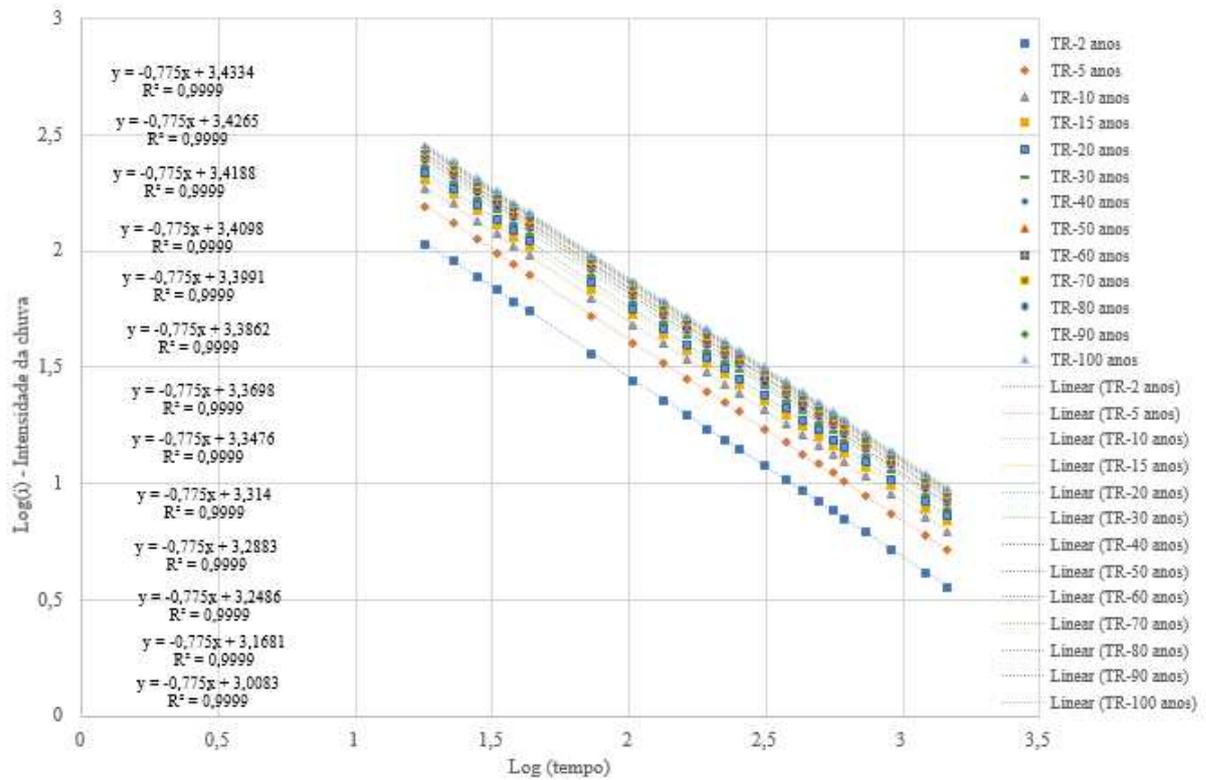
Fonte: Autor (2023)

A partir desses dados pode-se determinar os pontos para o cálculo do t_0 , utilizando a equação 8. Obtendo, dessa forma, os valores, (205,22; 5), (150; 37,58), (6,88; 1440)

Com os três valores de tempo e intensidade obtidos, aplicou-se a equação 9, encontrando o valor do parâmetro t_0 , sendo de 13 minutos.

Somando-se o valor de t_0 em cada tempo de duração da chuva na Tabela 13, e aplicado posteriormente o logaritmo nos valores, obtém-se o gráfico 4, que será o gráfico das curvas IDF linearizado que possui equações da reta com $R^2 = 0,9999$.

Gráfico 4 - IDF linearizada



Fonte: Autor (2023)

A partir das equações da reta é possível obter o valor do parâmetro n, que será o coeficiente angular de 0,775. Os coeficientes lineares das retas foram organizados na tabela 14, abaixo, junto aos valores de Log (Tr) correspondentes a cada um.

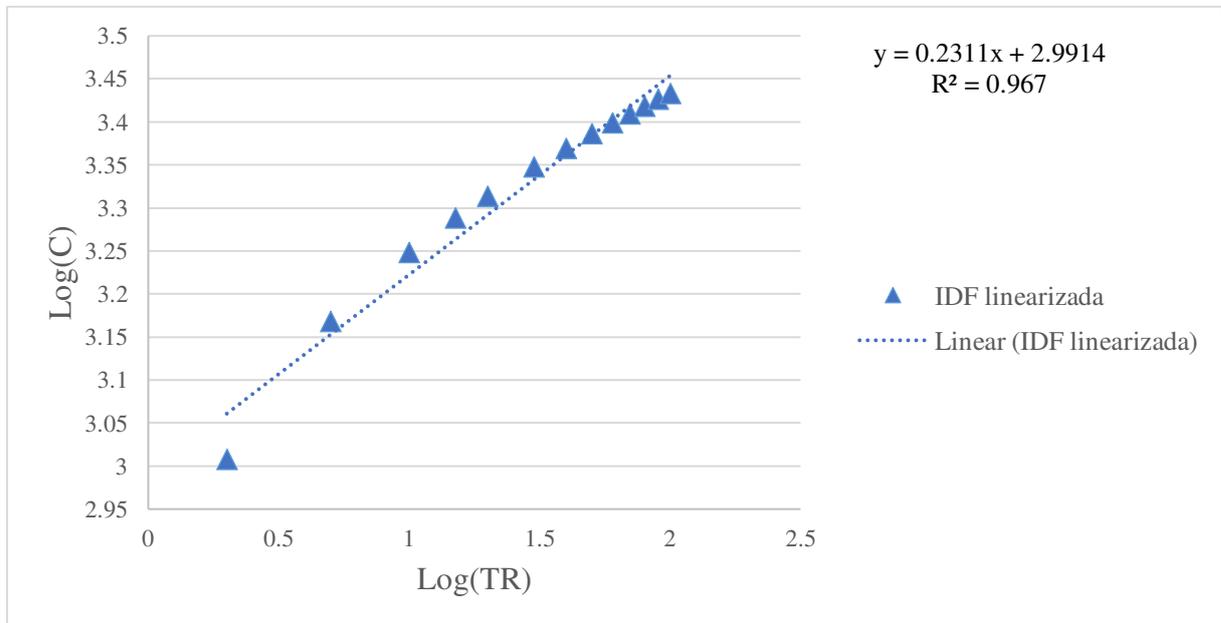
Tabela 14 - Log (Tr) x Log (C)

TR (anos)	Log(Tr)	log(C)
2	0,30103	3,0083
5	0,69897	3,1681
10	1	3,2486
15	1,176091	3,2883
20	1,30103	3,314
30	1,477121	3,3476
40	1,60206	3,3698
50	1,69897	3,3862
60	1,778151	3,3991
70	1,845098	3,4098
80	1,90309	3,4188
90	1,954243	3,4265
100	2	3,4334

Fonte: Autor (2023)

A partir da tabela 14 foi possível elaborar o gráfico 5, abaixo, e cuja equação da reta forneceu um $R^2 = 0,967$.

Gráfico - 5 Log (TR) x Log(C)



Fonte: Autor (2023)

Em posse da equação da reta, conclui-se que o valor de m será igual ao coeficiente angular da reta, de 0,2311, e o valor de K foi determinado pelo inverso do logaritmo do coeficiente linear da reta, sendo igual a 980,393.

Dessa forma, elaborou-se a Tabela 15 abaixo, com os valores referentes aos parâmetros da equação da chuva referente ao município de Patos/PB.

Tabela 15 - Parâmetros da IDF

Parâmetros da equação da chuva - Patos/PB			
m	n	t_0	K
0,2311	0,775	13	980,393

Fonte: Autor (2023)

Em posse dos parâmetros da equação da chuva para a cidade de Patos/PB, tem-se a seguinte Equação 27, formulada.

Equação 27

$$i = \frac{980,393 \times Tr^{0,2311}}{(t + 13)^{0,775}}$$

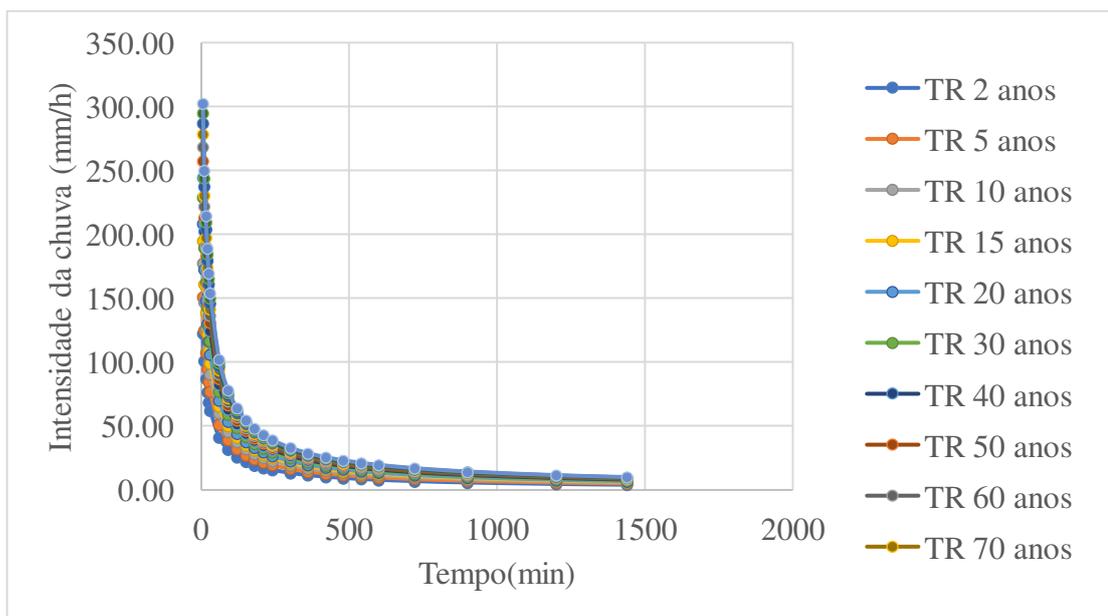
A partir da equação da chuva, criou-se a Tabela 16 de intensidades e o gráfico 6 de curvas IDF modeladas.

Tabela 16 - Intensidades pela equação da chuva

Duração da Chuva (min)	Período de retorno – TR (anos)												
	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	122,50	151,39	177,69	195,14	208,56	229,05	244,79	257,75	268,84	278,59	287,32	295,25	302,53
10	101,30	125,20	146,95	161,38	172,48	189,42	202,44	213,15	222,33	230,39	237,61	244,17	250,18
15	86,98	107,49	126,17	138,56	148,09	162,64	173,82	183,01	190,89	197,81	204,01	209,64	214,81
20	76,58	94,64	111,08	122,00	130,38	143,19	153,03	161,13	168,07	174,16	179,62	184,58	189,13
25	68,65	84,84	99,58	109,36	116,88	128,36	137,18	144,44	150,66	156,12	161,02	165,46	169,54
30	62,38	77,09	90,48	99,37	106,20	116,63	124,65	131,25	136,90	141,86	146,31	150,34	154,05
60	41,39	51,15	60,04	65,94	70,47	77,39	82,71	87,09	90,84	94,13	97,08	99,76	102,22
90	31,70	39,17	45,98	50,49	53,97	59,27	63,34	66,69	69,56	72,09	74,35	76,40	78,28
120	26,00	32,13	37,71	41,42	44,27	48,62	51,96	54,71	57,06	59,13	60,98	62,67	64,21
150	22,21	27,45	32,21	35,38	37,81	41,53	44,38	46,73	48,74	50,51	52,09	53,53	54,85
180	19,48	24,08	28,26	31,04	33,17	36,43	38,93	40,99	42,76	44,31	45,70	46,96	48,12
210	17,42	21,53	25,27	27,75	29,66	32,57	34,81	36,65	38,23	39,62	40,86	41,98	43,02
240	15,80	19,52	22,91	25,16	26,89	29,54	31,57	33,24	34,67	35,92	37,05	38,07	39,01
300	13,39	16,55	19,43	21,34	22,80	25,04	26,77	28,18	29,40	30,46	31,42	32,28	33,08
360	11,69	14,45	16,96	18,63	19,91	21,86	23,36	24,60	25,66	26,59	27,42	28,18	28,88
420	10,42	12,87	15,11	16,59	17,73	19,48	20,81	21,92	22,86	23,69	24,43	25,10	25,72
480	9,42	11,64	13,66	15,01	16,04	17,61	18,82	19,82	20,67	21,42	22,09	22,70	23,26
540	8,62	10,65	12,50	13,73	14,67	16,11	17,22	18,13	18,91	19,60	20,21	20,77	21,28
600	7,96	9,83	11,54	12,67	13,55	14,88	15,90	16,74	17,46	18,09	18,66	19,18	19,65
720	6,93	8,56	10,05	11,03	11,79	12,95	13,84	14,57	15,20	15,75	16,25	16,69	17,11
900	5,84	7,22	8,47	9,31	9,95	10,92	11,68	12,29	12,82	13,29	13,70	14,08	14,43
1200	4,69	5,79	6,80	7,47	7,98	8,77	9,37	9,86	10,29	10,66	11,00	11,30	11,58
1440	4,08	5,04	5,91	6,49	6,94	7,62	8,14	8,58	8,94	9,27	9,56	9,82	10,07

Fonte: Autor (2023)

Gráfico 6 - Curvas IDF pela equação da chuva



Fonte: Autor (2023)

6.5 Distribuição temporal da Chuva pelo Método de Yen e Chow

A distribuição temporal permitiu a elaboração das Tabelas 25, 26 e 27 do APÊNDICE B- Memória de Cálculo do Método de Yen e Chow.

Essa distribuição permitiu que vários eventos de tempo de retorno e duração de chuva possam ser explorados para que possa ser aplicado o mais adequado.

Através das Tabelas citadas anteriormente, foi possível elaborar os hietogramas discretizados representados nos gráficos de 7 a 18.

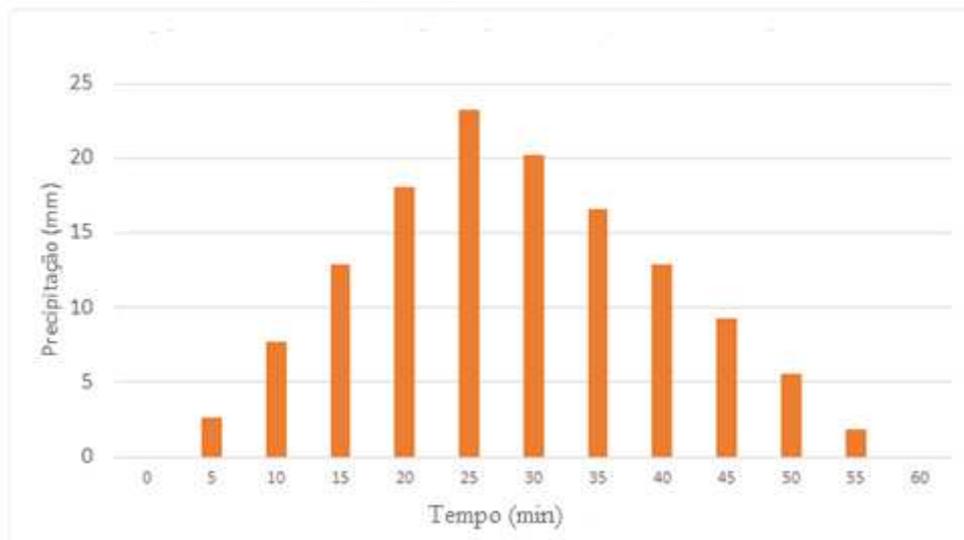
Além disso, para os hietogramas discretizados ajustou-se o tempo de pico para cerca de 40% da duração da chuva, apresentado na Tabela 17, abaixo.

Tabela 17 - Tempo de pico ajustado

Duração da chuva		Tempo de pico			
		Calculado		Ajustado	
horas	minutos	horas	minutos	horas	minutos
1	60	0,375	22,5	0,417	25
1,5	90	0,5625	33,75	0,583	35
2	120	0,75	45	0,75	45

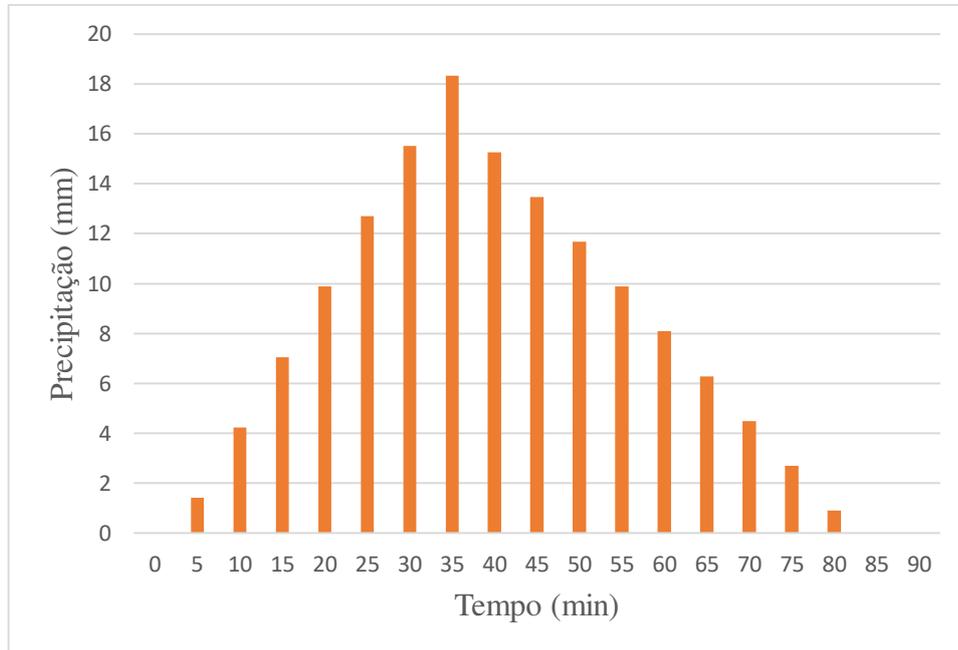
Fonte: Autor (2023)

Gráfico 7 - Hietograma para $t = 60$ min e $Tr = 30$ anos.



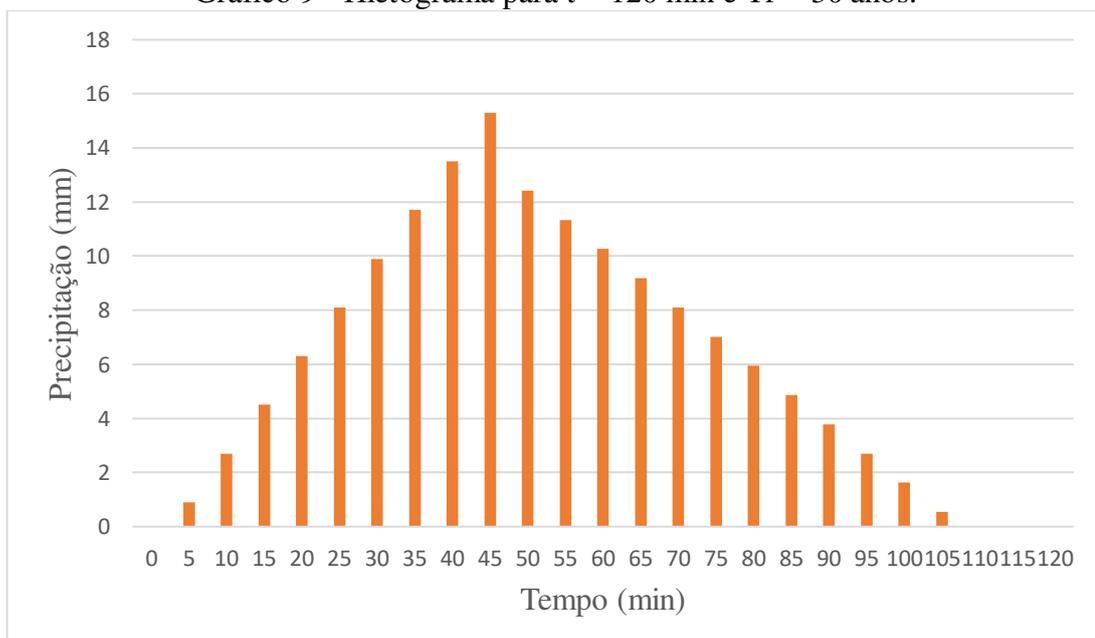
Fonte: Autor (2023)

O hietograma discretizado (gráfico 7), apresentou uma precipitação de pico de 23,21 mm aos 25 minutos.

Gráfico 8 – Hietograma para $t = 90$ min e $Tr = 30$ anos

Fonte: Autor (2023)

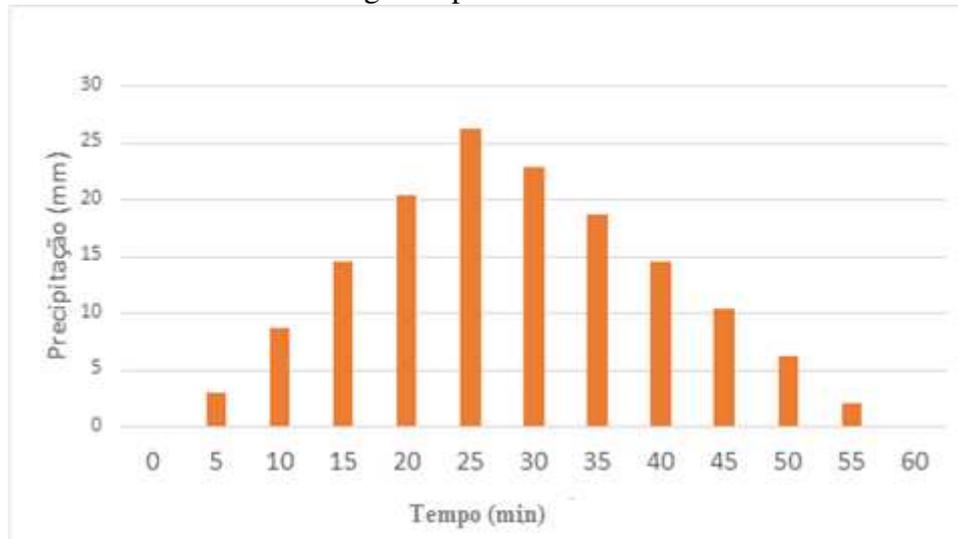
A partir do hietograma discretizado é possível inferir que o mesmo apresentou uma precipitação de pico de 18,34 mm aos 35 minutos.

Gráfico 9 - Hietograma para $t = 120$ min e $Tr = 30$ anos.

Fonte: Autor (2023)

De acordo com o hietograma discretizado foi encontrado uma precipitação de pico de 15,3 mm aos 45 minutos.

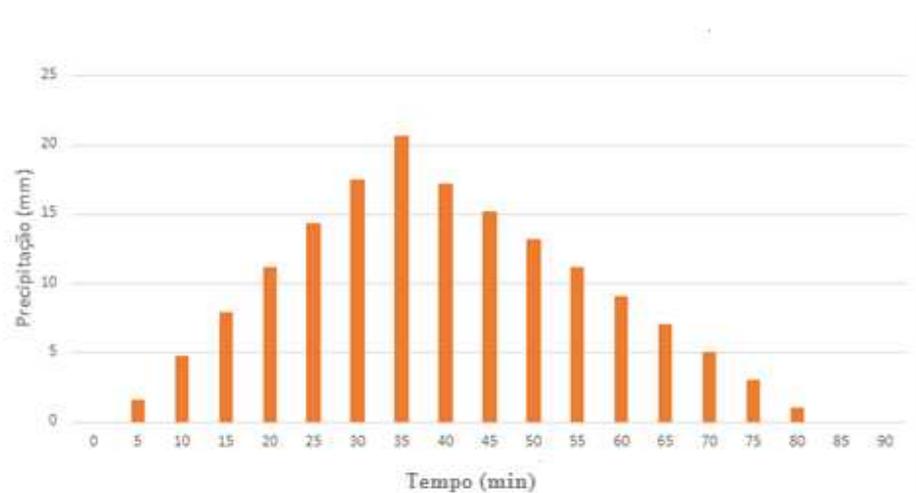
Gráfico 10 - Hietograma para $t = 60$ min e $Tr = 50$ anos.



Fonte: Autor (2023)

O hietograma discretizado (gráfico 10), apresentou uma precipitação de pico de 26,12 mm aos 25 minutos.

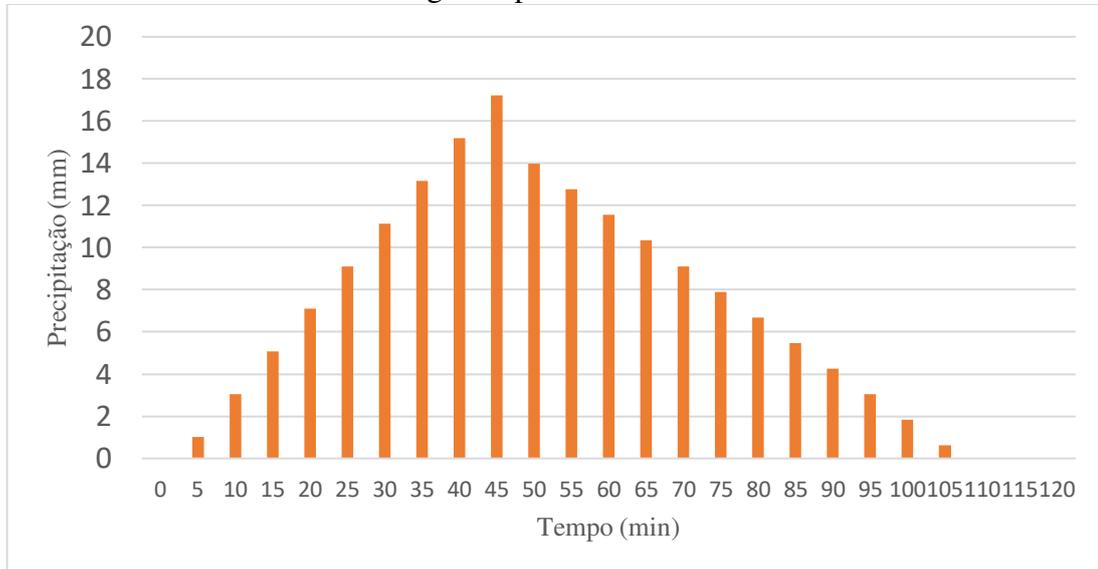
Gráfico 11 - Hietograma para $t = 90$ min e $Tr = 50$ anos.



Fonte: Autor (2023)

A partir do hietograma discretizado é possível inferir que o mesmo apresentou uma precipitação de pico de 20,64 mm aos 35 minutos.

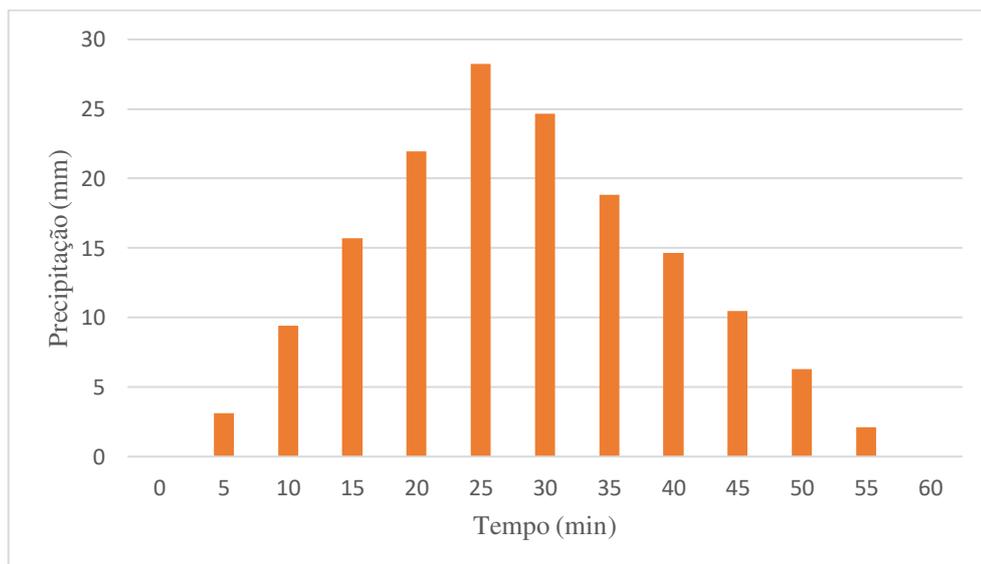
Gráfico 12 - Hietograma para $t = 120$ min e $Tr = 50$ anos



Fonte: Autor (2023)

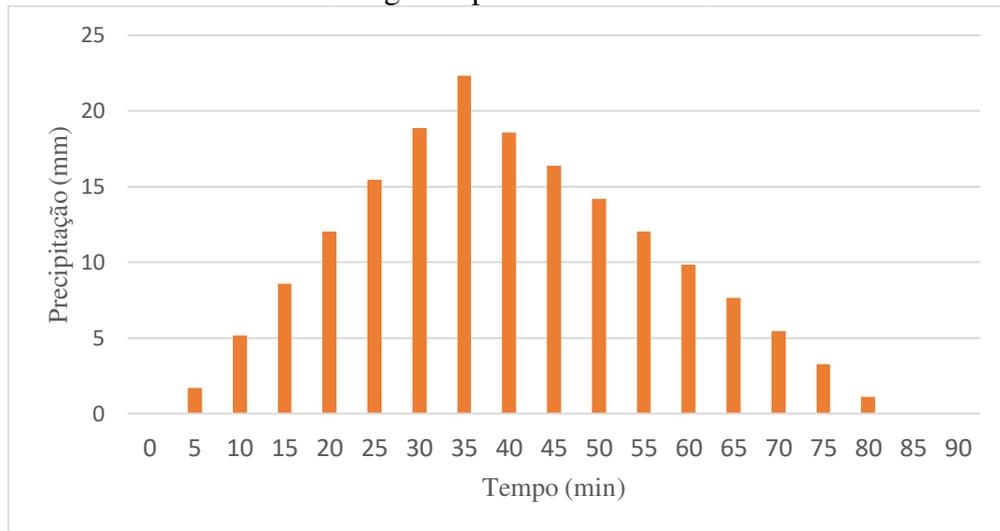
De acordo com o hietograma discretizado foi encontrado uma precipitação de pico de 17,22 mm aos 45 minutos.

Gráfico 13 - Hietograma para $t = 60$ min e $Tr = 70$ anos.



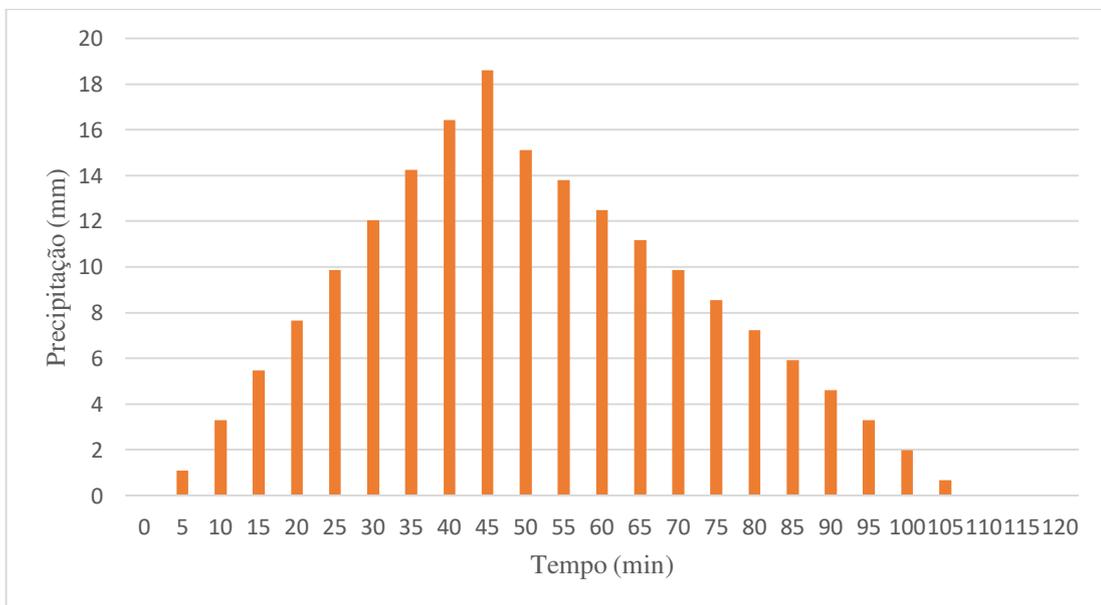
Fonte: Autor (2023)

O hietograma discretizado (gráfico 13), apresentou uma precipitação de pico de 28,24 mm aos 25 minutos.

Gráfico 14 - Hietograma para $t = 90$ min e $Tr = 70$ anos.

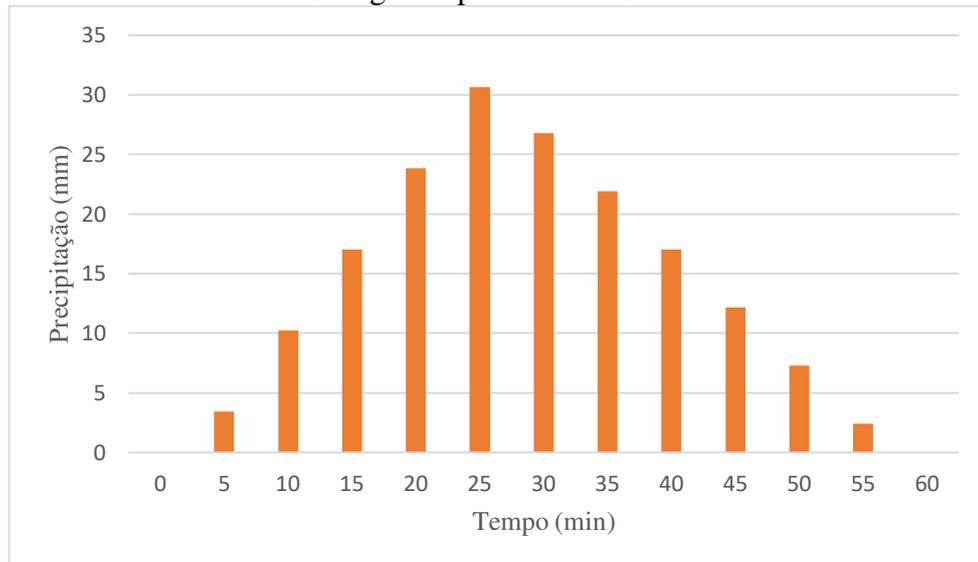
Fonte: Autor (2023)

A partir do hietograma discretizado é possível inferir que o mesmo apresentou uma precipitação de pico de 22,31 mm aos 35 minutos.

Gráfico 15 - Hietograma para $t = 120$ min e $Tr = 70$ anos.

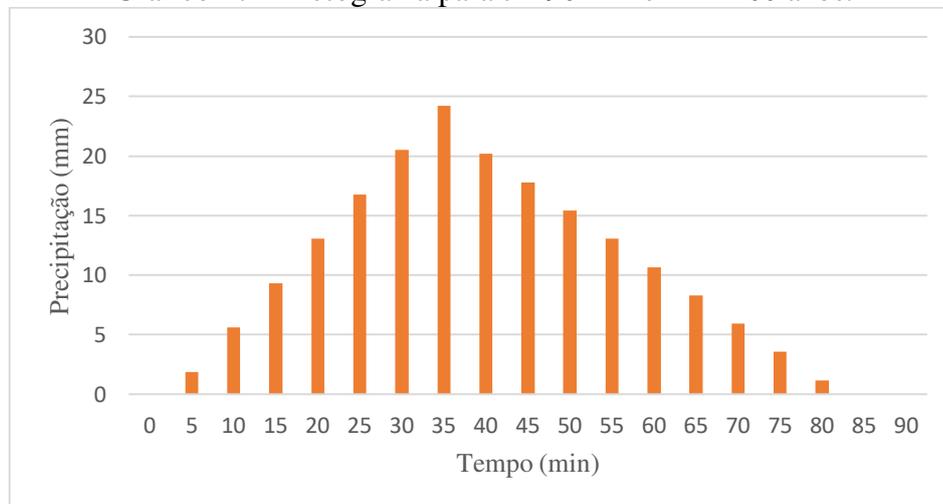
Fonte: Autor (2023)

De acordo com o hietograma discretizado, foi encontrado uma precipitação de pico de 18,61 mm aos 45 minutos.

Gráfico 16 - Hietograma para $t = 60$ min e $Tr = 100$ anos.

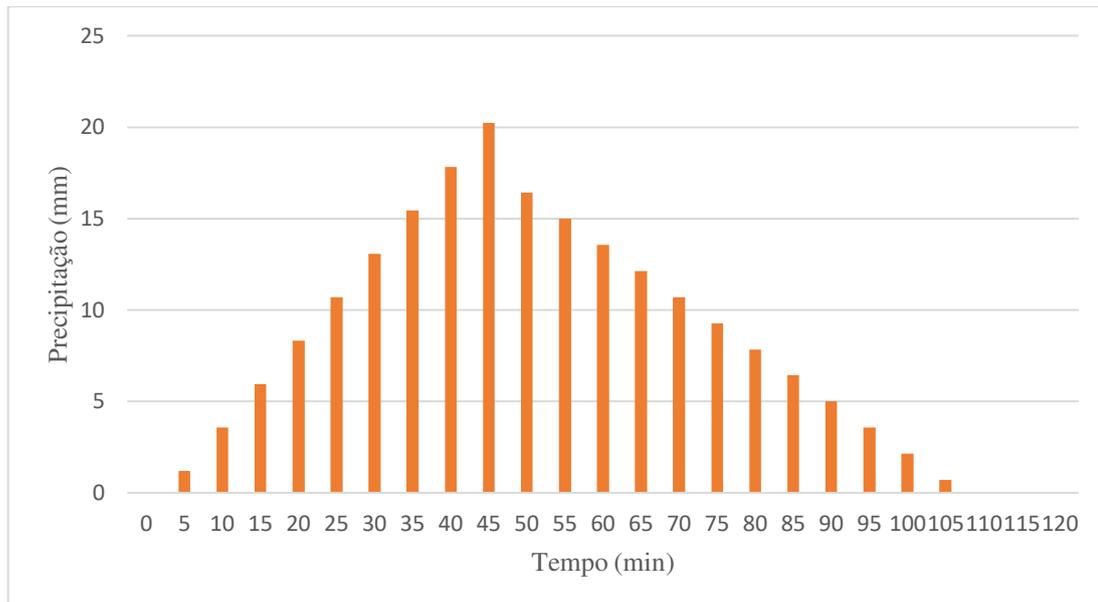
Fonte: Autor (2023)

O hietograma discretizado (gráfico 16), apresentou uma precipitação de pico de 30,67 mm aos 25 minutos.

Gráfico 17 - Hietograma para $t = 90$ min e $Tr = 100$ anos.

Fonte: Autor (2023)

A partir do hietograma discretizado, é possível inferir que o mesmo apresentou uma precipitação de pico de 24,23 mm aos 35 minutos.

Gráfico 18 - Hietograma para $t = 120$ min e $Tr = 100$ anos.

Fonte: Autor (2023)

De acordo com o hietograma discretizado, foi encontrado uma precipitação de pico de 20,21 mm aos 45 minutos.

Dado o exposto, a partir dos hietogramas discretizados pode-se concluir que:

- Os picos de chuva do hietograma estão situados em aproximadamente um terço do tempo de duração da chuva, inferindo que o tempo de pico estará localizado entre o tempo de início e de meio da duração do evento.
- A medida em que o período de retorno aumenta, para um mesmo tempo de duração da chuva, a precipitação de pico aumenta.
- Para um mesmo período de retorno, a medida em que o tempo de duração da chuva aumenta, a precipitação de pico diminui.
- Para um tempo de duração de chuva igual a 90 minutos, a precipitação se torna 0 a partir de 85 minutos.
- Para um tempo de duração de chuva igual a 120 minutos, a precipitação se torna 0 a partir de 110 minutos.

6.6 Declividade do Talvegue referente a seção de estudo

Para a seção de estudo, o comprimento do talvegue foi de 7,955 km, sendo subdividido em trechos menores com cotas altimétricas que variaram de 279 m a 276 m.

A partir disso foi utilizado o complemento ProfileTerrain, por meio do Qgis, para a determinação do perfil altimétrico da bacia, apresentada no gráfico 19, e da Tabela 18 com os valores das declividades de cada trecho, resultando em uma declividade média de 0,5831%.

Tabela 18 - Declividade do talvegue (seção de estudo)

Trecho	Cota motante (m)	Cota jusante (m)	Comprimento(m)	Declividade (m/m)
1-2	279	265	1035,481	0,013520
2-3	265	263	972,101	0,002057
3-4	263	253	984,655	0,010156
4-5	253	248	1145,615	0,004364
5-6	248	247	1572,605	0,000636
6-7	247	239	651,751	0,012275
7-8	239	237	1136,312	0,001760
8-9	237	236	532,971	0,001876
Declividade média(m/m)				0,005831

Fonte: Autor (2023)

6.7 Tempo de concentração da bacia referente a seção de estudo

Para a determinação do tempo de concentração, utilizou-se das seguintes variáveis.

- Comprimento do talvegue (seção de estudo): 7,955 km
- Declividade da bacia (seção de estudo): 0,005831 m/m
- Área da bacia: 11,465 km²
- Área impermeável: 2,56 km²

Em seguida, aplicou-se as variáveis supracitadas nas equações de tempo de concentração, presentes no subtópico 4.10, obtendo-se a Tabela 19.

Tabela 19 - Tempo de concentração médio

Equações	tc (horas)	tc (min)
Carter	1,59	95,32
Schakee et al.	0,24	14,59
Desbordes	0,86	51,43
	tc médio	53,78

Fonte: Autor (2023)

Foi considerado um tempo de concentração de aproximadamente 54 minutos para os cálculos de vazão de projeto, a partir das recomendações de Araújo (2021).

6.8 Vazão de projeto pelo Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS)

Para a determinação das vazões de projeto, separou-se os seguintes parâmetros necessários para seu cálculo, seguindo o fluxo lógico de cálculo proposto por Pereira (2023).

- Área da bacia hidrográfica: 11,465 km²
- Períodos de retorno (30, 50, 70 e 100 anos)
- Duração da chuva (60, 90 e 120 minutos)
- Coeficiente CN: 86
- Discretização da chuva, para um tempo de 10 minutos.
- Chuva unitária (1 mm)
- Duração da chuva unitária (10 minutos)

A partir desses valores, pode-se calcular a vazão de pico, tempo de base, e tempo de pico, de acordo com as equações 20, 21 e 22, respectivamente, obtendo-se os seguintes valores.

Além disso, é necessário que seja feito um ajuste para valores múltiplos de 10, a fim de obter resultados mais expressivos.

Tabela 20 - Valores do hidrograma unitário ajustados

Hidrograma unitário sintético (parâmetros)		
Valores	Calculado	Ajustado (10 min)
Vazão de pico (m ³ /s)	3,826	3,57708
tempo de base (min)	99,858	100
Tempo de pico (min)	37,4	40

Fonte: Autor (2023)

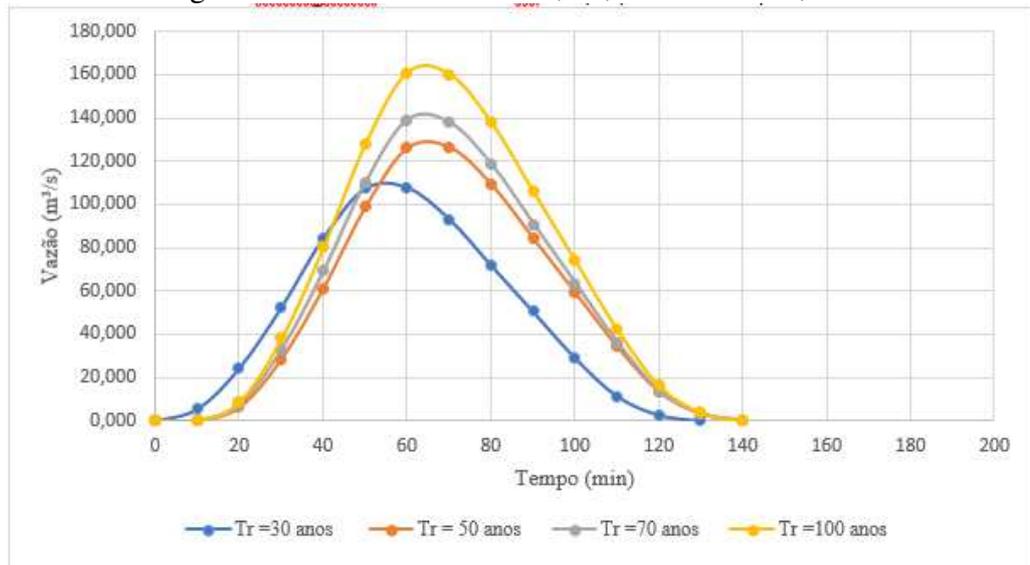
O ajuste consistiu em aproximar os valores do tempo de base e do tempo de pico, para 100 minutos e 40 minutos, respectivamente, e realimentar as equações do hidrograma unitário, encontrando-se o valor ajustado da vazão de pico

Após a determinação dos parâmetros, foi-se encontrado as equações da reta referentes ao hidrograma, sendo apresentadas da seguinte forma:

- Reta equação crescente: $y = 5,3656x$
- Reta equação decrescente $y = -3,5771x + 5,9618$

Em posse dos intervalos do hidrograma unitário, realiza-se o processo de cálculo descrito no item 4.12, desenvolvendo-se as Tabelas 32 a 34, do APÊNDICE D, e produzindo os gráficos 19 a 21, que apresenta as vazões de projeto características para cada evento de precipitação.

Gráfico 19 - Hidrograma método SCS- Tr = 30, 50, 70 e 100 anos; t = 60 minutos

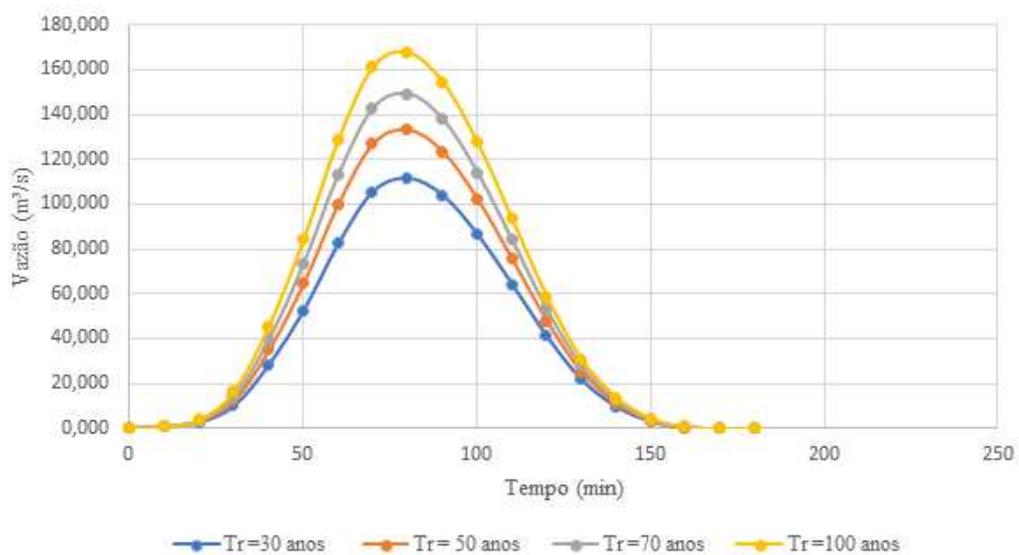


Fonte: Autor (2023)

A partir do Gráfico 19 foi possível analisar as seguintes vazões de projeto com $t = 60$ minutos

- Curva Tr = 30 anos: $Q = 107,75 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva Tr = 50 anos: $Q = 126,40 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva Tr = 70 anos: $Q = 138,96 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva Tr = 100 anos: $Q = 160,857 \text{ m}^3/\text{s}$

Gráfico 20 - Hidrograma método SCS- Tr = 30, 50, 70 e 100 anos; t = 90 minutos

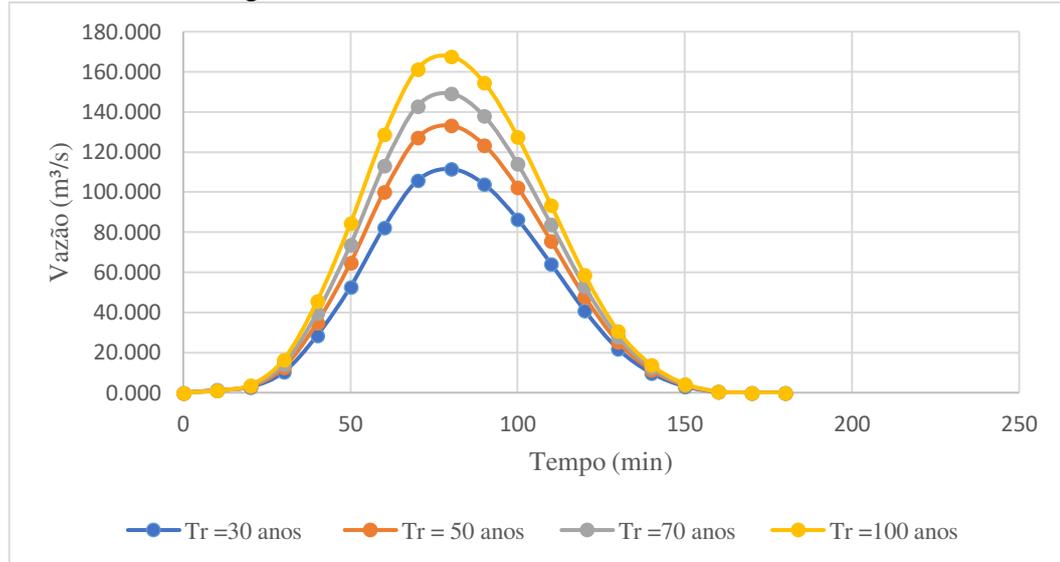


Fonte: Autor (2023)

A partir do gráfico 20 foi possível analisar as seguintes vazões de projeto com $t = 90$ minutos

- Curva $Tr = 30$ anos: $Q = 111,543 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva $Tr = 50$ anos: $Q = 133,147 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva $Tr = 70$ anos: $Q = 149,14 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva $Tr = 100$ anos: $Q = 167,69 \text{ m}^3/\text{s}$

Gráfico 21 - Hidrograma método SCS- $Tr = 30, 50, 70$ e 100 anos; $t = 120$ minutos



Fonte: Autor (2023)

A partir do gráfico 21 foi possível analisar as seguintes vazões de projeto com $t = 120$ minutos

- Curva $Tr = 30$ anos: $Q = 115,994 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva $Tr = 50$ anos: $Q = 137,684 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva $Tr = 70$ anos: $Q = 154,162 \text{ m}^3/\text{s}$
- Curva $Tr = 100$ anos: $Q = 172,68 \text{ m}^3/\text{s}$

De acordo com os gráficos e valores obtidos é possível inferir que para chuvas com mesmo tempo de duração e períodos de retorno diferentes, quanto maior a intensidade da precipitação maior será o escoamento superficial.

Com relação a chuvas com mesmo período de retorno e tempos de duração diferentes, quanto maior a duração da chuva, maior será o escoamento superficial.

6.9 Dimensionamento hidráulico pelo Método do Serviço de Conservação do Solo (SCS)

A partir das vazões de projeto encontradas para os diferentes cenários de chuvas, deve-se analisar qual dos eventos escolhidos atende às exigências da região de estudo.

De acordo com a série histórica analisada no presente estudo, obteve-se uma precipitação média de 81,88 mm. Portanto para que o evento analisado seja uma possível escolha para o dimensionamento hidráulico, deve-se analisar a precipitação média gerada pelas intensidades de chuvas correspondentes aos tempos de retorno e duração escolhidos no presente trabalho, sendo representado esses valores na Tabela 21, considerando-se Pereira (2023).

Tabela 21 - Precipitações médias diárias (mm)

Duração da chuva (min)	Tempos de retorno (anos)			
	30	50	70	100
60	77,39	87,09	94,13	102,22
90	88,905	100,035	108,135	117,42
120	97,24	109,42	118,26	128,42
	$i \text{ (mm/h)} \times t_d \text{ (h)}$			

Fonte: Autor (2023)

De acordo com a tabela 21, pode-se inferir que, para a média pluviométrica de 81,88 mm, apenas os períodos de retorno de 30 e 50 anos, com duração de chuva de 60 minutos, não atenderam a média pluviométrica mínima. Dessa forma, foi escolhido o valor que mais se aproximou da precipitação média esperada, de 88,905 mm. Portanto o canal foi dimensionado para um período de retorno de 30 anos e duração de chuva de 90 minutos.

Portanto, para o dimensionamento da seção de estudo, optou-se por utilizar uma vazão $Q = 111,543 \text{ m}^3/\text{s}$. Além disso, foram adotados os parâmetros necessários para o dimensionamento do canal de acordo com o tópico 4.14, e apresentados na tabela 22 a seguir.

Tabela 22 - Parâmetros para dimensionamento do Canal do Frango (SCS)

Parâmetros	
n	0,0184
Z	0
m	2
Q	111,543 (m ³ /s)
l	0,005831(m/m)

Fonte: Autor (2023)

A partir das considerações feitas no item 4.14, e da aplicação das equações 24 e 25, obtém-se finalmente o dimensionamento do canal.

- Coeficiente dinâmico (M): 3,436
- Coeficiente de forma (K): 1,091
- Altura da lâmina de água (y_0): 3,15 metros
- Largura de fundo (b): 6,3 metros
- Profundidade do canal (h): 3,8 metros
- Borda livre: 0,65 metros
- Área da seção molhada para seção retangular (A): 19,845 m²

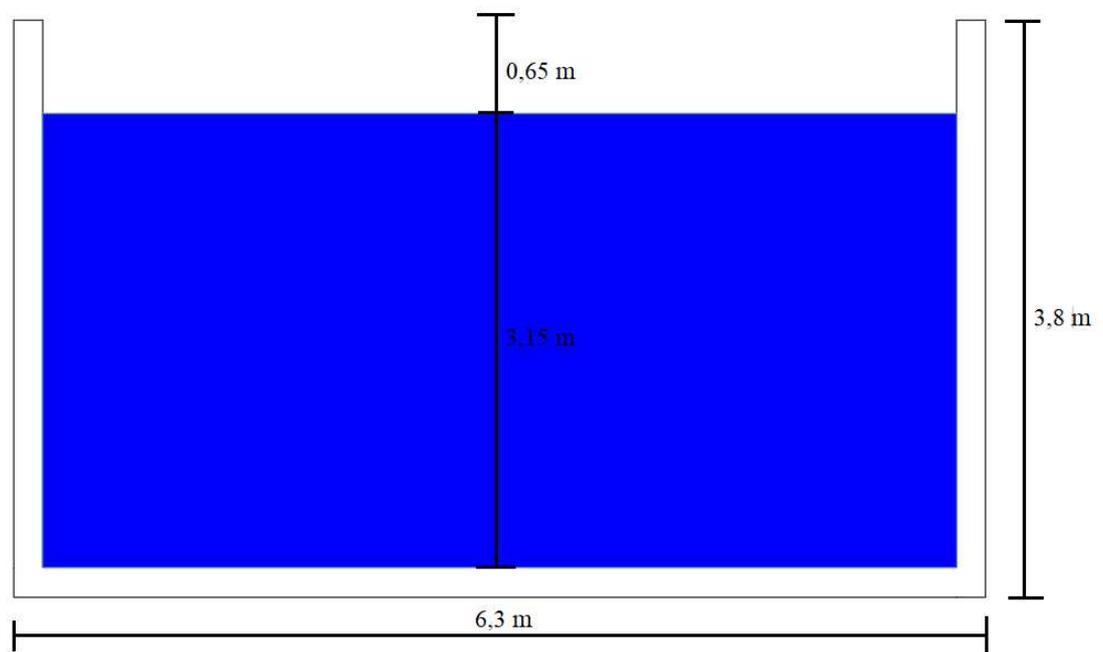
Em seguida, deve-se fazer a verificação da velocidade de acordo com a Tabela 5 proposta por Porto (2006), utilizando a equação 26.

- Velocidade (V): 5,62 m/s

De acordo com a tabela 5, as velocidades para revestimento de concreto devem se situar entre 4 e 6 m/s, portanto a velocidade calculada atende ao intervalo estabelecido.

Sendo assim, a seção transversal de estudo pode ser representada pela figura 19 da seguinte forma:

Figura 19 - Dimensionamento da seção de estudo do Canal do Riacho do Frango (SCS)



Fonte: Autor (2023)

A partir de medições em campo, Araújo (2021), determinou que o canal do Riacho do Frango possui, altura da lâmina de água de 1,44 m; profundidade de 1,6 m, e largura de fundo igual à 6,5 m. Obtendo-se uma vazão máxima de suporte de cerca de 42 m³/s, sendo essa vazão, insuficiente para lidar com os eventos de chuvas intensas características da região.

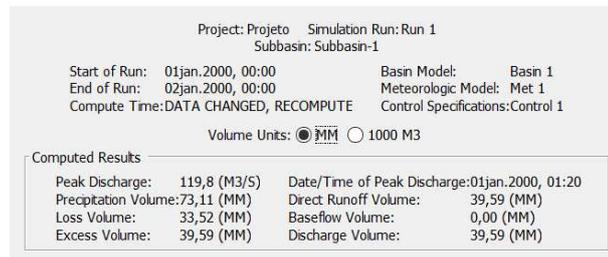
6.10 Vazão de projeto pelo software HEC-HMS

Para a determinação da vazão de projeto, foi necessário o levantamento das variáveis determinadas no subtópico 4.13.

- Arquivos *shapefiles* referentes a Delimitação da bacia e ao talvegue principal
- Área da bacia: 11,465 km²
- Perdas por infiltração: 8,27 mm
- Número de curva (CN): 86
- LAG TIME, correspondente a 60% do tempo de concentração
- Distribuição temporal da chuva para Tr = 30 anos e t= 90 minutos, de acordo com as considerações do subtópico 5.10
- Intervalo de chuva de 10 minutos

Após a inserção dos parâmetros supracitados para a modelagem hidrológica, foi possível obter os resultados apresentados na figura 20, a seguir.

Figura 20 - Resultados computações referentes a modelagem hidrológica



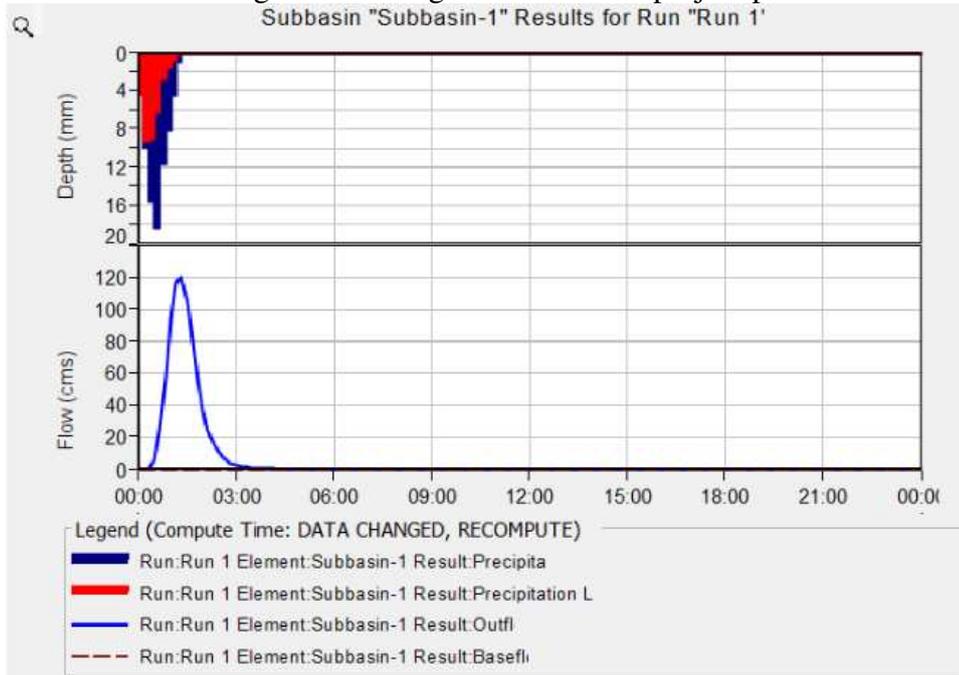
Fonte: Autor (2023)

A partir da figura 20, foi possível retirar os seguintes parâmetros hidrológicos.

- Vazão de pico: 119,8 m³/s
- Volume Precipitado: 73,11mm
- Volume infiltrado: 33,52mm
- Volume escoado: 39,59 mm

Em posse desses valores, o programa forneceu os gráficos referentes ao hidrograma e hietograma efetivo de projeto, apresentados no Gráfico 22.

Gráfico 22 - Hidrograma e hietograma efetivo de projeto pelo HEC-HMS



Fonte: Autor (2023)

Com relação gráfico 22, tem-se a precipitação em mm, na região superior, a vazão de projeto em m^3/s , apresentada na região inferior.

6.11 Dimensionamento hidráulico pelo HEC-HMS

Para o dimensionamento hidráulico utilizando o HEC-HMS, considerou-se a vazão em aproximadamente $120 m^3/s$. Além disso, foram adotados os parâmetros necessários para o dimensionamento do canal de acordo com o tópico 4.14, e apresentados na tabela 23 a seguir.

Tabela 23 - Parâmetros para dimensionamento do Canal do Frango (HEC-HMS)

Parâmetros	
n	0,0184
Z	0
m	2
Q	$120 (m^3/s)$
I	$0,005831(m/m)$

Fonte: Autor (2023)

A partir das considerações feitas no item 4.14, e da aplicação das equações 24 e 25, obtém-se o dimensionamento do canal.

- Coeficiente dinâmico (M): 3,585

- Coeficiente de forma (K): 1,091
- Altura da lâmina de água (y_0): 3,3 metros
- Largura de fundo (b): 6,6 metros
- Profundidade do canal (h): 4 metros
- Borda livre: 0,7 metros
- Área da seção molhada para seção retangular (A): 21,78 m²

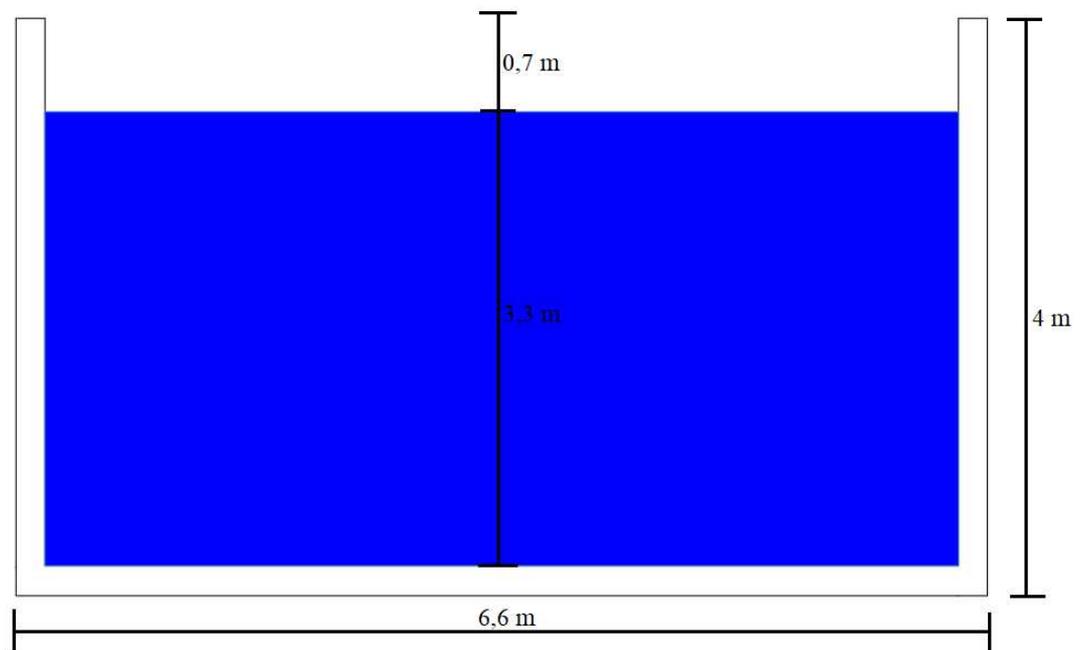
Em seguida, deve-se fazer a verificação da velocidade de acordo com a tabela 5 proposta por Porto (2006), utilizando a equação 26.

- Velocidade (V): 5,5 m/s

De acordo com a tabela 5, as velocidades para revestimento de concreto devem se situar entre 4 e 6 m/s, portanto a velocidade calculada atende ao intervalo estabelecido.

Sendo assim, a seção transversal de estudo pode ser representada na figura 21 da seguinte forma:

Figura 21 - Dimensionamento da seção de estudo do Canal do Riacho do Frango (HEC-HMS)



Fonte: Autor (2023)

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, utilizou-se ferramentas de geoprocessamento e de modelagem hidrológica para determinar hidrogramas de projeto e lâminas máximas de cheia em uma seção específica (37°16'59.8"W;7°00'45.0"S) do Canal do Frango, localizado na cidade de Patos/PB.

Com base na seção de referência e no uso da ferramenta QGIS 3.22.14, delimitou-se a bacia de contribuição, obtendo-se uma área de 11,46 km², perímetro de 22,66 km, comprimento do talvegue de 7,9 km e informações sobre o uso e ocupação do solo. Cerca de 22% da área da bacia (2,56 km²) foi constatada como impermeável.

O tratamento estatístico dos dados de chuvas máximas diárias, pela distribuição de Gumbel, apresentou valores bem ajustados, sendo possível a calibração, com sucesso, da equação da chuva para a bacia, e a geração da curva intensidade-duração-frequência.

A distribuição temporal da chuva, pelo método de Yen e Chow, forneceu valores de precipitações consistentes para uma discretização da chuva em intervalos de 5 minutos, apresentando uma precipitação de pico, para um período de retorno de 30 anos e tempo de duração de 90 minutos, de 18,34 mm.

O método SCS foi aplicado no presente trabalho, fornecendo vazões de pico e hidrogramas de projeto para períodos de retorno de 30 a 100 anos, com magnitudes significativas, apesar da bacia apresentar mais da metade de sua área não urbanizada.

O cenário escolhido foi referente a uma chuva com $T_r = 30$ anos e $t = 90$ minutos, fornecendo uma vazão de pico $Q = 111,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para a modelagem hidráulica, utilizando o HEC-HMS, determinou-se a vazão de pico considerando-se o $T_r = 30$ anos e $t = 90$ minutos, obtendo-se uma vazão de pico $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$.

As vazões calculadas pelo excel e pelo *software* HEC-HMS apresentaram valores relativamente próximos e representativos a todos os estudos realizados no trabalho.

O canal apresentou coeficiente de rugosidade de 0,0184, declividade de 0,5831% e profundidades de 3,8 m e 4 m, com relação aos dimensionamentos por planilha excel e pelo HEC-HMS, respectivamente.

As análises que foram realizadas no trabalho, dizem respeito apenas à seção do canal localizado a 0,86 km da seção de exutório, não apresentando, portanto, o dimensionamento hidráulico referente a outras regiões.

Por fim, considerando as melhores práticas para elaboração de estudos hidrológicos, confirmou-se que as dimensões do Canal do Frango são atualmente insuficientes para drenar as águas de chuvas máximas com período de retorno igual ou superior a 30 anos. Espera-se que

este trabalho contribua sobretudo para o planejamento urbano do município de Patos/PB, ajudando na busca de soluções para os problemas de drenagem e de inundações observados na cidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648: Estudo de concepção de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

Agência Nacional de Águas (ANA). Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu. Catálogo de Metadados da ANA, 14 de setembro de 2018.

ALMEIDA, Jean Carlos B. Drenagem Urbana [recurso eletrônico] / Jean Carlos B. Almeida. Curitiba: Contentus, 2020. 54 p.: il.

ARAÚJO, P.R.; GOLDENFUM, J.A., TUCCI, C.E.M. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.5. n.3. p. 21-29, 2000.

BARBOSA JUNIOR, Antenor Rodrigues. Elementos de Hidrologia Aplicada. Editora Blucher, 2022. São Paulo. 430 p.

BEMFICA, Daniela da Costa; GOLDENFUM, Joel A.; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Análise da Aplicabilidade de Padrões de Chuva de Projeto a Porto Alegre. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 5, n. 4, Out/Dez 2000, p. 5-16.

CETESB. Drenagem urbana: manual de projeto. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1. ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986, 466p.

CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Patos. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil. Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios. Recife, 2005, 26 p.

FITZ, Paulo Roberto. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

G1 Paraíba. Chuva forte provoca alagamentos na cidade de Patos, no Sertão da Paraíba. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2014/03/chuva-forte-provoca-alagamentos-na-cidade-de-patos-no-sertao-da-paraiba.html>>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

GOMES, Jessica; LIRA, Clarice B. M.; MALDONADO, Luiz Henrique. Relevância da Topografia para a Hidrologia. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, 10 p.

HIDROWEB: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 7 de junho de 2023.

Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). Panorama - Patos, Paraíba. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/patos/panorama>>. Acesso em: 7 de junho de 2023.

LEONARDI, Ivan Rodrigo. Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para Recursos Hídricos. 1ª ed. Curitiba: Contentus, 2020. 96 p.

MAIA, Andreza de Souza; TAVARES, Camilla Brigolini; RESENDE, Jéssica Letícia Oliveira; CARVALHO, Luiz Henrique de. Procedimentos para Simulações Hidrológicas Utilizando o HEC-HMS. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São João Del-Rei, 2021.

Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba - PR: Versão 1.0. Dezembro de 2002. Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

MARICATO, E. Metrópole, legislação e desigualdade. Estudos Avançados, [S. l.], v. 17, n. 48, p. 151-166, 2003. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9928>>. Acesso em: 10 out. 2023.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da; BESKOW, Samuel. Hidrologia de Superfície: Princípios e Aplicações. 2ª ed. UFLA, 2020. 531 p.

OLIVEIRA, Diego Barreto de. Hidrologia. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. 139 p.

PATRICIO, K. F.; CADORIN, S. B.; BACK, A.J. (2021) “Métodos de estimativa de vazão máxima para projetos de macrodrenagem urbana”. Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil / UNESC – CIVILTEC. v. 4. n.1. p. 54-72

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. Hidrologia Básica. 1976. Blucher, São Paulo, 305 p.

PORTAL DO LITORAL PB. Chuvas derrubam paredão do canal do Frango em Patos. Disponível em: <<https://www.portaldolitoralpb.com.br/chuvas-derrubam-paredao-do-canal-do-frango-em-patos-veja-video/>>. Acesso em: 7 de junho de 2023.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; SILVA, R. M. Bacias Hidrográficas. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD 307 – Hidrologia Aplicada. São Paulo 1999.

PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 4 ed. São Carlos. 2006. 540 p.

SALLA, M. R.; CHUERUBIM, M. L. Planejamento e gestão ambiental em escala de bacia hidrográfica: principais dificuldades no manuseio de ferramentas computacionais. Educação Ambiental em Ação, v. 13, n. 49, p. 01-12, 2014c.

SILVA, José Augusto da Gestão de recursos hídricos e sistemas de informações geográficas: contribuições para a organização sócio-espacial do Pontal do Paranapanema-SP / José Augusto da Silva. - Presidente Prudente: [s.n.], 2006. 217 f.: il.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 5, n. 4, 2000.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 10, n. 1, 2005.

SOUSA, Campelo. População denuncia que lixo e esgoto invadem “Canal do Frango” em Patos; prefeitura garante a limpeza. *Diário do Sertão*, 2019. Disponível em: <<https://www.diariodosertao.com.br/noticias/cidades/441222/populacao-denuncia-que-lixo-e-esgoto-invadem-canal-do-frango-em-patos-prefeitura-garante-a-limpeza.html>> Acesso em: 10 de outubro de 2023.

TANUS, Andressa Aragão; MARINHO, José Inácio Medeiros; QUEIROGA, Amanda Alves; CUNICO, Camila. Risco Ambiental do Município de Patos – PB: Subsídios para a Gestão Territorial. Vol. 4: Congestas, 2016, 144-154 p.

TUCCI, Carlos E. M. Apreciação do plano nacional de recursos hídricos e visão prospectiva dos programas e ações. Documento de apoio às ações de planejamento da Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2001. 53 p

TUCCI, Carlos E. M. Drenagem Urbana. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995. 427 p.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, RS.

LUCENA, Maria de Fátima de Araújo; SILVA, Rafael Francisco Lopes; MELO, José Iranildo Miranda de. Afloramentos Rochosos do Município de Patos, Paraíba, Nordeste do Brasil: Riqueza Florística e Conservação. *Conids*, Campina Grande-PB, 2016, 6 p.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FERREIRA, Leonardo Alves; TEOTIA, Harendra Singh; COSTA FILHO, José Ferreira da; SANTOS, João Roberto dos. Levantamento e Classificação da Vegetação Nativa do Município de Patos, Através de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. *Anais X SBSR, INPE*, abril/2001, p. 1609-1616.

ALVES, Telma Gomes Ribeiro. Material Textual: Bioma Caatinga – Um Olhar sobre o Recorte Territorial de Patos/PB. 2020, Patos/PB. Mestrado Profissional em Geografia (GEOPROF) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 77-136 p.

IBGE. Portal de Mapas. Paraíba - Setores Censitários 2021. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa223727>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

GOMES, Lidiane Cristina Félix; SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; ALMEIDA, Hermes Alves de. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos-PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 06, n. 01, 2013, p. 015-028.

BRITTO, Lucas Narciso de; KELLNER, Erich. Procedimento para Construção da Equação de Chuva a partir das Máximas Precipitações Diárias obtidas de Séries Anuais: Atualização da Equação de Chuva da Cidade de São Carlos (SP). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 04, n. 26, 2016, pp. 45-61.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 10, n. 4, Out/Dez 2005,05-18 p.

TUCCI, C. E. M.; CAMPANA, N. A. Simulação Distribuída com IPH II. Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Gramado-RS. Rio de Janeiro: ABRH, v. 3, 1993 495-504 p.

PEREIRA, Dielyson Sampaio. Dimensionamento de Canal de Macrodrenagem Urbana Utilizando os Modelos de Chuva-Vazão: SCS e o Santa Bárbara (HUSB). Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Pombal, 2023, 146 p.

ARAÚJO, Deividy Kaik de Lima. Avaliação Hidrológica e Estimativa de Vazão de Projeto para Macrodrenagem Urbana. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Pombal-PB, 2021, 165 p.

USGS - United States Geological Survey. Earth Explorer. ESRI. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

PEREIRA, Marco Alésio Figueiredo; BARBIEIRO, Bruno Lippo; QUEVEDO, Daniela Muller de. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. Sociedade e Natureza, fev/2020, 13 p.

SANTOS, Karla Azevedo; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. Scielo, julho/2017.

CABRAL, Ivaniza de Lourdes Lazzarotto; JESUZ, Cleberson Ribeiro de. O contexto geomorfológico e a dinâmica morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Tenente Amaral/MT. Sociedade e Território – Natal, vol. 32, n. 1, jan./jun. 2020, p. 227–249.

CAMPOS, Sérgio; CAMPOS, Marcelo; RODRIGUES, Bruno Timóteo; SOUZA, Flávia Luise Pereira de; LEME, Mateus de Campos. Geoprocessamento aplicado no planejamento de bacias hidrográficas. Ponta Grossa (PR): Editora Atena, 2019, 137 p.

PLANO DE DRENAGEM DE JUIZ DE FORA. Parte 1 - Zona Norte. Volume 3 - Manual de Drenagem. Juiz de Fora (MG), 2011. 221 p.

PIRES, José Salatiel Rodrigues; SANTOS, José Eduardo dos; DEL PRETTE, Marcos Estevan. A utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos Recursos Naturais. Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus, Editus, p.17-35, 2002.

BARROS, Airton Bodstein de; SILVA, Marisa Machado da. A vulnerabilidade das ocupações em áreas de risco e o direito à moradia no Brasil. Defesa Civil.uff.br, 18 p.

MENEZES, Ana Carla dos Santos. Desenvolvimento e calibração de pluviômetros automáticos de baixo custo. Juazeiro/BA: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), 2019. 49 p.

Apêndices

APÊNDICE A -Memória de cálculo para a distribuição de Gumbel

Tabela 24 - Distribuição de Gumbel

Chuvas Máx. Diárias	Ano	m	$f = m/n+1$	Tempo de Retorno	Precipitação observada	Y(Variável reduzida)
284	2009	1	0,012821	78	193,8585336	4,350264062
168	1949	2	0,025641	39	173,0945585	3,650602016
160	2008	3	0,038462	26	160,8660374	3,238550275
149	2014	4	0,051282	19,5	152,1307998	2,94420807
145	1960	5	0,064103	15,6	145,3086469	2,714329089
143	1927	6	0,076923	13	139,6956845	2,525194941
132	1931	7	0,089744	11,14285714	134,916406	2,364152569
129	1945	8	0,102564	9,75	130,7466418	2,223648369
121	1964	9	0,115385	8,666666667	127,0417746	2,098809315
118	1948	10	0,128205	7,8	123,7030381	1,986307389
113	1947	11	0,141026	7,090909091	120,6599654	1,883768137
108	1950	12	0,153846	6,5	117,8605057	1,789437659
108	1926	13	0,166667	6	115,2651112	1,701983355
107	2017	14	0,179487	5,571428571	112,8430215	1,62036872
106	1963	15	0,192308	5,2	110,5698323	1,543771433
102	1996	16	0,205128	4,875	108,4258514	1,471527938
102	1975	17	0,217949	4,588235294	106,3949524	1,403094852
98	1971	18	0,230769	4,333333333	104,4637584	1,338021418
94	1974	19	0,24359	4,105263158	102,6210446	1,275929411
94	1970	20	0,25641	3,9	100,8572957	1,2164982
93	1973	21	0,269231	3,714285714	99,16437058	1,159453465
91	2007	22	0,282051	3,545454545	97,53524523	1,104558525
90	1997	23	0,294872	3,391304348	95,9638127	1,051607599
88	2005	24	0,307692	3,25	94,44472553	1,000420501
87	1967	25	0,320513	3,12	92,97327031	0,950838407
84	1943	26	0,333333	3	91,54526669	0,902720456
82	1944	27	0,346154	2,888888889	90,15698536	0,855940986
82	1942	28	0,358974	2,785714286	88,80508081	0,810387266
81	2006	29	0,371795	2,689655172	87,48653574	0,765957626
81	1969	30	0,384615	2,6	86,19861474	0,722559893
80	1951	31	0,397436	2,516129032	84,93882542	0,680110084
79	2011	32	0,410256	2,4375	83,70488547	0,638531295
79	1999	33	0,423077	2,363636364	82,49469466	0,597752755
78	1994	34	0,435897	2,294117647	81,30631073	0,55770902
78	1955	35	0,448718	2,228571429	80,13792856	0,518339262
78	1930	36	0,461538	2,166666667	78,98786199	0,479586667
78	1929	37	0,474359	2,108108108	77,85452786	0,441397887
76	1965	38	0,487179	2,052631579	76,7364318	0,403722568
76	1961	39	0,5	2	75,63215552	0,366512921

75	2015	40	0,512821	1,95	74,54034529	0,329723328
75	1995	41	0,525641	1,902439024	73,45970133	0,293309994
75	1946	42	0,538462	1,857142857	72,38896804	0,25723061
74	2010	43	0,551282	1,813953488	71,32692466	0,22144404
73	1928	44	0,564103	1,772727273	70,2723764	0,185910025
70	1962	45	0,576923	1,733333333	69,22414573	0,150588888
68	1956	46	0,589744	1,695652174	68,18106374	0,11544124
68	1940	47	0,602564	1,659574468	67,1419614	0,080427691
67	1968	48	0,615385	1,625	66,10566046	0,045508537
67	1935	49	0,628205	1,591836735	65,07096388	0,010643444
67	1932	50	0,641026	1,56	64,03664559	-0,024208902
65	1954	51	0,653846	1,529411765	63,00143918	-0,059091174
65	1939	52	0,666667	1,5	61,96402536	-0,094047828
65	1933	53	0,679487	1,471698113	60,92301772	-0,129125578
64	1937	54	0,692308	1,444444444	59,87694637	-0,164373955
63	1934	55	0,705128	1,418181818	58,82423878	-0,199845946
61	1966	56	0,717949	1,392857143	57,76319716	-0,235598761
58	2016	57	0,730769	1,368421053	56,69197123	-0,271694745
58	1941	58	0,74359	1,344827586	55,60852526	-0,308202496
58	1936	59	0,75641	1,322033898	54,5105973	-0,345198231
57	2013	60	0,769231	1,3	53,39564845	-0,382767501
54	2000	61	0,782051	1,278688525	52,26079861	-0,421007354
54	1958	62	0,794872	1,258064516	51,10274402	-0,460029114
53	1957	63	0,807692	1,238095238	49,9176497	-0,499962003
53	1952	64	0,820513	1,21875	48,70100688	-0,540957949
52	2002	65	0,833333	1,2	47,44744018	-0,583198081
52	1998	66	0,846154	1,181818182	46,15044141	-0,626901698
52	1972	67	0,858974	1,164179104	44,80199298	-0,67233896
51	1976	68	0,871795	1,147058824	43,39202004	-0,71984935
49	2003	69	0,884615	1,130434783	41,90756695	-0,76986942
49	2001	70	0,897436	1,114285714	40,33151014	-0,822976165
48	1953	71	0,910256	1,098591549	38,64044891	-0,879958094
45	2018	72	0,923077	1,083333333	36,80104017	-0,941938735
44	2012	73	0,935897	1,068493151	34,76313141	-1,010608024
38	2004	74	0,948718	1,054054054	32,44553984	-1,088701494
38	1959	75	0,961538	1,04	29,70213526	-1,181143141
24	1985	76	0,974359	1,026315789	26,22122343	-1,298435802
14	1938	77	0,987179	1,012987013	21,0787339	-1,471716916

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE B - Distribuição temporal das chuvas a partir do método de Yen e Chow.

Tabela 25 - Yen e Chow para uma duração de 60 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos

Tr = 30 anos t= 60 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	371,47.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	265,34 -265,34.i R ² =1	5	0,083	30,956	2,580	2,580	2,580
		10	0,167	61,912	10,319	7,739	7,739
		15	0,250	92,868	23,217	12,898	12,898
		20	0,333	123,823	41,274	18,058	18,058
		25	0,417	154,779	64,491	23,217	23,217
		30	0,500	132,670	66,335	1,843	20,269
		35	0,583	110,558	64,492	5,528	16,584
		40	0,667	88,447	58,964	9,213	12,898
		45	0,750	66,335	49,751	12,898	9,213
		50	0,833	44,223	36,853	16,584	5,528
		55	0,917	22,112	20,269	20,269	1,843
		60	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 50 anos t= 60 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	418,01.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	298,58 -298,58.i R ² =1	5	0,083	34,834	2,903	2,903	2,903
		10	0,167	69,668	11,611	8,709	8,709
		15	0,250	104,503	26,126	14,514	14,514
		20	0,333	139,337	46,446	20,320	20,320
		25	0,417	174,171	72,571	26,126	26,126
		30	0,500	149,290	74,645	2,073	22,808
		35	0,583	124,408	72,572	6,220	18,661
		40	0,667	99,527	66,351	10,367	14,514
		45	0,750	74,645	55,984	14,514	10,367
		50	0,833	49,763	41,469	18,661	6,220
		55	0,917	24,882	22,808	22,808	2,073
		60	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 70 anos t= 60 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	451,82.i -4E-14 R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	322,73 -322,73.i R ² =1	5	0,083	37,651	3,138	3,138	3,138
		10	0,167	75,303	12,550	9,413	9,413

		15	0,250	112,955	28,239	15,688	15,688
		20	0,333	150,606	50,202	21,963	21,963
		25	0,417	188,258	78,441	28,239	28,239
		30	0,500	161,365	80,683	18,826	24,653
		35	0,583	134,471	78,441	14,642	18,826
		40	0,667	107,577	71,718	10,459	14,642
		45	0,750	80,683	60,512	6,275	10,459
		50	0,833	53,788	44,824	2,092	6,275
		55	0,917	26,894	24,653	24,653	2,092
		60	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 100 anos t= 60 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	490,64.i -4E-14 R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	350,46 -350,46.i R ² =1	5	0,083	40,887	3,407	3,407	3,407
		10	0,167	81,773	13,629	10,222	10,222
		15	0,250	122,660	30,665	17,036	17,036
		20	0,333	163,547	54,516	23,851	23,851
		25	0,417	204,433	85,181	30,665	30,665
		30	0,500	175,230	87,615	2,434	26,771
		35	0,583	146,025	85,181	7,301	21,904
		40	0,667	116,820	77,880	12,169	17,036
		45	0,750	87,615	65,711	17,036	12,169
		50	0,833	58,410	48,675	21,904	7,301
		55	0,917	29,205	26,771	26,771	2,434
		60	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autor (2023)

Tabela 26 - Yen e Chow para uma duração de 90 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos

Tr = 30 anos t= 90 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	203,2.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	193,96 -129,31.i R ² =1	5	0,083	16,933	1,411	1,411	1,411
		10	0,167	33,867	5,644	4,233	4,233
		15	0,250	50,800	12,700	7,056	7,056
		20	0,333	67,733	22,578	9,878	9,878
		25	0,417	84,667	35,278	12,700	12,700
		30	0,500	101,600	50,800	15,522	15,522
		35	0,583	118,533	69,144	18,344	18,344
		40	0,667	107,753	71,836	0,000	15,259
		45	0,750	96,978	72,733	0,898	13,470

		50	0,833	86,202	71,835	2,694	11,674
		55	0,917	75,426	69,140	4,490	9,878
		60	1,000	64,650	64,650	6,286	8,082
		65	1,083	53,874	58,364	8,082	6,286
		70	1,167	43,098	50,281	9,878	4,490
		75	1,250	32,323	40,403	11,674	2,694
		80	1,333	21,547	28,729	13,470	0,898
		85	1,417	10,771	15,259	15,259	0,000
		90	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 50 anos t= 90 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	228,66.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	218,27 -145,51.i R ² =1	5	0,083	19,055	1,588	1,588	1,588
		10	0,167	38,110	6,352	4,764	4,764
		15	0,250	57,165	14,291	7,940	7,940
		20	0,333	76,220	25,407	11,115	11,115
		25	0,417	95,275	39,698	14,291	14,291
		30	0,500	114,330	57,165	17,467	17,467
		35	0,583	133,385	77,808	20,643	20,643
		40	0,667	121,263	80,842	0,000	17,185
		45	0,750	109,138	81,853	1,010	15,157
		50	0,833	97,012	80,843	3,031	13,136
		55	0,917	84,886	77,812	5,052	11,115
		60	1,000	72,760	72,760	7,073	9,094
		65	1,083	60,634	65,687	9,094	7,073
		70	1,167	48,508	56,593	11,115	5,052
		75	1,250	36,383	45,478	13,136	3,031
		80	1,333	24,257	32,342	15,157	1,010
		85	1,417	12,131	17,185	17,185	0,000
		90	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 70 anos t= 90 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	247,15.i +2E-14 R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	235,92 -157,28.i R ² =1	5	0,083	20,596	1,716	1,716	1,716
		10	0,167	41,192	6,865	5,149	5,149
		15	0,250	61,788	15,447	8,582	8,582
		20	0,333	82,383	27,461	12,014	12,014
		25	0,417	102,979	42,908	15,447	15,447
		30	0,500	123,575	61,788	18,880	18,880
		35	0,583	144,171	84,100	22,312	22,312
		40	0,667	131,067	87,378	0,000	18,568
		45	0,750	117,960	88,470	1,092	16,383

	50	0,833	104,853	87,378	3,277	14,199	
	55	0,917	91,747	84,101	5,461	12,014	
	60	1,000	78,640	78,640	7,646	9,830	
	65	1,083	65,533	70,994	9,830	7,646	
	70	1,167	52,427	61,164	12,014	5,461	
	75	1,250	39,320	49,150	14,199	3,277	
	80	1,333	26,213	34,951	16,383	1,092	
	85	1,417	13,107	18,568	18,568	0,000	
	90	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000	
Tr = 100 anos t= 90 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	268,39.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	256,19-170,79.i R ² =1	5	0,083	22,366	1,864	1,864	1,864
		10	0,167	44,732	7,455	5,591	5,591
		15	0,250	67,098	16,774	9,319	9,319
		20	0,333	89,463	29,821	13,047	13,047
		25	0,417	111,829	46,595	16,774	16,774
		30	0,500	134,195	67,098	20,502	20,502
		35	0,583	156,561	91,327	24,230	24,230
		40	0,667	142,330	94,887	20,170	20,170
		45	0,750	128,098	96,073	17,790	17,790
		50	0,833	113,865	94,888	15,418	15,418
		55	0,917	99,633	91,330	13,046	13,046
		60	1,000	85,400	85,400	10,674	10,674
		65	1,083	71,168	77,098	8,302	8,302
		70	1,167	56,935	66,424	5,930	5,930
		75	1,250	42,703	53,378	3,558	3,558
		80	1,333	28,470	37,960	1,186	1,186
		85	1,417	14,238	20,170	0,000	0,000
		90	1,500	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autor (2023)

Tabela 27 - Yen e Chow para uma duração de 120 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos

Tr = 30 anos t= 120 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	129,64.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	155,57 -77,785.i R ² =1	5	0,083	10,803	0,900	0,900	0,900
		10	0,167	21,607	3,601	2,701	2,701
		15	0,250	32,410	8,103	4,501	4,501
		20	0,333	43,213	14,404	6,302	6,302
		25	0,417	54,017	22,507	8,103	8,103
		30	0,500	64,820	32,410	9,903	9,903

		35	0,583	75,623	44,114	11,704	11,704
		40	0,667	86,427	57,618	13,504	13,504
		45	0,750	97,230	72,923	15,305	15,305
		50	0,833	90,749	75,624	0,000	12,424
		55	0,917	84,241	77,249	0,000	11,344
		60	1,000	77,785	77,785	0,540	10,263
		65	1,083	71,303	77,245	1,621	9,183
		70	1,167	64,821	75,624	2,701	8,103
		75	1,250	58,339	72,923	3,781	7,022
		80	1,333	51,857	69,142	4,862	5,942
		85	1,417	45,375	64,281	5,942	4,862
		90	1,500	38,893	58,339	7,022	3,781
		95	1,583	32,410	51,316	8,103	2,701
		100	1,667	25,928	43,214	9,183	1,621
		105	1,750	19,446	34,031	10,263	0,540
		110	1,833	12,964	23,768	11,344	0,000
		115	1,917	6,482	12,424	12,424	0,000
		120	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 50 anos t= 120 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	145,89.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	175,06 -87,532.i R ² =1	5	0,083	12,158	1,013	1,013	1,013
		10	0,167	24,315	4,053	3,039	3,039
		15	0,250	36,473	9,118	5,066	5,066
		20	0,333	48,630	16,210	7,092	7,092
		25	0,417	60,788	25,328	9,118	9,118
		30	0,500	72,945	36,473	11,144	11,144
		35	0,583	85,103	49,643	13,171	13,171
		40	0,667	97,260	64,840	15,197	15,197
		45	0,750	109,418	82,063	17,223	17,223
		50	0,833	102,117	85,097	13,973	13,973
		55	0,917	94,822	86,920	12,765	12,765
		60	1,000	87,528	87,528	11,550	11,550
		65	1,083	80,234	86,920	10,334	10,334
		70	1,167	72,939	85,096	9,118	9,118
		75	1,250	65,645	82,056	7,903	7,903
		80	1,333	58,351	77,801	6,687	6,687
		85	1,417	51,056	72,330	5,471	5,471
		90	1,500	43,762	65,643	4,255	4,255
		95	1,583	36,468	57,740	3,040	3,040
		100	1,667	29,173	48,622	1,824	1,824
		105	1,750	21,879	38,288	0,608	0,608
		110	1,833	14,585	26,739	0,000	0,000

		115	1,917	7,290	13,973	0,000	0,000
		120	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tr = 70 anos t= 120 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	157,68.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	189,22 -94,61.i R ² =1	5	0,083	13,140	1,095	1,095	1,095
		10	0,167	26,280	4,380	3,285	3,285
		15	0,250	39,420	9,855	5,475	5,475
		20	0,333	52,560	17,520	7,665	7,665
		25	0,417	65,700	27,375	9,855	9,855
		30	0,500	78,840	39,420	12,045	12,045
		35	0,583	91,980	53,655	14,235	14,235
		40	0,667	105,120	70,080	16,425	16,425
		45	0,750	118,260	88,695	18,615	18,615
		50	0,833	110,378	91,982	15,111	15,111
		55	0,917	102,494	93,953	13,797	13,797
		60	1,000	94,610	94,610	12,483	12,483
		65	1,083	86,726	93,953	11,169	11,169
		70	1,167	78,842	91,982	9,855	9,855
		75	1,250	70,958	88,697	8,541	8,541
		80	1,333	63,073	84,098	7,227	7,227
		85	1,417	55,189	78,185	5,913	5,913
		90	1,500	47,305	70,958	4,599	4,599
		95	1,583	39,421	62,416	3,285	3,285
		100	1,667	31,537	52,561	1,971	1,971
		105	1,750	23,653	41,392	0,657	0,657
110	1,833	15,768	28,909	0,000	0,000		
115	1,917	7,884	15,111	0,000	0,000		
120	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Tr = 100 anos t= 120 min Δt=5 min							
Equações da reta		td(min)	td(h)	i(mm/h)	P(mm)	ΔP(mm)	Hietograma
Crescente	171,23.i R ² =1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decrescente	205,48 -102,74.i R ² =1	5	0,083	14,269	1,189	1,189	1,189
		10	0,167	28,538	4,756	3,567	3,567
		15	0,250	42,808	10,702	5,945	5,945
		20	0,333	57,077	19,026	8,324	8,324
		25	0,417	71,346	29,727	10,702	10,702
		30	0,500	85,615	42,808	13,080	13,080
		35	0,583	99,884	58,266	15,458	15,458
		40	0,667	114,153	76,102	17,836	17,836
		45	0,750	128,423	96,317	20,215	20,215

	50	0,833	119,863	99,886	16,410	16,410
	55	0,917	111,302	102,027	14,983	14,983
	60	1,000	102,740	102,740	13,556	13,556
	65	1,083	94,178	102,027	12,129	12,129
	70	1,167	85,617	99,886	10,702	10,702
	75	1,250	77,055	96,319	9,275	9,275
	80	1,333	68,493	91,324	7,848	7,848
	85	1,417	59,932	84,903	6,421	6,421
	90	1,500	51,370	77,055	4,994	4,994
	95	1,583	42,808	67,780	3,567	3,567
	100	1,667	34,247	57,078	2,140	2,140
	105	1,750	25,685	44,949	0,713	0,713
	110	1,833	17,123	31,393	0,000	0,000
	115	1,917	8,562	16,410	0,000	0,000
	120	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE C – Escoamento superficial do método SCS

Tabela 28 - Parâmetros do escoamento superficial

S	0,2 x S	0,8 x S	Δt
41,349	8,270	33,079	10 min

Fonte: Autor (2023)

Tabela 29 - Escoamento Superficial para duração de 60 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.

Tr= 30 anos t=60 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-
10	7,739	7,739	0,000	0,000	-
20	18,058	25,797	5,218	5,218	1
30	23,217	49,013	20,222	15,004	2
40	12,898	61,912	30,292	10,070	3
50	5,528	67,440	34,830	4,538	4
60	0,000	67,440	34,830	0,000	-
Tr= 50 anos t=60 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-
10	8,71	8,71	0,005	0,005	1
20	20,32	29,03	6,94	6,93	2
30	26,13	55,15	24,91	17,97	3
40	14,51	69,67	36,69	11,78	4
50	6,22	75,89	41,96	5,27	5
60	0,00	75,89	41,96	0,00	-
Tr= 70 anos t=60 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-
10	9,41	9,41	9,41	9,41	1
20	21,96	31,38	31,38	21,96	2
30	28,24	59,62	59,62	28,24	3
40	14,64	74,26	74,26	14,64	4
50	6,28	80,53	80,53	6,28	5
60	0,00	80,53	80,53	0,00	-
Tr= 100 anos t=60 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-
10	10,22	10,22	0,09	0,09	1

20	23,85	34,07	9,91	9,83	2
30	30,67	64,74	32,60	22,68	3
40	17,04	81,77	47,04	14,44	4
50	7,30	89,07	53,45	6,41	5
60	0,00	89,07	53,45	0,00	-

Fonte: Autor (2023)

Tabela 30 - Escoamento Superficial para duração de 90 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.

Tr= 30 anos t=90 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,00	0,00	0,00	0,00	-
10	4,23	4,23	0,44	0,44	1
20	9,88	14,11	0,72	0,29	2
30	15,52	29,63	7,28	6,55	3
40	18,34	47,98	19,45	12,17	4
50	11,67	59,65	28,47	9,02	5
60	8,08	67,73	35,08	6,60	6
70	4,49	72,22	38,84	3,77	7
80	0,90	73,12	39,60	0,76	8
90	0,00	73,12	39,60	0,00	-
Tr= 50 anos t=90 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-
10	4,764	4,764	0,325	0,325	1
20	11,115	15,879	1,183	0,858	2
30	17,467	33,346	9,467	8,284	3
40	20,643	53,989	24,007	14,540	4
50	13,136	67,125	34,569	10,562	5
60	9,094	76,219	42,243	7,674	6
70	5,052	81,271	46,604	4,361	7
80	1,010	82,281	47,483	0,879	8
90	0,000	82,281	47,483	0,000	-
Tr= 70 anos t=90 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-
10	5,149	5,149	0,255	0,255	1
20	12,014	17,163	1,574	1,319	2
30	18,880	36,043	11,159	9,585	3
40	22,312	58,355	27,435	16,276	4

50	14,199	72,554	39,121	11,685	5
60	9,830	82,384	47,573	8,452	6
70	5,461	87,845	52,365	4,792	7
80	1,092	88,937	53,331	0,966	8
90	0,000	88,937	53,331	0,000	-
Tr= 100 anos t=90 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0	0	0	0	-
10	5,591	5,591	0,185	0,185	1
20	13,047	18,638	2,079	1,893	2
30	20,502	39,140	13,196	11,117	3
40	24,230	63,370	31,478	18,282	4
50	15,418	78,788	44,453	12,975	5
60	10,674	89,462	53,796	9,343	6
70	5,930	95,392	59,081	5,286	7
80	1,186	96,577	60,145	1,064	8
90	0,000	96,577	60,145	0,000	-

Fonte: Autor (2023)

Tabela 31 - Escoamento Superficial para duração de 120 min e períodos de retorno de 30 ,50, 70 e 100 anos.

Tr= 30 anos t=120 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-
10	2,701	2,701	0,000	0,000	-
20	6,302	9,003	0,013	0,013	1
30	9,903	18,906	2,176	2,163	2
40	13,504	32,410	8,898	6,722	3
50	15,305	47,715	19,258	10,359	4
60	12,424	60,139	28,861	9,604	5
70	8,103	68,241	35,497	6,636	6
80	5,942	74,183	40,504	5,007	7
90	3,781	77,964	43,743	3,238	8
100	1,621	79,585	45,142	1,399	9
110	0,000	79,585	45,142	0,000	-
120	0,000	79,585	45,142	0,000	-
Tr= 50 anos t=120 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-

10	3,039	3,039	0,000	0,000	-
20	7,092	10,131	0,080	0,080	1
30	11,144	21,276	3,112	3,032	2
40	15,197	36,473	11,436	8,324	3
50	17,223	53,696	23,780	12,344	4
60	13,973	67,669	35,021	11,240	5
70	9,118	76,787	42,730	7,710	6
80	6,687	83,474	48,524	5,794	7
90	4,255	87,729	52,263	3,739	8
100	1,824	89,553	53,876	1,613	9
110	0,000	89,553	53,876	0,000	-
120	0,000	89,553	53,876	0,000	-
Tr= 70 anos t=120 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-
10	3,285	3,285	0,000	0,000	-
20	7,665	10,950	10,950	10,950	1
30	12,045	22,995	22,995	12,045	2
40	16,425	39,420	39,420	16,425	3
50	18,615	58,035	58,035	18,615	4
60	15,111	73,146	73,146	15,111	5
70	9,855	83,002	83,002	9,855	6
80	7,227	90,229	90,229	7,227	7
90	4,599	94,828	94,828	4,599	8
100	1,971	96,799	96,799	1,971	9
110	0,000	96,799	96,799	0,000	-
120	0,000	96,799	96,799	0,000	-
Tr= 100 anos t=120 min					
td (min)	ΔP (mm)	Pexc.acum (mm)	Pef.acum (mm)	Hiet.exc (fator multiplicativo)	Blocos
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-
10	3,567	3,567	0,000	0,000	-
20	8,324	11,891	0,292	0,292	1
30	13,080	24,971	4,805	4,513	2
40	17,836	42,808	15,719	10,914	3
50	20,215	63,022	31,194	15,476	4
60	16,410	79,432	45,009	13,815	5
70	10,702	90,134	54,392	9,382	6
80	7,848	97,982	61,409	7,017	7
90	4,994	102,977	65,924	4,515	8
100	2,140	105,117	67,870	1,946	9
110	0,000	105,117	67,870	0,000	-

120	0,000	105,117	67,870	0,000	-
-----	-------	---------	--------	-------	---

Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE D – Hidrograma unitário do método SCS

Tabela 32 - Hidrograma unitário para duração de 60 min e períodos de retorno de 30, 50, 70 e 100 anos.

Tr = 30 anos t=60min						
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente				Hidro. Proj (m³/s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	
		5,217566	15,00407	10,07047	4,538091888	
0	0,000	0,000				0,000
10	0,894	4,666	0,000			5,560
20	1,789	9,332	13,418	0,000		24,538
30	2,683	13,998	26,835	9,006	0,000	52,521
40	3,577	18,664	40,253	18,011	4,058	84,563
50	2,981	15,553	53,671	27,017	8,117	107,338
60	2,385	12,442	44,725	36,023	12,175	107,750
70	1,789	9,332	35,780	30,019	16,233	93,152
80	1,192	6,221	26,835	24,015	13,528	71,791
90	0,596	3,110	17,890	18,011	10,822	50,430
100	0,000	0,000	8,945	12,007	8,116	29,068
110			0,000	6,004	5,411	11,414
120				0,000	2,705	2,705
130					0,000	0,000
Tr = 50 anos t=60min						
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente				Hidro. Proj (m³/s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	
		0,004607	6,938349	17,97451	11,77702162	5,270519
0	0,000	0,000				0,000
10	0,894	0,004	0,000			0,004
20	1,789	0,008	6,205	0,000		6,213
30	2,683	0,012	12,409	16,074	0,000	28,496
40	3,577	0,016	18,614	32,148	10,532	61,310
50	2,981	0,014	24,819	48,222	21,064	98,832
60	2,385	0,011	20,682	64,296	31,595	126,011
70	1,789	0,008	16,546	53,580	42,127	126,401
80	1,192	0,005	12,409	42,864	35,106	109,238
90	0,596	0,003	8,273	32,148	28,085	84,219
100	0,000	0,000	4,136	21,432	21,063	59,200
110			0,000	10,716	14,042	34,184
120				0,000	7,021	13,305
130					0,000	3,142
140					0,000	0,000
Tr = 70 anos t=60min						

td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente					Hidro. Proj (m ³ /s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	
		0,030752	8,252696	20,15781	12,1260235	5,395403	
0	0,000	0,000					0,000
10	0,894	0,028	0,000				0,028
20	1,789	0,055	7,380	0,000			7,435
30	2,683	0,083	14,760	18,026	0,000		32,869
40	3,577	0,110	22,140	36,053	10,844	0,000	69,147
50	2,981	0,092	29,520	54,079	21,688	4,825	110,204
60	2,385	0,073	24,600	72,106	32,532	9,650	138,961
70	1,789	0,055	19,680	60,088	43,376	14,475	137,674
80	1,192	0,037	14,760	48,070	36,146	19,300	118,313
90	0,596	0,018	9,840	36,053	28,917	16,083	90,911
100	0,000	0,000	4,920	24,035	21,688	12,866	63,509
110			0,000	12,017	14,458	9,650	36,125
120				0,000	7,229	6,433	13,662
130					0,000	3,216	3,216
140						0,000	0,000
Tr = 100 anos t=60min							
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente					Hidro. Proj (m ³ /s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	
		0,087987	9,826441	22,68314	14,44357071	6,411483	
0	0,000	0,000					0,000
10	0,894	0,079	0,000				0,079
20	1,789	0,157	8,787	0,000			8,945
30	2,683	0,236	17,575	20,285	0,000		38,096
40	3,577	0,315	26,362	40,570	12,916	0,000	80,163
50	2,981	0,262	35,150	60,854	25,833	5,734	127,833
60	2,385	0,210	29,291	81,139	38,749	11,467	160,857
70	1,789	0,157	23,433	67,616	51,666	17,201	160,073
80	1,192	0,105	17,575	54,092	43,055	22,934	137,761
90	0,596	0,052	11,716	40,569	34,444	19,112	105,893
100	0,000	0,000	5,858	27,046	25,833	15,289	74,026
110			0,000	13,523	17,222	11,467	42,211
120				0,000	8,611	7,645	16,255
130					0,000	3,822	3,822
140						0,000	0,000

Fonte: Autor (2023)

Tabela 33 - Hidrograma unitário para duração de 90 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.

Tr = 30 anos t=90min										
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente								Hidro. Proj (m³/s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	
		0,4366	0,2864	6,5546	12,174	9,0187	6,6041	3,7671	0,7610	
0	0,000	0,000								0,000
10	0,894	0,390	0,000							1,285
20	1,789	0,781	0,256	0,000						2,826
30	2,683	1,171	0,512	5,862	0,000					10,228
40	3,577	1,562	0,768	11,723	10,887	0,000				28,518
50	2,981	1,302	1,024	17,585	21,774	8,065	0,000			52,731
60	2,385	1,041	0,854	23,446	32,661	16,130	5,906	0,000		82,424
70	1,789	0,781	0,683	19,539	43,549	24,196	11,812	3,369	0,000	105,716
80	1,192	0,521	0,512	15,631	36,290	32,261	17,718	6,738	0,681	111,543
90	0,596	0,260	0,341	11,723	29,032	26,884	23,623	10,107	1,361	103,928
100	0,000	0,000	0,171	7,815	21,774	21,507	19,686	13,475	2,042	86,471
110			0,000	3,908	14,516	16,130	15,749	11,229	2,722	64,254
120				0,000	7,258	10,753	11,812	8,984	2,269	41,075
130					0,000	5,377	7,874	6,738	1,815	21,803
140						0,000	3,937	4,492	1,361	9,790
150							0,000	2,246	0,907	3,153
160								0,000	0,454	0,454
170									0,000	0,000
Tr = 50 anos t=90min										
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente								Hidro. Proj (m³/s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	
		0,3248	0,8578	8,2840	14,540	10,561	7,6743	4,3609	0,8791	
0	0	0								0,000
10	0,894	0,2904	0							1,185
20	1,788	0,5809	0,7671	0						3,137
30	2,682	0,8714	1,5343	7,4081	0					12,497
40	3,577	1,1619	2,3015	14,816	13,003	0				34,860
50	2,980	0,9682	3,0686	22,224	26,006	9,4449	0			64,693
60	2,384	0,7746	2,5572	29,632	39,009	18,889	6,8628	0		100,111
70	1,788	0,5809	2,0457	24,693	52,012	28,334	13,725	3,8998	0	127,082
80	1,192	0,3872	1,5343	19,754	43,343	37,779	20,588	7,7996	0,7862	133,167
90	0,596	0,1936	1,0228	14,816	34,674	31,483	27,451	11,699	1,5723	123,510
100	0	0	0,5114	9,8773	26,005	25,186	22,876	15,599	2,3585	102,415
110			0	4,9385	17,337	18,889	18,300	12,999	3,1447	75,610
120				0	8,6682	12,593	13,725	10,399	2,6206	48,007
130					0	6,2963	9,1503	7,7995	2,0965	25,343
140						0	4,5750	5,1996	1,5723	11,347
150							0	2,5997	1,0482	3,648

160								0	0,5241	0,524
170									0	0,000
Tr = 70 anos t=90min										
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente								Hidro. Proj (m ³ /s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	
		0,2547	1,3194	9,5848	16,276	11,685	8,4520	4,7923	0,9656	
0	0,000	0,000								0,000
10	0,894	0,228	0,000							1,122
20	1,789	0,456	1,180	0,000						3,424
30	2,683	0,684	2,360	8,571	0,000					14,298
40	3,577	0,911	3,540	17,143	14,555	0,000				39,726
50	2,981	0,759	4,720	25,714	29,111	10,450	0,000			73,735
60	2,385	0,608	3,933	34,286	43,666	20,900	7,558	0,000		113,335
70	1,789	0,456	3,147	28,571	58,221	31,350	15,117	4,286	0,000	142,935
80	1,192	0,304	2,360	22,857	48,517	41,800	22,675	8,571	0,864	149,140
90	0,596	0,152	1,573	17,143	38,814	34,833	30,233	12,857	1,727	137,928
100	0,000	0,000	0,787	11,428	29,110	27,866	25,195	17,143	2,591	114,119
110			0,000	5,714	19,407	20,900	20,156	14,286	3,454	83,916
120				0,000	9,703	13,933	15,117	11,428	2,879	53,059
130					0,000	6,966	10,078	8,571	2,303	27,918
140						0,000	5,039	5,714	1,727	12,480
150							0,000	2,857	1,151	4,008
160								0,000	0,576	0,576
170									0,000	0,000
Tr = 100 anos t=90min										
td (min)	HTU S	Hietograma chuva excedente								Hidro. Proj (m ³ /s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	
		0,1855	1,8931	11,117	18,282	12,974	9,3426	5,2858	1,0639	
0	0,000	0,000								0,000
10	0,894	0,166	0,000							1,060
20	1,789	0,332	1,693	0,000						3,813
30	2,683	0,498	3,386	9,942	0,000					16,508
40	3,577	0,664	5,079	19,883	16,349	0,000				45,552
50	2,981	0,553	6,772	29,825	32,699	11,603	0,000			84,432
60	2,385	0,442	5,643	39,766	49,048	23,206	8,355	0,000		128,845
70	1,789	0,332	4,515	33,139	65,397	34,809	16,710	4,727	0,000	161,416
80	1,192	0,221	3,386	26,511	54,497	46,412	25,065	9,454	0,951	167,690
90	0,596	0,111	2,257	19,883	43,598	38,677	33,419	14,181	1,903	154,625
100	0,000	0,000	1,129	13,255	32,698	30,941	27,849	18,908	2,854	127,635
110			0,000	6,627	21,799	23,206	22,279	15,756	3,806	93,473
120				0,000	10,899	15,470	16,710	12,605	3,171	58,855
130					0,000	7,735	11,140	9,454	2,537	30,865
140						0,000	5,570	6,302	1,903	13,775
150							0,000	3,151	1,269	4,420
160								0,000	0,634	0,634

Fonte: Autor (2023)

Tabela 34 - Hidrograma unitário para duração de 120 min e períodos de retorno de 30,50,70 e 100 anos.

Tr=30 anos t=120 min											
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente									Hidro. Proj (m ³ /s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9	
		0,0127	2,1633	6,7223	10,359	9,6035	6,6358	5,0071	3,238	1,3990	
0	0,000	0,000									0,000
10	0,894	0,011	0,000								0,906
20	1,789	0,023	1,935	0,000							3,746
30	2,683	0,034	3,869	6,012	0,000						12,598
40	3,577	0,046	5,804	12,023	9,264	0,000					30,714
50	2,981	0,038	7,738	18,035	18,528	8,588	0,000				55,908
60	2,385	0,030	6,449	24,046	27,792	17,176	5,934	0,000			83,812
70	1,789	0,023	5,159	20,038	37,056	25,765	11,868	4,478	0,000		106,175
80	1,192	0,015	3,869	16,031	30,880	34,353	17,803	8,955	2,896	0,000	115,994
90	0,596	0,008	2,579	12,023	24,704	28,627	23,737	13,433	5,792	1,251	112,750
100	0,000	0,000	1,290	8,015	18,528	22,902	19,781	17,911	8,688	2,502	99,616
110			0,000	4,008	12,352	17,176	15,825	14,926	11,584	3,753	79,623
120				0,000	6,176	11,451	11,868	11,941	9,653	5,005	56,093
130					0,000	5,725	7,912	8,955	7,723	4,170	34,486
140						0,000	3,956	5,970	5,792	3,336	19,054
150							0,000	2,985	3,861	2,502	9,349
160								0,000	1,931	1,668	3,599
170									0,000	0,834	0,834
180										0,000	0,000
Tr=50 anos t=120 min											
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente									Hidro. Proj (m ³ /s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9	
		0,0801	3,0318	8,3240	12,344	11,240	7,6425	5,7544	3,7168	1,6047	
0	0,000	0,000									0,000
10	0,894	0,072	0,000								0,966
20	1,789	0,143	2,711	0,000							4,643
30	2,683	0,215	5,423	7,444	0,000						15,764
40	3,577	0,287	8,134	14,888	11,039	0,000					37,924
50	2,981	0,239	10,845	22,332	22,078	10,052	0,000				68,526
60	2,385	0,191	9,037	29,776	33,117	20,104	6,834	0,000			101,444
70	1,789	0,143	7,230	24,813	44,155	30,156	13,669	5,146	0,000		127,101
80	1,192	0,096	5,422	19,850	36,796	40,208	20,503	10,292	3,324	0,000	137,684
90	0,596	0,048	3,615	14,888	29,437	33,506	27,338	15,438	6,648	1,435	132,949
100	0,000	0,000	1,807	9,925	22,078	26,805	22,782	20,584	9,972	2,870	116,823
110			0,000	4,962	14,718	20,104	18,225	17,153	13,296	4,305	92,764
120				0,000	7,359	13,402	13,669	13,723	11,080	5,740	64,973
130					0,000	6,701	9,112	10,292	8,864	4,784	39,753
140						0,000	4,556	6,861	6,648	3,827	21,892

150							0,000	3,431	4,432	2,870	10,732
160								0,000	2,216	1,913	4,129
170									0,000	0,957	0,957
180										0,000	0,000
Tr=70 anos t=120 min											
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente									Hidro. Proj (m³/s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9	
		0,163	3,703	9,517	13,79	12,44	8,488	6,363	4,100	1,768	
0	0,000	0,000									0,000
10	0,894	0,146	0,000								1,040
20	1,789	0,292	3,312	0,000							5,392
30	2,683	0,438	6,624	8,511	0,000						18,256
40	3,577	0,584	9,936	17,022	12,338	0,000					43,457
50	2,981	0,486	13,249	25,533	24,676	11,126	0,000				78,051
60	2,385	0,389	11,040	34,044	37,014	22,253	7,591	0,000			114,716
70	1,789	0,292	8,832	28,370	49,353	33,379	15,182	5,691	0,000		142,888
80	1,192	0,195	6,624	22,696	41,127	44,506	22,774	11,382	3,667	0,000	154,162
90	0,596	0,097	4,416	17,022	32,902	37,088	30,365	17,073	7,334	1,581	148,474
100	0,000	0,000	2,208	11,348	24,676	29,670	25,304	22,764	11,001	3,162	130,133
110			0,000	5,674	16,451	22,253	20,243	18,970	14,668	4,744	103,001
120				0,000	8,225	14,835	15,182	15,176	12,223	6,325	71,966
130					0,000	7,417	10,121	11,382	9,779	5,271	43,970
140						0,000	5,061	7,588	7,334	4,217	24,199
150							0,000	3,794	4,889	3,162	11,845
160								0,000	2,445	2,108	4,553
170									0,000	1,054	1,054
180										0,000	0,000
Tr=100 anos t=120 min											
td (min)	HTUS	Hietograma chuva excedente									Hidro. Proj (m³/s)
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6	Bloco 7	Bloco 8	Bloco 9	
		0,163	3,703	9,517	13,79	12,44	8,488	6,363	4,100	1,7681	
0	0,000	0,000									0,000
10	0,894	0,261	0,000								1,155
20	1,789	0,522	4,036	0,000							6,346
30	2,683	0,782	8,072	9,760	0,000						21,297
40	3,577	1,043	12,109	19,520	13,839	0,000					50,088
50	2,981	0,869	16,145	29,280	27,678	12,354	0,000				89,308
60	2,385	0,695	13,454	39,040	41,518	24,709	8,331	0,000			130,131
70	1,789	0,522	10,763	32,533	55,357	37,063	16,661	6,241	0,000		160,928
80	1,192	0,348	8,072	26,026	46,131	49,417	24,992	12,482	4,019	0,000	172,680
90	0,596	0,174	5,382	19,520	36,904	41,181	33,323	18,722	8,038	1,733	165,573
100	0,000	0,000	2,691	13,013	27,678	32,945	27,769	24,963	12,057	3,465	144,581
110			0,000	6,506	18,452	24,708	22,215	20,802	16,076	5,198	113,958
120				0,000	9,226	16,472	16,661	16,642	13,397	6,930	79,328
130					0,000	8,236	11,107	12,481	10,718	5,775	48,317
140						0,000	5,554	8,321	8,038	4,620	26,533

150							0,000	4,160	5,359	3,465	12,984
160								0,000	2,679	2,310	4,989
170									0,000	1,155	1,155
180										0,000	0,000

Fonte: Autor (2023)