



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR – CCTA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL – UACTA
CURSO BACHARELANDO EM ENGENHARIA CIVIL

DIELYSON SAMPAIO PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE CANAL DE MACRODRENAGEM URBANA
UTILIZANDO OS MODELOS DE CHUVA-VAZÃO: SCS E O SANTA BÁRBARA
(HUSB)**

POMBAL-PB

2023

DIELYSON SAMPAIO PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE CANAL DE MACRODRENAGEM URBANA
UTILIZANDO OS MODELOS DE CHUVA-VAZÃO: SCS E O SANTA BÁRBARA
(HUSB)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, elaborado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz

POMBAL-PB

2023

P436d Pereira, Dielyson Sampaio.

Dimensionamento de canal de macrodrenagem urbana utilizando os modelos de chuva-vazão: SCS e o Santa Bárbara (HUSB) / Dielyson Sampaio Pereira. – Pombal, 2023.

146 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. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz”.

Referências.

1. Drenagem urbana. 2. Hidrograma unitário. 3. Bacia periurbana. 4. Bacia do Riacho do Frango. 5. Estudo hidrológico. 6. Vazão de projeto. I. Queiroz, Manoel Moisés Ferreira de. II. Título.

CDU 626.86 (043)

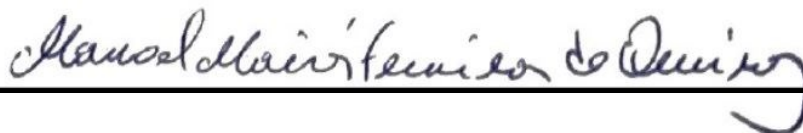
DIELYSON SAMPAIO PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE CANAL DE MACRODRENAGEM URBANA
UTILIZANDO OS MODELOS DE CHUVA-VAZÃO: SCS E O SANTA BÁRBARA
(HUSB)**

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado pelos examinadores para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em unanimidade pelos professores participante da banca examinadora.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 10/ 02/ 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof.º Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz
Orientador - UACTA/CCTA/UFCG



Prof.ª Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro
Examinadora Interna - UACTA/CCTA/UFCG



Eng.º Deividu Kaik de Lima Araujo
Examinador Externo – Engenheiro Civil

POMBAL-PB

2023

AGRADECIMENTOS

É com grande prazer e alegria que venho demonstrar essas palavras de agradecimentos. Olhar para trás e ver todo processo que percorri, todos os dias e noites em claro, as dificuldades e adversidades superadas, e toda dedicação para demonstrar o meu melhor, me emocionam e me trazem sentimento de dever cumprido.

No decorrer de minha graduação vivi muitos momentos especiais, mas também tive que conviver com momentos difíceis, mas que no fim me moldaram e acabaram me dando forças para continuar e chegar até aqui. Foram desafios superados que estão marcados em minha vida e fizeram com que eu pudesse viver experiências que me ajudaram a crescer como ser humano e profissional. Conheci e convivi com pessoas maravilhosas que me ajudaram e contribuíram com o meu crescimento e me mostraram um caminho de esperança.

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu Deus todo-poderoso, pelo dom da vida, por me abençoar, trazer sabedoria e me fazer superar todas as dificuldades durante esse processo e conseguir realizar meu sonho e chegar onde estou hoje.

Ao meu pai, Ednaldo Pereira, por ser minha fonte de inspiração e meu melhor amigo, agradeço por toda educação, conselhos, ensinamentos, e por todo esforço dedicado para que eu pudesse alcançar meus sonhos e objetivos. A minha mãe, Damiana Sampaio (in memoriam), que sempre esteve ao meu lado e cujo empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar, obrigado por seu amor, carinho, proteção, força, e por ser meu exemplo, sempre te levarei no meu coração, na minha mente e nas minhas orações. Vocês tornaram todo esse sonho possível, sou imensamente grato por tudo que fizeram e fazem por mim, vocês são os melhores pais que eu poderia ter, tenho orgulho e amo muito vocês.

Agradeço imensamente e com muito amor à minha noiva, Jemilly Saldanha, pelo amor, pela compreensão, pelo companheirismo, por sempre me apoiar, me incentivar, dando-me forças para continuar, quando tudo parecia perdido, por me alegrar e me proporcionar momentos maravilhosos. Isso tudo foi fundamental para que hoje eu estivesse aqui, te amo muito.

Aos meus avós maternos e paternos, José Leite e Maria do Socorro, Amaro Pereira e Marias das Graças, aos meus tios, Eraldo, Erivaldo, Everaldo, Fernando e João, as minhas tias, Maria Aparecida e Luzia, e a toda minha família por todas as palavras de acolhimento, de ânimo, de encorajamento e apoio. Por cada abraço e carinho compartilhado que foram e sempre serão ímpares na minha vida.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e me motivaram, e que estão juntos comigo nesta caminhada ao longo desses 5 anos de graduação, vocês bastante em minha vida acadêmica e pessoal, começando pelos amigos: Antônio Neto, Felipe Rodrigues, Marcus Aurélio, Nathan Gomes, Keitson Jales, Lucas Mateus, Lucas Guimarães, Geraldo Neto, Arthur Lima, Higor Andrade, Diógenes da Mata, Sávio Abilio e os demais companheiros de sala e amigos me fogem à mente. Gratidão.

Ao meu supervisor de estágio, e amigo, Engenheiro Deivid Kaik, grande pesquisador da área de recursos hídricos, por todos os conhecimentos, ajuda e dicas passadas para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado.

Ao meu orientador, Dr. Manoel Moisés, pela oportunidade de ser seu orientando, agradeço por todos os ensinamentos e conhecimentos passados, é uma honra aprender com o senhor. Muito obrigado.

A todo corpo docente e colaboradores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, campus Pombal, por todos os ensinamentos ao longo do curso. Todos são importantíssimos para minha carreira profissional.

Finalizo aqui com todo o meu respeito, carinho e admiração, o meu muito obrigado!

“No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.” (Ayrton Senna).

RESUMO

O desenvolvimento urbano nas cidades brasileiras tem desencadeado problemas devido à falta de planejamento e gestão durante o processo de ocupação do solo. A infraestrutura necessária da drenagem urbana, normalmente não acompanha as necessidades e modificações do meio ambiente provocado pelo processo de urbanização. Diante destas perspectivas, o objetivo do presente estudo foi especificar características hidrológicas, determinar vazões de projeto e dimensionar um canal de macrodrenagem para a bacia hidrográfica do riacho do Frango, no município de Patos-PB. Através da pesquisa bibliográfica, foram apresentados os conceitos da hidrologia relacionados a drenagem urbana e os impactos da urbanização frente ao ciclo hidrológico. Na metodologia do trabalho, através do geoprocessamento, caracterizou-se a área e as características físicas da região da bacia, além de proceder análises hidrológicas e hidráulicas. Com a utilização das ferramentas MAPBIOMAS e o Google Earth Engine foi possível determinar o uso e ocupação do solo da bacia e obter o parâmetro número da curva CN igual a 82. Para os estudos hidrológicos, utilizou-se do banco de dados da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado) para determinar a série histórica de chuvas máximas diárias e modelar a equação de chuva. A distribuição temporal foi realizada pelo método dos Blocos Alternados. Os modelos hidrológicos para estimar as vazões de projeto foram o Hidrograma Unitário Sintético-SCS e o Hidrograma Unitário de Santa Bárbara (HUSB), para diferentes durações e períodos de retorno. Por fim, realizou-se o dimensionamento para chuva crítica de 60 minutos de duração e 70 anos de período de retorno. Os resultados para as vazões, assim como o do dimensionamento pelos modelos hidrológicos apresentam-se satisfatórios e concisos, com resultados semelhantes. Assim, conclui-se que o estudo tem grande importância para o gerenciamento hidrológico e o dimensionamento hidráulico evitando problemas ligados a inundações.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Hidrograma Unitário. Riacho do Frango. Vazão de Projeto.

ABSTRACT

Urban development in Brazilian cities has triggered problems due to lack of planning and management during the land occupation process. The necessary infrastructure of urban drainage usually does not follow the needs and changes in the environment caused by the urbanization process. Given these perspectives, the objective of the present study was to specify hydrological characteristics, determine project flows and size a macro drainage channel for the Frango Creek watershed, in the municipality of Patos-PB. Through bibliographical research, the concepts of hydrology related to urban drainage and the impacts of urbanization on the hydrological cycle were presented. In the work methodology, through geoprocessing, the area and the physical characteristics of the basin region were characterized, in addition to carrying out hydrological and hydraulic analyses. Using the MAPBIOMAS tools and Google Earth Engine, it was possible to determine the use and occupation of the basin's soil and obtain the parameter number of the CN curve equal to 82. For the hydrological studies, the ANA database was used (National Water and Basic Sanitation Agency) and the AESA (Executive Agency for Water Management of the State) to determine the historical series of maximum daily rainfall and model the rainfall equation. The temporal distribution was carried out by the Alternating Blocks method. The hydrological models to estimate the project flows were the Synthetic Unit Hydrograph-SCS and the Santa Bárbara Unit Hydrograph (HUSB), for different durations and return periods. Finally, the sizing was carried out for critical rain of 60 minutes duration and 70 years of return period. The results for the flows, as well as the sizing by the hydrological models, are satisfactory and concise, with similar results. Thus, it is concluded that the study is of great importance for hydrological management and hydraulic dimensioning, avoiding problems related to flooding.

Keywords: Urban Drainage. Unit Hydrograph. Chicken Creek. Project Flow.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 GERAL	21
2.2 ESPECÍFICO	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA	22
3.1.1 Caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas.....	23
3.1.2 Tempo de concentração.....	24
3.2 HIDROLOGIA E DRENAGEM URBANA.....	26
3.2.1 O efeito da urbanização em bacias hidrográficas	27
3.2.2 Microdrenagem.....	29
3.2.3 Macrodrenagem.....	30
3.3 CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA.....	31
3.4 CHUVAS INTENSAS	32
3.4.1 Equação de chuva	32
3.4.2 Distribuição de Gumbel	33
3.4.3 Desagregação.....	34
3.5 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS CHUVAS	34
3.6 MODELOS CHUVA-VAZÃO.....	35
3.6.1 Método do SCS-CN – Escoamento Superficial	36
3.6.2 Geoprocessamento	37
3.6.3 Hidrograma Unitário.....	38
3.6.4 Hidrograma unitário sintético do SCS	38
3.6.5 Método Santa Bárbara	40
3.7 HIDRÁULICA DE CANAIS.....	40
3.7.1 Recomendações para projeto e execuções	42
4. METODOLOGIA.....	43
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
4.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DA BACIA	45
4.3 ESTUDO TOPOGRÁFICO E GEOLÓGICO	45
4.4 ESTUDO GEOTÉCNICO	48
4.5 ESTUDO DA VEGETAÇÃO.....	48
4.7 ESTUDO HIDROLÓGICO	49

4.8	EQUAÇÃO DA CHUVA	50
4.9	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL PELO MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS	55
4.10	CALCULO DA DECLIVIDADE MÉDIA DO TALVEGUE PRINCIPAL	55
4.11	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	56
4.11.1	Equação de Carter	56
4.11.2	Equação de Schaake et al	56
4.11.3	Equação de Desbordes	56
4.12	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	57
4.13	APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS-HUS	59
4.14	MODELO SANTA BÁRBARA	61
4.15	DIMENSIONAMENTO DE CANAL	64
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1	DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	68
5.2	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA	69
5.3	EQUAÇÃO DA CHUVA	70
5.4	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL	79
5.5	DECLIVIDADE DO TALVEGUE PRINCIPAL	86
5.6	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA	86
5.7	CÁLCULO DO COEFICIENTE CURVER NUMBER, CN	87
5.8	MÉTODO SCS-HUS – VAZÃO DE PROJETO	88
5.9	MÉTODO SANTA BÁRBARA – VAZÃO DE PROJETO	93
5.10	DIMENSIONAMENTO DO CANAL	98
5.10.1	Dimensionamento pelo Método SCS-HUS	99
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL	110
	APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA CHUVA PELO MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS	112
	APÊNDICE C – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ATRAVÉS DO MÉTODO SCS	116
	APÊNDICE D – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO MÉTODO HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO-SCS	120
	APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO MÉTODO SANTA BÁRBARA	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Alagamentos e inundações	28
Figura 2: Alagamentos e inundações	28
Figura 3: Representação de um sistema de microdrenagem.	29
Figura 4: Canal de drenagem da Bacia do Frango.	31
Figura 5: Comportamento de um Hidrograma	38
Figura 6: Hidrograma Unitário Sintético do SCS	39
Figura 7: Discretização do Hidrograma Unitário Sintético do SCS.	39
Figura 8: Parâmetros geométricos da Seção Transversal.....	41
Figura 9: Localização da área de estudo	45
Figura 10: Aspectos geológicos do município	46
Figura 11: Relevo do município de Patos-PB	47
Figura 12: Mapa Hipisométrico do município de Patos-PB	48
Figura 13: Rede hidrográfica do município de Patos-PB.....	50
Figura 14: Delimitação da bacia de contribuição.....	68
Figura 15: Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia de Contribuição	69
Figura 16: Seção Transversal do Canal pelo Método SCS-HUS.....	101
Figura 17: Seção Transversal do Canal pelo Método Santa Bárbara.....	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Chuva Máxima Diária Anual	70
Gráfico 2: Distribuição de Gumbel	71
Gráfico 3: Curvas IDFs	74
Gráfico 4: IDFs Linearizadas	75
Gráfico 5: Log (T) x Log (C)	76
Gráfico 6: Curvas IDF's pela equação de chuva	79
Gráfico 7: Hietograma para t = 60 min e T = 30 anos.....	80
Gráfico 8: Hietograma para t = 90 min e T = 30 anos.....	80
Gráfico 9: Hietograma para t = 120 min e T = 30 anos.....	81
Gráfico 10: Hietograma para t = 60 min e T = 50 anos.....	81
Gráfico 11: Hietograma para t = 90 min e T = 50 anos.....	82
Gráfico 12: Hietograma para t = 120 min e T = 50 anos.....	82
Gráfico 13: Hietograma para t = 60 min e T = 70 anos.....	83
Gráfico 14: Hietograma para t = 90 min e T = 70 anos.....	83
Gráfico 15: Hietograma para t = 120 min e T = 70 anos.....	84
Gráfico 16: Hietograma para t = 60 min e T = 100 anos.....	84
Gráfico 17: Hietograma para t = 90 min e T = 100 anos.....	85
Gráfico 18: Hietograma para t = 120 min e T = 100 anos.....	85
Gráfico 19: Hidrograma SCS-HUS – t = 60, 90 e 120 minutos e T = 30 anos	89
Gráfico 20: Hidrograma SCS-HUS – t = 60, 90 e 120 minutos e T = 50 anos	90
Gráfico 21: Hidrograma SCS-HUS – t = 60, 90 e 120 minutos e T = 70 anos	91
Gráfico 22: Hidrograma SCS-HUS – t = 60, 90 e 120 minutos e T = 100 anos	92
Gráfico 23: Hidrograma Santa Bárbara - T = 30 anos e t = 60, 90 e 120 minutos.....	94
Gráfico 24: Hidrograma Santa Bárbara - T = 50 anos e t = 60, 90 e 120 minutos.....	95
Gráfico 25: Hidrograma Santa Bárbara - T = 70 anos e t = 60, 90 e 120 minutos.....	96
Gráfico 26: Hidrograma Santa Bárbara - T = 100 anos e t = 60, 90 e 120 minutos.....	97

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Equações da reta	75
Quadro 2: Equações das retas - Método SCS-HUS	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Fórmulas do tempo de concentração	25
Tabela 2: Fórmulas recomendadas	26
Tabela 3: Tipos de solo SCS	58
Tabela 4: Valores de CN para bacias urbanas	59
Tabela 5: Tabelas com coeficiente de rugosidade n.....	65
Tabela 6: Valores do coeficiente de forma K.....	66
Tabela 7: Velocidades médias recomendadas	67
Tabela 8: Dados da Bacia do Riacho do Frango	69
Tabela 9: Caracterização do uso e ocupação do solo da bacia.....	70
Tabela 10: Precipitações máximas	72
Tabela 11: Desagregação das chuvas	72
Tabela 12: Intensidades	73
Tabela 13: Logaritmo da intensidade	74
Tabela 14: Log (T) x Log (C).....	76
Tabela 15: Parâmetros da equação de chuva.....	76
Tabela 16: Intensidades pela equação de chuva	77
Tabela 17: Qui-quadrado teórico.....	78
Tabela 18: Tempos de Concentração	87
Tabela 19: Coeficiente Curver Number – CN.....	87
Tabela 20: Resultados do tempo de pico, tempo de base e vazão de pico	88
Tabela 21: Resultados do tempo de pico, tempo de base e vazão de pico, ajustados	88
Tabela 22: Vazões de pico SCS-HUS - Tr = 30 anos	89
Tabela 23: Vazões de pico SCS-HUS - Tr = 50 anos	90
Tabela 24: Vazões de pico SCS-HUS - Tr = 70 anos	91
Tabela 25: Vazões de pico SCS-HUS - Tr = 100 anos	92
Tabela 26: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 30 anos	94
Tabela 27: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 50 anos	95
Tabela 28: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 70 anos	96
Tabela 29: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 100 anos	97
Tabela 30: Períodos de retorno em função da ocupação da área.....	98
Tabela 31: Análise das precipitações	99
Tabela 32: Análise das vazões de projeto pelo Método SCS-HUS.....	99

Tabela 33: Dimensionamento do canal pelo Método HUS-SCS.....	100
Tabela 34: Verificação da velocidade	100
Tabela 35: Análise das vazões de projeto pelo Método Santa Bárbara.....	101
Tabela 36: Dimensionamento do canal pelo Método Santa Bárbara	102
Tabela 37: Verificação da velocidade	102
Tabela 38: Distribuição de Gumbel.....	110
Tabela 39: Blocos Alternados para Duração de 60 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos	112
Tabela 40: Blocos Alternados para Duração de 90 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos	113
Tabela 41: Blocos Alternados para Duração de 120 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos	114
Tabela 42: Parâmetros do escoamento superficial	116
Tabela 43: Escoamento Superficial - SCS - Duração de 60 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos	116
Tabela 44: Escoamento Superficial - SCS - Duração de 90 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos	117
Tabela 45: Escoamento Superficial – SCS - Duração de 120 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos	118
Tabela 46: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 60 min e T = 30 anos	120
Tabela 47: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 90 min e T = 30 anos	120
Tabela 48: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 120 min e T = 30 anos	121
Tabela 49: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 60 min e T = 50 anos	122
Tabela 50: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 90 min e T = 50 anos	122
Tabela 51: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 120 min e T = 50 anos	123
Tabela 52: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 60 min e T = 70 anos	124
Tabela 53: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 90 min e T = 70 anos	124
Tabela 54: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 120 min e T = 70 anos.....	125
Tabela 55: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 60 min e T = 100 anos	125
Tabela 56: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 90 min e T = 100 anos	126
Tabela 57: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 120 min e T = 100 anos	126
Tabela 58: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 60 minutos e T = 30 anos	127
Tabela 59: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 90 minutos e T = 30 anos	129
Tabela 60: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 120 minutos e T = 30 anos	131
Tabela 61: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 60 minutos e T = 50 anos	132
Tabela 62: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 90 minutos e T = 50 anos	134

Tabela 63: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 120$ minutos e $T = 50$ anos	135
Tabela 64: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 60$ minutos e $T = 70$ anos	137
Tabela 65: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 90$ minutos e $T = 70$ anos	139
Tabela 66: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 120$ minutos e $T = 70$ anos	141
Tabela 67: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 60$ minutos e $T = 100$ anos	142
Tabela 68: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 90$ minutos e $T = 100$ anos	144
Tabela 69: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 120$ minutos e $T = 100$ anos	145

LISTA DE ABREVIACÕES

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado.

ANA – Agência Nacional de Água.

BR – Brasil.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CN – Número de Curva ou Curve Number do *Soil Conservation Service* (SCS).

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

EUA – Estados Unidos da América.

FPD – Função Densidade de Probabilidade.

HU – Hidrograma Unitário.

HUSB – Hidrograma Unitário de Santa Bárbara.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDF – Intensidade Duração e Frequência.

KM – Quilômetro.

LOG – Logaritmo.

MMA – Ministério do Meio Ambiente.

PB – Estado da Paraíba.

SCS – Serviço de Conservação dos Solos “*Soil Conservation Service*”.

SE – Situação de Emergência.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

TC – Tempo de Concentração.

TR – Período de Retorno.

1. INTRODUÇÃO

Advindo do capitalismo na segunda metade do século XX, o crescimento desordenado dos centros urbanos e da população tem acarretado problemas de infraestrutura e diversas alterações no meio ambiente. Ações antrópicas como a impermeabilização e o uso e ocupação do solo, bem como o aumento do escoamento superficial, geram grandes problemas contemporâneos para as cidades.

Segundo TUCCI (2005), a impermeabilização do solo aumenta a contribuição das águas pluviais acima da capacidade de infiltração do solo e dos sistemas de drenagem existentes, intensificando as inundações urbanas e ribeirinhas.

Portanto, as inundações podem causar consequências drásticas para as cidades, tanto no sentido econômico como social, os danos observados hoje em dia pelos eventos de inundações ressaltam a falta de preparo e a gestão inadequada dos sistemas de drenagem no Brasil. Atrelado as inundações, a ocupação do solo, em diversos casos, é realizada sem planejamento, priorizando o mínimo custo e o máximo benefício próprio. Esses eventos hidrológicos extremos têm na drenagem urbana seus problemas e soluções.

Segundo Tucci (2008), as melhores soluções para esses transtornos são desenvolvidas a partir de um melhor entendimento do ambiente urbano, bem como as relações entre os sistemas que o compõem. Isto significa, que a drenagem urbana extravasou a área restrita da engenharia para se tornar um problema gerencial, com constituintes políticos e geológicos.

Os sistemas de drenagem são componentes da infraestrutura de uma cidade, sendo uma peça importante na vida urbana. Se o sistema de drenagem falhar e não atender todos os critérios necessários, cidades tornam-se sujeitas às inundações, a possível degradação ambiental, a problemas de saúde e saneamento e a interrupção de serviços básicos à população (MIGUEZ, VERÓL e CARNEIRO, 2012).

Para que se tenha um planejamento urbano adequado e que esses sistemas sejam desenvolvidos é necessário primeiramente que se realize um desenvolvimento científico-tecnológico de métodos para prever impactos devido ao crescimento urbano. Estudos hidrológicos baseados em modelos matemáticos são referências bastante utilizadas para essas análises, uma vez que eles propõem um melhor entendimento dos fenômenos físicos retratados em uma determinada bacia hidrográfica.

Existem vários modelos hidrológicos, no entanto, os modelos de chuva-vazão, que determinam as vazões a partir da precipitação, são os mais utilizados para designar os impactos gerados a partir da ocupação em uma bacia, bem como analisar soluções de

intervenções em um dado sistema de drenagem. Diante disso, é extremamente necessário desenvolver a estimativa de vazões máximas para determinar a segurança dos projetos de macrodrenagem.

Diante destas perspectivas, encontra-se a cidade de Patos, no estado da Paraíba, que segundo o último censo realizado pelo IBGE em 2010 tem a população estimada em 107.605 habitantes e está em constante desenvolvimento, tanto econômico como demográfico. O município é cortado pelo rio Espinharas e conta com a Bacia do riacho do Frango, que se encontra na área urbana do município e é o propósito de estudo deste trabalho.

A Bacia do riacho do Frango está inserida na bacia hidrográfica Piranhas-Açu, a mesma conta com um canal de alvenaria que corta bairros da zona norte do município. No entanto, esta obra de macrodrenagem não está atendendo a sua função com efetividade. Transtornos como inundações e transbordamentos, devido às chuvas mais intensas, impermeabilização do solo, acúmulo de resíduos no interior do canal, devido à falta de manutenção e limpeza, são problemas recorrentes no canal. A falta de efetividade de um sistema de drenagem urbana está diretamente ligada a todos esses fatores, portanto, é notório que é necessário que seja feita uma reformulação dessa obra de macrodrenagem. O presente trabalho busca realizar avaliações hidrológicas, estimar vazões de projeto, e realizar o dimensionamento para o canal da bacia do Riacho do Frango.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Proceder um estudo hidrológico em uma bacia periurbana no município de Patos-PB e propor o dimensionamento de um canal de macrodrenagem a partir de um projeto de engenharia.

2.2 ESPECÍFICOS

- Desenvolver a equação de chuvas intensas para o município de Patos-PB;
- Estabelecer os critérios de drenagem urbana da cidade de Patos/PB;
- Estimar vazões de projeto através dos modelos de chuva vazão Hidrograma Unitário Sintético – SCS e o Hidrograma Unitário de Santa Bárbara;
- Projetar o sistema de macrodrenagem adequado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo Barrella et al. (2002, p. 138), a bacia hidrográfica é

[...] um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente, formando os riachos e os rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e, à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios. Esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocar no oceano.

Dessa forma, a bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área de formação natural que capta a precipitação da chuva e converge os escoamentos para um único ponto de saída. Ela é composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único, chamado de exutório. Portanto, a formação da bacia hidrográfica dá-se através dos desníveis dos terrenos que direcionam os cursos da água, sempre das áreas mais altas para as mais baixas.

Sua delimitação é feita por divisores de água, ou denominados divisores topográficos, que estão localizados na parte mais alta do relevo entre duas vertentes. A delimitação pode ser realizada por meio digital com apoio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) ou manualmente utilizando cartas topográficas (TAVEIRA, 2018).

É nas delimitações desse sistema que se desenvolvem todos os setores da sociedade: as áreas urbanizadas, a agricultura, a pecuária, as indústrias e o ecossistema. Assim constitui uma área ideal para estudos ambientais, pois proporciona a integração entre os aspectos físicos, sociais e econômicas. (PORTO,2008). Segundo Machado (2010), essa análise permite caracterizar a predisposição da bacia a determinados eventos, como enchentes e erosões, e a incompatibilidade com alguns modelos de uso e ocupação do solo.

3.1.1 Caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas

Em uma bacia hidrográfica, as características naturais estão diretamente relacionadas com o ciclo hidrológico. Essas características podem interferir, por exemplo, no escoamento superficial, o qual é responsável pela interação terra-água e, portanto, nos processos erosivos, no transporte de poluentes até os corpos d'água, nos tipos de uso e ocupação que se faz da terra, dentre outros (PRADO et al., 2010).

Segundo (TUCCI, 2004), os dados fisiográficos são todos aqueles dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Portanto as principais características fisiográficas obtidas em estudos hidrológicos são: área, perímetro, talvegue principal, declividade, forma da bacia ou compacidade e sistema de drenagem (ordem e densidade de drenagem).

- 1) **Área da bacia:** De acordo com Villela e Mattos (1975), a área de drenagem de uma bacia hidrográfica pode ser definida como a área plana (projeção horizontal) delimitada pelos seus divisores topográficos. Ela é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas da bacia hidrográfica. A área da bacia é expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km²) e pode ser obtida por planimetragem de mapas ou por cálculos a partir de mapas digitalizados, utilizando ferramentas computacionais de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) (TUCCI, 2004).
- 2) **Comprimento do rio principal:** Define-se o rio principal de uma bacia hidrográfica como aquele que drena a maior área no interior da bacia. Segundo (TUCCI, 2004) o comprimento do rio principal é determinado a partir do perfil longitudinal do curso d'água medindo-se o comprimento do trecho entre a nascente mais distante e o ponto de interesse ou exutório.
- 3) **Declividade:** Segundo (PAIVA e PAIVA, 2001) a declividade consiste na razão entre a diferença das altitudes dos pontos extremos de um curso d'água e o comprimento desse curso d'água, pode ser expressa em % ou m/m. Ela é um importante fator para se determinar a velocidade do escoamento superficial, que estabelece o tempo de concentração da bacia e define a magnitude dos picos de enchente.
- 4) **Forma da Bacia:** A forma de uma bacia hidrográfica também é importante no seu comportamento hidrológico. A partir do comparativo de bacias com características semelhantes, identificamos que as bacias com forma mais circular apresentam uma

tendência de gerar picos de enchente mais elevados em relação às bacias alongadas (VILLELA e MATTOS, 1975, p. 13).

- 5) Sistema de Drenagem:** O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é constituído pelo curso d'água principal mais os tributários. O estudo da malha de drenagem é importante no sentido em que reflete a maior ou menor rapidez com que a água deixa a bacia hidrográfica.

3.1.2 Tempo de concentração

O tempo de concentração é definido como o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle. Para determinar o tempo de concentração, é considerada diversas variáveis hidráulicas, não sendo uma análise restrita a geografia da bacia. O tempo de concentração é parâmetro fundamental para a caracterização tanto do pico como do formato do hidrograma e, portanto, é primordial na estimativa de vazões máximas e previsão de desastres naturais.

Segundo Reis (2017), os fatores fisiográficos que influenciam no tempo de concentração são a forma da bacia; o comprimento e a declividade do curso da água – sendo que quanto maior o comprimento e menor a declividade, o tempo de concentração tende a ser menor; o tipo de cobertura vegetal presente na bacia e seu nível de antropização, sendo que áreas mais antropizadas diminuem o tempo de concentração e áreas rurais tendem a ter maior coeficiente; e a formula utilizada para correlacionar todos os fatores.

O tempo de concentração é formulado por diversos autores e muitos possuem suas características específicas em função dos fatores já supracitados. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta os autores e as equações matemáticas para cada metodologia. O tempo de concentração (T_c) é dado em horas (h), o comprimento do talvegue (L) é dado em quilômetros (km) e a declividade (S) é dada em metros por metros (m/m). Em algumas equações, é utilizado a área da bacia (A) em quilômetros quadrado (km²).

Existem várias fórmulas para se calcular o tempo de concentração, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Fórmulas do 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)	$T_c = 7,35n^{0,6;-0,4}L^{0,6}S^{-0,3}$
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)	$T_c = 0,322A^{0,594}L^{-0,594}S^{-0,150}S_{scs}^{0,313}$
Ven te 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).

Silveira (2005) determinou as equações que apresentam melhores desempenhos para bacias rurais e urbanas (Tabela 2), onde as bacias ruauis são indicadas pela letra “R” e as urbanas pela letra “U”. Essa determinação dada pelo autor se dá a partir da abrangência de bacias com bons resultados, pela representatividade original da equação e pela porcentagem dos erros avaliados.

Tabela 2: Fórmulas recomendadas

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).

Escolher quais equações serão utilizadas para a determinação do tempo de concentração de uma bacia é de extrema importância para a prevenção e a diminuição de acidentes relacionados a recursos hídricos.

3.2 HIDROLOGIA E DRENAGEM URBANA

Segundo Martins *et al.* (2010), a hidrologia urbana é o ramo da hidrologia voltado ao estudo dos impactos do desenvolvimento urbano sobre o ciclo da água, dando ênfase, na maioria das vezes, a análise do escoamento superficial, visando minimizar e prevenir os fenômenos catastróficos por este gerados. Grande parte dos estudos tratados na hidrologia urbana diz respeito à análise do escoamento superficial, que está associado à proteção das cidades contra as consequências geradas a partir de fenômenos naturais adversos, muitas vezes advindos do movimento da água nas interações superficiais e subsuperficiais do ciclo hidrológico, como as inundações.

Com a ocupação desordenada das áreas urbanas, surgem diversos problemas de engenharia, muitos deles relacionados com a interferência do homem com o meio ambiente. A drenagem urbana é uma área da engenharia que enfrenta tais problemas, o desenfreio desenvolvimento urbano faz com que os sistemas naturais de escoamento das águas pluviais sejam inteiramente modificados. A fim de diminuir ou evitar esses transtornos gerados e dar uma destinação adequada às águas pluviais, são desenvolvidas obras de infraestrutura de drenagem.

A drenagem urbana envolve geralmente o estudo de cursos d'água de pequeno e médio porte presentes no meio urbano, analisando se estes necessitam de melhoramentos ou

de obras hidráulicas que visam livrar a população dos transtornos e prejuízos gerados pelas chuvas intensas, convertidas em escoamento superficiais, que desenvolvem grandes vazões devido a crescente impermeabilização do solo, provocada pelo constante processo de urbanização (MARQUES *et al.* 2013).

Portanto, o sistema de drenagem urbana faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana, quais sejam: redes de abastecimento de água, de coleta de esgotos sanitários, de cabos de transmissão de energia, de serviços de comunicações, além da iluminação pública, pavimentação de ruas, guias e passeios, parques, áreas de recreação e lazer.

Como é estabelecido pela Agência Nacional de Água (ANA), o objetivo da drenagem urbana é retirar o escoamento da água das chuvas o mais rápido possível do perímetro urbano, evitando danos para a cidade e assegurando que não haja impactos aos corpos hídricos, receptores das águas pluviais.

3.2.1 O efeito da urbanização em bacias hidrográficas

O modo característico de urbanização brasileiro, baseado principalmente na concentração populacional e na ocupação desordenada dos centros urbanos, contribuiu para a geração de impactos significativos nas bacias hidrográficas (TUCCI, 2005a). Esses impactos afetam diretamente grande parte da população que sofrem consequências sociais e econômicas.

Segundo Canholi (2014), a rapidez do crescimento das cidades não foi acompanhada por seu planejamento, principalmente no tocante às intervenções na drenagem urbana. Portanto, a urbanização de forma desordenada, sem diretrizes de ocupação, afeta de maneira incisiva o ciclo hidrológico. Isso origina alterações na drenagem, aumentando a ocorrência de eventuais enchentes e deslizamentos, impondo riscos à saúde e à vida humana.

A crescente implantação de zonas edificadas, vias de acesso e outros equipamentos provocam alterações no escoamento superficial, tornando-se essencial a implantação de um sistema de drenagem de águas pluviais maior, ou reabilitar o já existente, de maneira a atender as novas demandas. Por tais motivos, a discussão da temática voltada à existência de planos diretores de drenagem de águas pluviais eficazes torna-se imprescindível, para que se tenha um controle eficiente da água em meio urbano (Lima et al., 2010).

No entanto, diversos municípios enfrentam graves problemas, uma vez que tais obras, em diversos casos, recebem um sistema artificial mal planejado e projetado. Um mau direcionamento de águas pode gerar inundações e alagamentos, trazendo prejuízos

irreparáveis para a sociedade, como perda de imóveis, móveis, alimentos, riscos a vida e entre outros sérios problemas.

Dentre estes municípios com problemas de drenagem urbana se encontra a cidade de Patos-PB, o município sofre com vários transtornos referentes a inundações, alagamento nas ruas, degradação de logradouros, danos para a população e ao meio ambiente.

Figura 1: Alagamentos e inundações



Fonte: MaisPatos.com

Figura 2: Alagamentos e inundações



Fonte: PatosOnline.com.

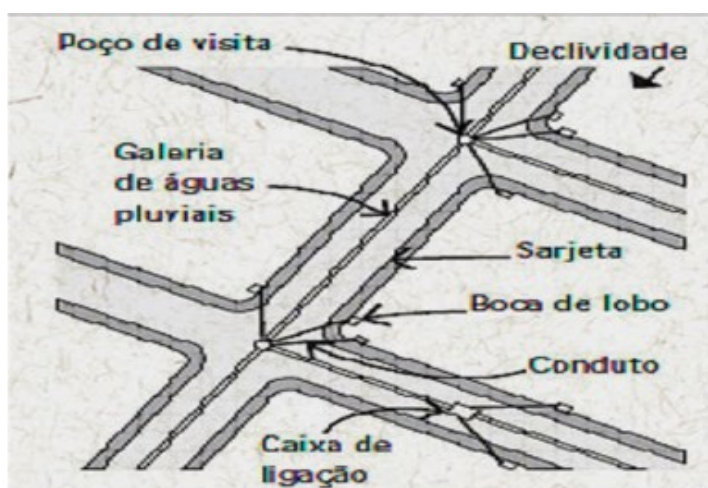
Desta forma, para mitigar tais problemas deverão ser feitas análises da bacia hidrográfica presente no meio urbano, avaliando o sistema de macrodrenagem definido como o escoamento de fundo de vale, e avaliação do sistema de microdrenagem, que trata no conjunto das estruturas construídas para a captação das águas pluviais e das redes de coleta de esgotos.

3.2.2 Microdrenagem

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana (2022), a microdrenagem pode ser definida como um sistema de condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado.

O sistema de microdrenagem funciona inicialmente pela captação de chuvas por pavimentos e telhados, conduzindo as águas por meio de condutos e sarjetas até alcançar as bicas de lobo, onde por meio de tubos de ligação, lança essa vazão de água nas galerias, as quais conduzirão este fluxo para os corpos receptores como rios, canais ou galerias de grandes dimensões pertencentes ao sistema de macrodrenagem (RAMOS *et al*, 2012). Esses conjuntos de componentes se conectam entre si e, posteriormente, à rede de drenagem, formando assim o sistema de drenagem.

Figura 3: Representação de um sistema de microdrenagem.



Fonte: ED. PINI (2014).

Segundo o Manual de Drenagem Urbana (2002), a microdrenagem é realizada com o intuito de drenar a água através de condutos até um coletor principal ou riacho urbano. Dessa forma, o escoamento superficial aumenta em um menor tempo, originando inundações nos

troncos principais, portanto para que seja evitado esse tipo de malefício dar uma maior cautela para esse tipo de projeto.

Uma microdrenagem bem realizada proporcionará um ambiente mais limpo e com menos transtornos aos usuários, mas para uma drenagem completa, a macrodrenagem não pode deixar de ser planejada, pois é nela que as águas captadas pela microdrenagem desaguam. É importante que os sistemas, além de serem feitos da forma correta, também sejam respeitados e trabalhem de acordo com suas finalidades (Oliveira, 2021).

3.2.3 Macrodrenagem

De acordo com RAMOS (2012), a macrodrenagem urbana é um sistema que compreende um conjunto de ações destinadas a controlar cheias para evitar inundações e suas consequências, e para tal propósito, são essenciais os dispositivos de escoamento como cursos d'água naturais: rios, riachos, e demais redes de drenagem; ou artificiais como: canais e galerias de grandes dimensões nas mais variadas geometrias e traçados, onde ambos os sistemas são responsáveis por receber as águas vindas do sistema de microdrenagem e do escoamento superficial em seu entorno.

Como o sistema de microdrenagem, a manutenção do sistema de macrodrenagem é de extrema importância para manter o funcionamento adequado das estruturas que compõe este sistema, evitando os riscos de inundação e os riscos inerentes à poluição hídrica. Os sistemas de macrodrenagem são constituídos de canais abertos ou de condutos enterrados de porte significativo (galerias). Em alguns casos podem ainda ser instalados dispositivos complementares, como bueiros, dissipadores de energia e estações elevatórias de águas pluviais (BAPTISTA et al, 2005).

Segundo TOMAZ (2013), em projetos de sistema de macrodrenagem urbana, a utilização de canais abertos é uma solução que deve ser cogitada sempre em primeiro lugar, uma vez que tal dispositivo apresenta muitas vantagens como: facilidade de manutenção e limpeza, versatilidade como adoção de seções mistas, economia de investimentos e maior facilidade para ampliações futuras. A figura 4 retrata a imagem de um trecho de um canal artificial para drenagem pluvial ligado ao canal do frango.

Figura 4: Canal de drenagem da Bacia do Frango.



Fonte: RadioEspinharas.com

O dimensionamento desse tipo de sistema deve atender um período de retorno entre 25 e 100 anos, pois seus dispositivos de drenagem devem ser dimensionados para suportar os grandes picos de vazão desenvolvidos nas cheias (RAMOS *et al*, 2012).

3.3 CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Para elaborar um projeto de drenagem pluvial, é preciso ter conhecimentos de todos os parâmetros hidrológicos e dar a devida importância às características fisiográficas e pedológicas das bacias, que indicam o comportamento dos cursos d'água em função dos solos e da cobertura vegetal destas bacias. (DNIT, 2006, p.23).

A vazão máxima ou vazão de pico é definida como a maior vazão atingida em um evento no qual a precipitação gera de escoamento, que excede os valores habituais de vazão em determinado curso d'água (MARTINS, 2017).

O entendimento do comportamento das vazões máximas pode permitir uma melhor tomada decisão sobre medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações dado que preconiza uma informação viável e útil para qualquer dimensionamento de infraestruturas hídricas. A previsão das vazões máximas podendo ser curto, médio ou longo prazo permite o acompanhamento continuo do parâmetro hidrológicos monitorado afirmada por uma rede de captação, transmissão e processamento de dados. A previsão de longo prazo, consiste na obtenção de valores de vazões máximas com base em séries históricas e associada a uma

análise probabilística por meio da qual as distribuições de probabilidades são ajustadas às da série histórica de vazões máximas anuais (FERREIRA; REIS; MANDONÇA, 2015).

3.4 CHUVAS INTENSAS

As chuvas intensas, ou precipitações máximas, são aquelas responsáveis por gerar volumes de água significativos em pequenos intervalos de tempo. Devido aos grandes volumes precipitados, a ocorrência de tais eventos costuma gerar danos socioeconômicos, prejuízos ambientais, além de riscos a vida humana (FARIAS; SILVA; COELHO, 2013; QAMAR et al., 2017).

As chuvas intensas são responsáveis pela erosão dos solos e pela concentração de águas pluviais em vales e zonas ribeirinhas. Assim, o seu conhecimento é de grande importância para o projeto de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas para águas pluviais, como galerias, bueiros, extravasores de barragens, vãos de pontes, etc. (Vieira et al. 1998).

Elas são caracterizadas a partir de três das grandezas fundamentais da chuva: intensidade, duração e frequência. Segundo (Oliveira, 2021) a intensidade é o valor da precipitação por unidade de tempo, expressa geralmente em milímetros por minuto ou em milímetros por hora. A duração da chuva é o tempo em que está havendo a precipitação. Ela pode ser expressa em anos, meses, dias, horas, minutos, etc. A frequência (probabilidade), é o fenômeno de valor igual ou superior ao analisado.

As precipitações intensas são retratadas pontualmente pelas curvas de intensidade, duração e frequência (IDF). Correlacionando intensidade e duração das chuvas verifica-se que quanto mais intensa for uma precipitação, menor será sua duração (Tucci, 2007).

3.4.1 Equação de chuva

A equação é estabelecida pela análise de frequência de chuvas intensas registradas em pluviogramas a partir das observações de chuvas ocorridas durante um período de tempo longo, que só é válida para a região em que foram adquiridos os dados. De acordo com (Pinto, 1995), o principal interesse na obtenção de equações IDF é prever as precipitações máximas possíveis de ocorrência em determinada localidade, associada a uma frequência de ocorrência e um tempo de duração, no qual as estimativas desses fenômenos possam ser confiáveis.

O ajuste da equação para chuvas intensas é realizado individualmente para cada localidade ou estação pluviográfica. Este ajuste deve ser feito com o uso de uma extensa base

de dados, que coletam a precipitação individual processados em um posto pluviométrico conhecido, ao longo de anos de observação.

Para a obtenção da equação de chuvas intensas são necessárias informações de precipitações máximas de diferentes durações. Essas precipitações irão constituir séries de dados que podem ser séries anuais ou parciais. As séries anuais consistem das precipitações mais intensas que ocorrem em cada ano. Já as séries parciais são formadas pelas “n” precipitações mais intensas do período de dados analisados (Testik; Gebrenichael, 2013).

Portanto, o método clássico de obtenção dessas informações é através da análise de pluviogramas, que registram a lâmina precipitada (milímetros), em função do tempo (minutos), possibilitando a seleção dessas precipitações. As durações usuais são de 5, 10, 15, 30 e 45 minutos e 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas. Os limites de duração são fixados em 5 minutos e 24 horas, sendo 5 minutos representa o menor intervalo em que se pode ler nos registros pluviográficos com precisão adequada dos gráficos estabelecesse para as diversas durações as maiores intensidades ocorrida durante dada chuva. Para durações maiores que 24 horas, podem ser utilizados dados observados em pluviômetros (Pinto, 1995).

3.4.2 Distribuição de Gumbel

Para as séries históricas de precipitações máximas, referente a cada duração obtida, é ajustada uma função densidade de probabilidade (FPD) que se adere ao conjunto de dados em questão. O objetivo do ajuste e aplicação das FDP's é a obtenção dos valores de intensidades de precipitação máxima, correspondentes a um período de retorno específico (Valverde et al., 2004).

O período de retorno, é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. Em geral, são adotados períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Neste interim, a distribuição Gumbel de valores extremos (GUMBEL, 1958) é amplamente utilizada em diversas áreas do conhecimento para modelar os valores máximos de ocorrência de um determinado fenômeno de interesse, neste caso, as chuvas extremas. O desafio na utilização dessa distribuição consiste em estimar seus parâmetros por meio de alguma metodologia estatística. Segundo Tomaz (2016), a Distribuição de Gumbel é utilizada em regiões que não têm uma equação da chuva, mas têm muitos dados de precipitação.

3.4.3 Desagregação

Métodos de desagregação de chuvas são aqueles que objetivam utilizar-se das chuvas com duração de um dia, obtidas em pluviômetros, transformando-as em chuvas com duração de 24 horas e, posteriormente, em chuvas com durações menores. Para tanto, utilizam-se de coeficientes ou fatores multiplicativos que convertem (desagregam) a lâmina total precipitada de um dia em lâminas precipitadas de eventos com durações de 24 horas e, a partir da informação obtida, novos coeficientes de desagregação são aplicados para a obtenção de lâminas precipitadas com durações inferiores a 24 horas (Santos et al., 2009).

Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de intensidade-duração-frequência (IDF) em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros convencionais (Bertoni & Tucci, 1993).

Os coeficientes de desagregação são obtidos via análise das relações de chuvas de diferentes durações, sendo que pelo menos um desses coeficientes traz a relação entre a chuva pluviográfica e a chuva pluviométrica. Esses coeficientes são apresentados em forma de tabelas ou como índices em 18 cascata, o qual dois coeficientes são utilizados como fatores multiplicativos para transformar uma chuva de 24 horas em uma chuva de 1 hora (Silveira, 2000).

3.5 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS CHUVAS

A utilização de equações de chuvas intensas com premissa em relações intensidade-duração-frequência (IDF) se dá quando pequenas e médias bacias urbanas e rurais não detêm de dados hidrometeorológicos que proporcione a avaliação de chuvas de projeto para uma determinada localidade. Logo, com o valor IDF pode-se desenvolver o hietograma de projeto, que é o principal dado de entrada de chuva no modelo chuva-vazão.

O hietograma de projeto determina a distribuição do evento de precipitação ao longo do tempo, portanto, ele é desenvolvido a partir da distribuição temporal do tempo. O hietograma de projeto pode ser representado de forma contínua ou discretizada em intervalos de tempos constantes no qual destacam-se as intensidades médias em cada intervalo de tempo e formam um gráfico de barras.

Tavares (2005) declara que devido à complexidade dos fenômenos físicos envolvidos na obtenção dos hietogramas de projeto, há, entretanto, algumas tendências a observar:

- A distribuição temporal dos volumes precipitados condicionará o volume infiltrado e a forma do hidrograma de escoamento superficial direto originado pela chuva

excedente; A distribuição temporal da chuva e o tempo de resposta da bacia hidrográfica vão determinar os valores de vazão máximo do hidrograma e o instante de ocorrência;

- Para chuvas de curta duração, menores do que meia hora, o hietograma é caracterizado por grandes intensidades no início da precipitação;
- Para chuvas de duração intermédia, menores do que 10 h, o hietograma é representado por intensidades maiores na primeira metade da duração;
- Para chuvas de grande duração, acima de 10 h, o hietograma apresenta intensidades uniformes.

Segundo (TUCCI 1995) Como, a priori, não se conhece essa distribuição temporal, que pode variar tanto no espaço como no tempo e também em relação ao tipo de precipitação, é comum adotar-se distribuições empíricas que procuram representar as condições mais críticas possíveis da desagregação temporal da chuva e assim definir um hidrograma igualmente crítico, a despeito do método dos blocos alternados.

A metodologia dos blocos alternados propõe a desagregação dos totais de chuva em intervalos de tempo discretizados pela sua duração total. Assim, a partir dos incrementos totais acumulados de precipitação, transformados em altura de chuva, os blocos obtidos são rearranjados numa sequência tal que, no centro da duração da chuva, situe-se o bloco maior e, em seguida, os demais blocos, em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior, alternadamente (TUCCI, 1995).

Cruciani (1986) cita que saber o modelo de distribuição temporal de chuvas intensas de uma região torna mais realista a previsão hidrológica em projetos de engenharia em áreas rurais e urbanas, permitindo a quantificação, com maior precisão, da infiltração da água no solo e do escoamento superficial.

3.6 MODELOS CHUVA-VAZÃO

Segundo TUCCI (2005b), os modelos chuva-vazão representam a parte do ciclo hidrológico entre a chuva e a vazão. Para isso, estes modelos buscam descrever por meio de algoritmos os diferentes processos da relação precipitação-vazão, como: a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, infiltração no solo, o escoamento superficial, subterrâneo e em canais, rios e córregos. Portanto, utilizando esse tipo de modelo é possível encontrar vazões a partir da precipitação.

De acordo com TUCCI (2005), os modelos hidrológicos são modelos matemáticos que visam representar de forma simplificada os vários fenômenos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, e em bacias hidrográficas urbanas, são tipicamente empregados na transformação de chuva vazão, onde a parcela da chuva que se transforma em escoamento superficial é de grande interesse para o seu planejamento, que nesse contexto o clássico método racional e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário são abordagens de uso consagrado em hidrologia urbana.

Um modelo hidrológico tem o objetivo de determinar com eficiência e precisão os componentes envolvidos no ciclo hidrológico para a sua efetivação dentro duma bacia hidrográfica ou área de interesse e estimar o comportamento com um certo rigor e a magnitude do seu recurso hídrico (MARINHO FILHO et al., 2012).

É necessário que se defina parâmetros para que se possa escolher qual modelo que será utilizado, ou seja, estabelecer suas limitações na representação dos processos e a qualidade e quantidade de informações que serão empregues. Como forma de se obter uma representação mais próxima a realidade e com menor incerteza é realizada a calibração do modelo hidrológico. Segundo Franco (2017), a utilização de variáveis observadas de maneira espacialmente distribuída, ou diferentes variáveis, pode ser capaz de reduzir as incertezas e contornar o problema da equifinalidade.

3.6.1 Método do SCS-CN – Escoamento Superficial

O escoamento superficial corresponde a parcela da água precipitada que percorre superficialmente até atingir os cursos d'água, ou seja, é o segmento do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. Sua determinação é muito importante para projetos de obras de engenharia, uma vez que elas são dimensionadas de modo a suportar as vazões máximas decorrentes do escoamento superficial

Para a quantificação desses impactos, são empregues modelos matemáticos que simulam os principais fenômenos ocorridos em uma área de acordo com as características de uso e ocupação do solo daquela região. O método SCS foi desenvolvido por pesquisadores nos EUA para estimar esse escoamento superficial.

Esse método consiste em determinar a chuva efetiva (parcela de água que esco exclusivamente pela superfície e chega até o curso d'água), transformando-a em vazão, fazendo uso dos conceitos básicos do parâmetro CN (Curve Number), separação do escoamento, hidrograma unitário e convolução (TOMAZ, 2013).

O parâmetro CN (Curve Number) ou número da curva, busca representar as características de uma bacia segundo o uso e tipo do solo, sendo o uso, uma característica relacionada a cobertura encontrada na superfície da bacia, e o tipo, diz respeito a capacidade de infiltração do mesmo, e uma vez definidos tais parâmetros, relacionam-se a valores numéricos fornecidos pelo método que vão de 0 a 100, ao passo que, quanto mais o solo for impermeável, maior será o valor de CN (TOMAZ, 2013).

Para determinar o CN, existem valores tabelados em função do tipo de solo, uso e ocupação, ajustados em função da condição de umidade antecedente do solo. Segundo Tucci (2013), a partir da classificação do solo da área de interesse, pode-se então definir o valor de CN a partir das informações referentes ao uso do solo ou ao tipo de cobertura que o mesmo possui.

Além do parâmetro, número da curva (CN), o método SCS-CN conta com o hidrograma da unidade que é sinteticamente determinado, ele comumente é desenvolvido em uma forma simples, geralmente triangular, onde seu formato é definido a partir de alguns parâmetros como, tempo de base, tempo do pico e vazão do pico.

Os mapas referentes ao Uso e Ocupação do Solo possuem informações técnicas de forma destelhada referentes ao uso do solo em uma região a partir da análise de imagens. Para que esses mapas sejam elaborados é preciso um conhecimento específico sobre geoprocessamento e sobre as geociências.

3.6.2 Geoprocessamento

De acordo com Rodrigues (1993), Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltado para um objetivo específico. Essa técnica utiliza conceitos de cartografia, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.

SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num determinado ambiente de respostas a problemas (Cowen, 1988). Ele é um conjunto de procedimentos e funções automatizados para adquirir, armazenar e manipular dados georreferenciados.

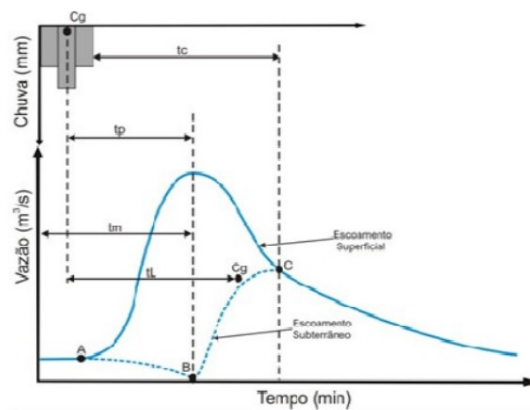
Portanto, o conhecimento sobre geoprocessamento e SIG, é funcional e importante para os profissionais da engenharia. Visto que, a partir do domínio destes métodos é possível determinar informações espaciais mais detalhadas de uma área bem como as características de interesse.

3.6.3 Hidrograma Unitário

O hidrograma unitário é um gráfico que representa a resposta de uma bacia hidrográfica submetida a uma vazão de volume unitário em um determinado tempo (TOMAZ, 2013). Ele é comumente assumido em forma simples, geralmente triangular, cuja geometria é expressa usando dois ou três parâmetros, como tempo de base, tempo do pico e vazão do pico. As hipóteses básicas que possibilitam a correta aplicação do hidrograma unitário, de acordo com TOMAZ (2013, p.3) *apud* Drenagem Urbana, 1986, p.142 e MCCUEN (1988), são:

- A intensidade da chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o hidrograma unitário;
- A chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda área de drenagem;
- O tempo de base ou tempo de duração do hidrograma do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante;
- Os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, detenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal, etc. são refletidos do hidrograma unitário da bacia.

Figura 5: Comportamento de um Hidrograma



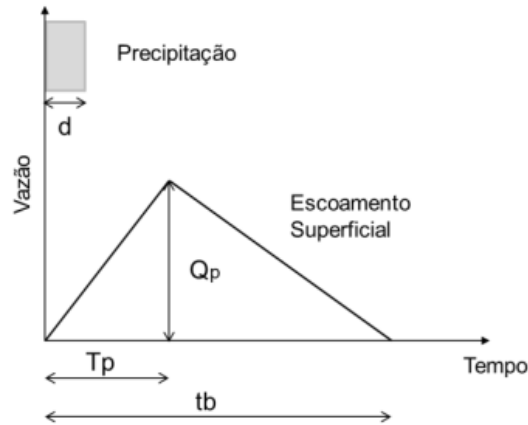
Fonte: FINOTTE et al, 2009.

3.6.4 Hidrograma unitário sintético do SCS

O modelo do HU sintético do SCS foi desenvolvido em 1957 por Victor Mockus a partir de hidrogramas unitários de diversas bacias hidrográficas instrumentadas dos Estados Unidos (USDA, 2007). Com base neste vasto número de hidrogramas unitários naturais em função do tempo de pico e de base, o SCS desenvolveu um método para hidrograma unitário sintético que tem como resultado um hidrograma curvilíneo adimensional que pela sua forma

é considerado um triângulo possuindo o nome de Hidrograma Unitário Triangular, cuja área do triângulo corresponde ao volume precipitado.

Figura 6: Hidrograma Unitário Sintético do SCS

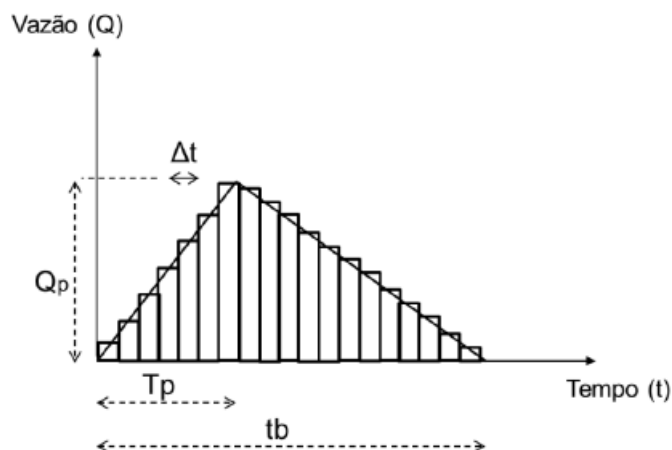


Fonte: Adaptado de Paz (2004).

O HU sintético do SCS é determinado em função das características físicas da bacia e do tempo de concentração, sua vazão de pico, tempo de pico e tempo de base e são estimados a partir de equações empíricas.

Portanto, para se obter o hidrograma resultante de uma bacia hidrográfica inicialmente é determinado o HU da bacia, para tal é necessário definir a duração do intervalo de discretização do hidrograma unitário, que deverá ter a mesma duração da precipitação excedente unitária e dos intervalos de tempo nos quais a precipitação foi dividida.

Figura 7: Discretização do Hidrograma Unitário Sintético do SCS.



Fonte: Adaptado de Paz (2004).

Dessa forma o HU triangular é encontrado a partir do cálculo da vazão $Q(t)$ correspondente no hidrograma unitário, para diferentes intervalos de duração. Determinada a

precipitação excedente e o hidrograma unitário sintético da bacia, é possível calcular os hidrogramas resultantes de eventos complexos, a partir do processo chamado de convolução.

3.6.5 Método Santa Bárbara

O método de Santa Bárbara (SBUH) foi desenvolvido por James M. Stubchaer no condado de Santa Bárbara, na Califórnia. Foi pela primeira vez apresentado no Simpósio Nacional de Hidrologia Urbana e Controle de Sedimentos realizado na Universidade de Kentucky em 1975 (WANIELISTA; KERSTEN; EAGLIN, 1997). Segundo Tomaz (2002), o objetivo do Método Santa Bárbara é obter o hidrograma de uma precipitação para uma determinada bacia considerando um local escolhido, normalmente ao longo do talvegue da bacia analisada. Em outras palavras, fixando-se uma seção de controle dentro do talvegue, a metodologia estima como as vazões, geradas pela chuva excedente, variam com o tempo, nesta seção.

O Método Santa Bárbara pondera o efeito do armazenamento, ou seja, da parcela do escoamento superficial que permanece retida na bacia e que irá chegar na seção de controle com algum atraso. Esse modelo divide a bacia em áreas permeáveis e impermeáveis. Dessa forma, esse modelo considera o escoamento superficial dentro da própria bacia, ou seja, toda chuva que cai na área impermeável gera escoamento superficial.

Este método determina a bacia como um reservatório imaginário, onde a entrada de água, provocada pelo escoamento superficial, o armazenamento temporário e a saída no exutório definem o hidrograma.

3.7 HIDRÁULICA DE CANAIS

Um canal aberto destina-se ao escoamento final das águas pluviais, oriundas, nas cidades, do sistema inicial de drenagem, a microdrenagem. Ele pode ser natural ou artificial e este apresentar revestimento de grama ou de material artificial. Ele é considerado como um conduto livre, no qual a pressão atmosférica atua diretamente na superfície do líquido.

Os elementos geométricos constituem propriedades da seção transversal do canal, as quais podem ser caracterizadas pela forma geométrica e pela altura de água. Estes elementos são indispensáveis ao dimensionamento hidráulico, uma vez que esses parâmetros são os mais relevantes para a determinação de vazões e velocidades de uma dada seção. No caso de seções simples e regulares, os elementos hidráulicos são expressos e relacionados entre si matematicamente em função da altura de água no canal. No entanto, no caso de seções mais

complexas e não-uniformes como são os canais naturais, não há uma equação simples que possa correlacioná-los, uma vez que são variáveis. Os principais elementos geométricos são:

Seção ou área molhada (A): Seção transversal perpendicular à direção de escoamento que é ocupada pelo líquido.

Perímetro molhado (P): Comprimento da linha de contorno relativo ao contato do líquido com o conduto.

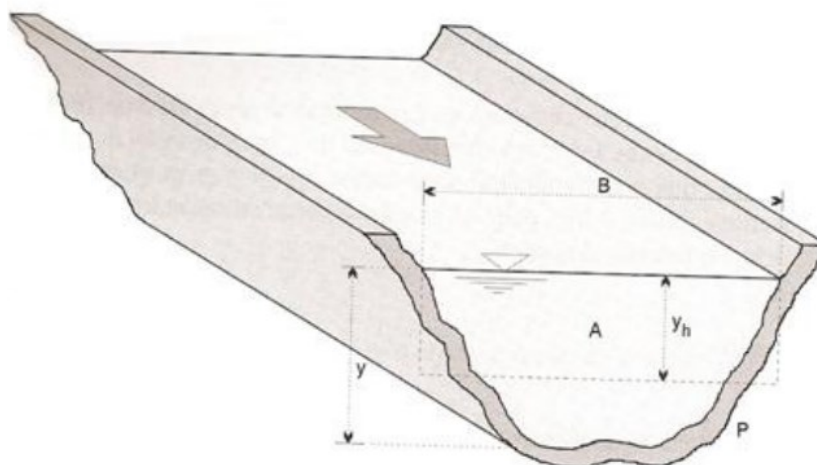
Largura Superficial (B): Largura da superfície líquida em contato com a atmosfera.

Profundidade (y): É a distância do ponto mais profundo da seção do canal e a linha da superfície livre.

Raio Hidráulico (Rh): É a razão entre a área molhada e o perímetro molhado.

Profundidade hidráulica (y_h): Razão entre a área molhada e a largura da superficial.

Figura 8: Parâmetros geométricos da Seção Transversal



Fonte: Engenharia Sanitária e Ambiental.

O emprego de canais abertos em sistemas de macrodrenagem urbana apresenta diversas vantagens com relação as demais soluções existentes, como:

- Tem-se possibilidade de circulação de vazões superiores à de projeto mesmo com prejuízo da borda livre;
- Tem-se facilidade de manutenção e limpeza;
- Tem-se a possibilidade de adoção de seção transversal de configuração mista com maior economia de investimentos;
- Tem-se a possibilidade de integração paisagística com valorização das áreas ribeirinhas, quando há espaço disponível;
- Tem-se uma maior facilidade para ampliações futuras caso seja necessário.

3.7.1 Recomendações para projeto e execuções

A determinação do tipo de seção transversal de um canal a ser projetado depende de algumas condições fundamentais, como o espaço disponível para implantação, as características do solo de apoio, a declividade e condições de operação. Portanto, Porto (2006) apresenta algumas recomendações em relação ao dimensionamento de canais:

- Deve-se fazer um levantamento ambiental e econômico referente a região da construção do canal;
- As construções dos canais devem ser realizadas, quando possível, de jusante para montante, uma vez que o escoamento será com maior rapidez;
- Deve-se prever o desgaste do canal tomando-se um aumento na rugosidade pelo uso e má manutenção. É indicado adotar valores para o coeficiente de rugosidade cerca de 15% a 20% maiores do que aquele escolhido através das tabelas;
- Deve-se deixar uma folga de 20% a 30% da altura da água, acima do nível máximo de água do projeto. Dessa forma, o canal terá uma folga caso a sua capacidade de vazão seja reduzida, seja por causa de uma sobrelevação do nível em uma curva ou por uma diminuição da seção por assoreamento do canal;
- Para canais urbanos, deve-se evitar profundidades maiores do que 4 metros, devido aos custos de escavação e a segurança dos pedestres e veículos.

4. METODOLOGIA

Com embasamentos em bibliográficos de livros, artigos, teses, trabalhos de conclusão de curso, legislações, pesquisa de campo e fundamentos técnicos deu-se início ao presente trabalho. Para a confecção dos mapas, utilizou-se ferramentas como o *Google Maps*, *Google Earth Pro*, *Map Biomas*, *Google Earth Engine* e o *Quantum GIS 3.10.14 with GRASS 7.8.5*. Para o desenvolvimento dos cálculos, tabelas e gráficos foi utilizado o *Microsoft Excel*. A seção do canal de drenagem foi demonstrada a partir do software *AutoCAD 2023*.

Portanto, a fim de cumprir todos os objetivos determinados neste presente trabalho, serão seguidos os seguintes procedimentos.

1. Identificar e caracterizar a área de estudo, bem como o sistema atual de drenagem de águas pluviais da bacia periurbana do Riacho do Frango;
2. Realizar o geoprocessamento, imagens aéreas e curvas de níveis, da área de estudo da bacia do Riacho do Frango, utilizando informações geomorfológicas obtidas ferramentas de sistema de Informação Geográfica, o QGis With Grass 3.10 e o Google Earth Pro;
3. Utilizar dados obtidos a partir das ferramentas *Map Biomas*, *Google Earth Engine*, *Qgis With Grass 3.10* para determinar o uso e ocupação de solo da bacia;
4. Determinar o CN-médio da bacia a partir dos parâmetros obtidos no passo acima;
5. Obter dados históricos de precipitações através da ANA (Agencia Nacional de Águas), em complemento com dados obtidos da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas), afim de se determinar uma série mais longa alcançando a resultados mais precisos;
6. Utilizar todos os dados obtidos nas etapas anteriores para execução de cálculos, elaboração de gráficos e a equação de chuva, os quais serão utilizados como dados reais para o dimensionamento dos elementos de drenagem da cidade e da obra de macrodrenagem;
7. Utilizar método dos blocos alternados para proceder a distribuição temporal da chuva e calcular a chuva efetiva;
8. Calcular o tempo de concentração da bacia, que será determinado a partir de fórmulas prescritas na literatura seguindo os dados da bacia em questão;
9. Estimar as vazões através dos modelos probabilísticos de chuva-vazão Hidrograma Unitário Sintético NRSC e o Hidrograma Unitário de Santa Bárbara (HUSB);

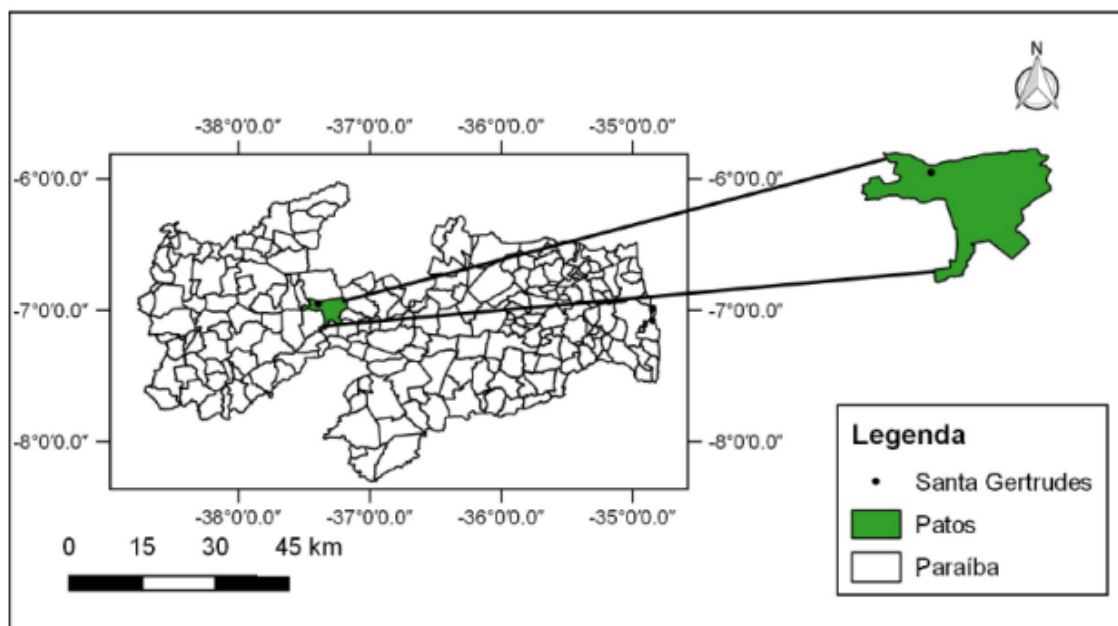
10. Com as vazões determinadas a partir dos modelos Chuva-vazão, dimensionar o canal. A seção transversal do canal de drenagem foi demonstrada a partir do software *AutoCAD 2023*.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Fundada no dia 24 de agosto de 1903 às margens da Lagoa dos Patos e do Rio Espinharas, Patos, é um município localizado na porção centro-oeste no interior do estado da Paraíba. Com área territorial de 473,065 km² (IBGE, 2018), população em torno de 107.605 hab. (IBGE, 2019), densidade demográfica de 212,82 hab./m² (IBGE, 2010) a cidade fica a uma distância de 305 quilômetros da capital paraibana João Pessoa. O município tem acesso no sentido leste para noroeste pela BR 230 e no sentido leste a oeste pela BR 361. Ainda conta com outras rodovias estaduais que conectam a vários municípios circunvizinhos. Além disso o município consta com o distrito de Santa Gertrudes, localizado na porção noroeste, com 16 km de distância da sede municipal.

Patos faz parte dos 223 municípios paraibanos, sendo uma das quinze regiões imediatas e uma das quatro regiões intermediárias (IBGE, 2017). Geograficamente, a cidade patoense está situada a uma altitude de 221 metros acima do nível do mar, com Lat.: 7° 1' 32" Sul e Long.: 37° 16' 40" Oeste. Possui limites territoriais municipais com São José de Espinharas (Norte), São Mamede, Quixaba e Cacimba de Areia (Leste), São José do Bonfim (Sul), Santa Terezinha e Malta (Oeste). A sua localização é situada no vale do rio Espinharas, contornado pelo Planalto da Borborema a leste e sul.

Na figura 9 é mostrada a localização geográfica do município de Patos-PB e de sua área urbana.

Figura 9: Localização da área de estudo

Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

4.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DA BACIA

Para realizar a delimitação da área da bacia de contribuição, utilizou-se das ferramentas à disposição no software QGIS. Esses recursos são algoritmos *r.watershed* e *r.water.outlet*, onde os mesmos são processados com base em uma imagem RASTER (Modelo Digital de Elevação) que é obtido a partir do site ASF-VERTEX, satélite ALOS PALSAR 2015. O ponto de exutório do Riacho do Frango encontra-se nas coordenadas de 7° 0' 40.35" S e 37° 16' 0.1" W.

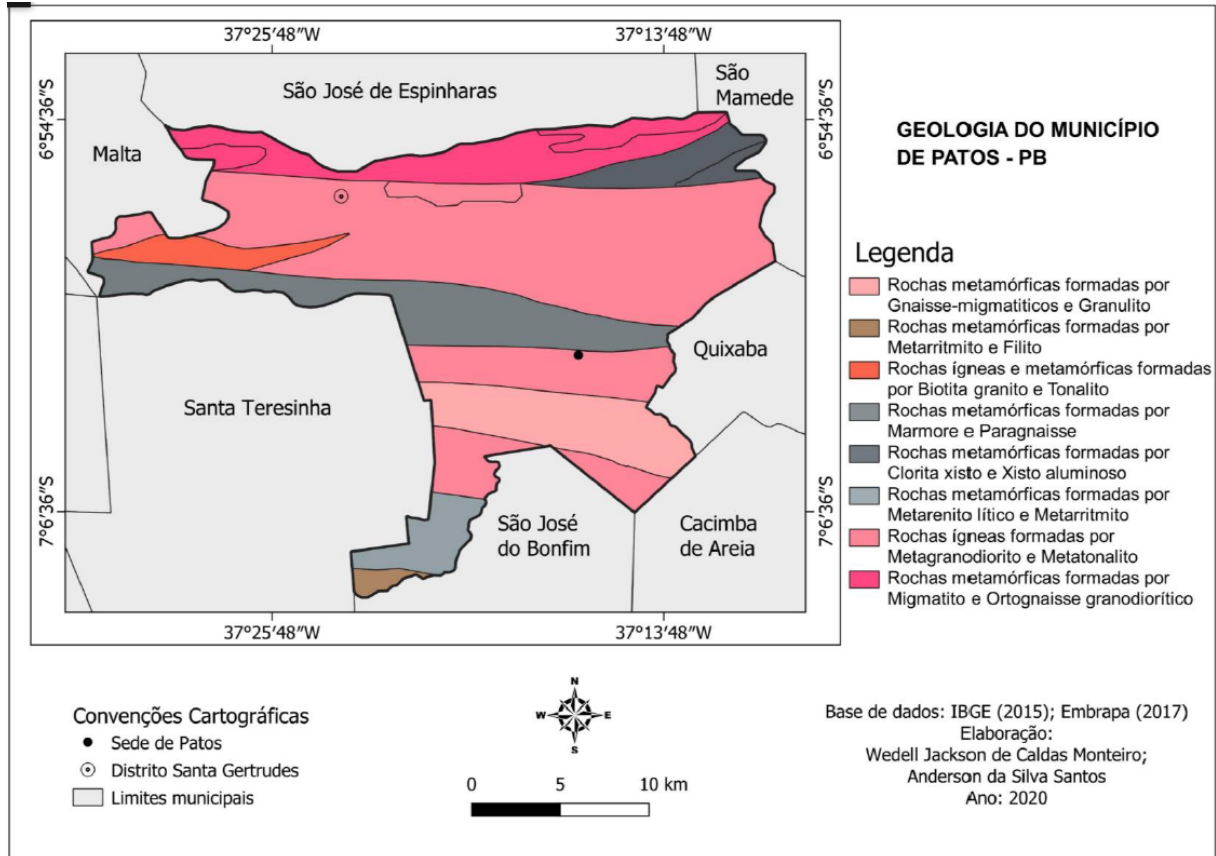
4.3 ESTUDO TOPOGRÁFICO E GEOLÓGICO

De acordo com POPP (2004) a geologia como ciência tem a finalidade de estudar a formação das rochas e a dinâmica entre os fatores de transformações físicas, químicas e biológicas.

Monteiro (2020) afirma que existe uma grande presença de formações cristalinas com atuação de rochas resistentes e antigas na composição geológica do município de Patos-PB. Sua estrutura geológica é formada predominantemente por rochas Ígneas ou magmáticas e metamórficas, compondo parte do complexo cristalino sertanejo. Além disso, a sua geologia é caracterizada por apresentar elementos minerais não renováveis, como o mármore cor-de-

rosa, granito, gnaiss, calcário, ouro e ferro. Na figura 10 é mostrado de forma detalhada as principais características geológicas do município.

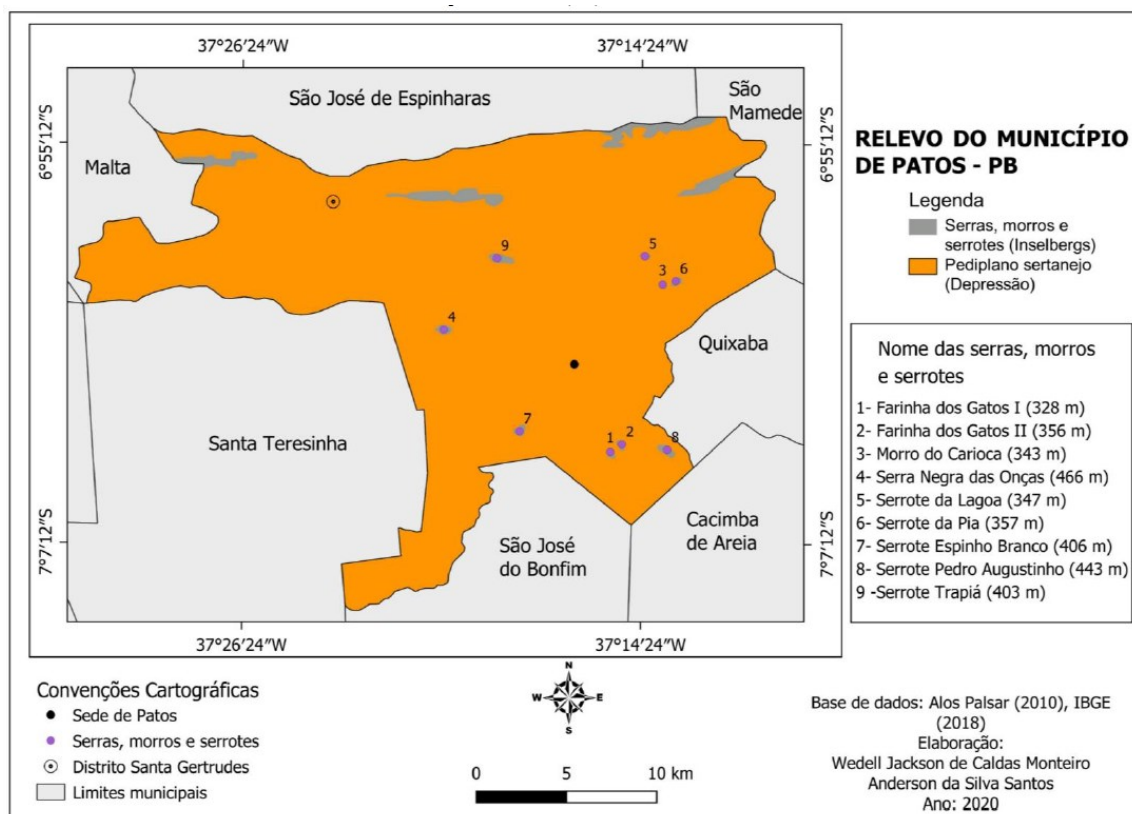
Figura 10: Aspectos geológicos do município



Fonte: Monteiro, W. J. C.; Santos, A. S., 2020.

Segundo Monteiro (2020) o relevo do município de Patos-PB encontra-se em uma área denominada de Pediplano Sertanejo que fica situada na depressão sertaneja. Se caracteriza por ser um relevo suavemente ondulado, com presença marcante de Inselbergs, conhecidos também como ilhas intermontanas, afloramentos rochosos e serrotes. São morros geralmente isolados, comumente agrupados, e com encostas íngremes. Sua presença ocorre principalmente nas terras mais baixas da periferia do escudo cristalino do Planalto da Borborema.

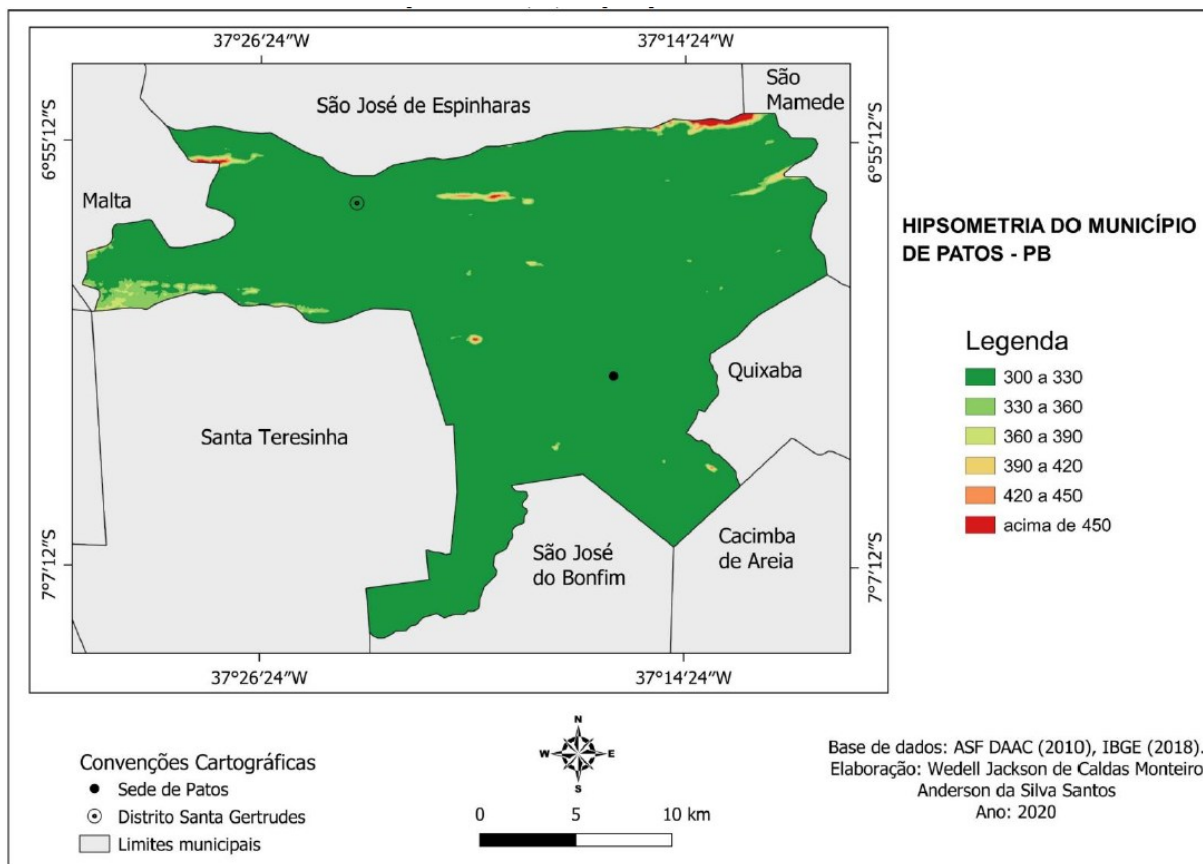
Figura 11: Relevo do município de Patos-PB



Fonte: Monteiro, W. J. C.; Santos, A. S., 2020.

As cotas altimétricas do município de Patos-PB estão situadas em cotas entre 240 a 580m de altitude, com declividade que varia de média pra baixa, compondo uma baixa extensão de terras que se localiza nas proximidades da encosta do Planalto da Borborema com uma superfície aplainada que se limita dentro da área onde está localizado o Pediplano Sertanejo.

Figura 12: Mapa Hipisométrico do município de Patos-PB



Fonte: Monteiro, W. J. C.; Santos, A. S., 2020.

4.4 ESTUDO GEOTÉCNICO

Pode-se encontrar no município de Patos-PB solos do tipo Luviosolos e Neossolos, com predominância de solo do tipo Luvisolos, que são solos que recebem pouca quantidade de água e que apresentam características de serem pouco profundos. Além disso, esse tipo de solo pode sofrer com processos erosivos devido a ação de agentes exógenos.

4.5 ESTUDO DA VEGETAÇÃO

De acordo com o IBGE (2019), o município está presente numa área na qual predomina a vegetação da Caatinga (palavra que vem da língua tupi-guarani, que significa “mata branca”). Esse bioma é exclusivamente brasileiro, não ocorrendo em nenhum outro lugar do mundo e totaliza 10% do território nacional, ocupando uma vasta área que corresponde a cerca de 850.000 km no Nordeste.

O município de Patos está localizado em uma área com predominância da vegetação da Caatinga e de plantas do tipo Xerófita (plantas que perdem suas folhagens na seca,

processo conhecido como caducifolia). De acordo com Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005), o município tem cerca de 50% de sua área ocupada com vegetação nativa, caracterizada como Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta, Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada e Caatinga Arbórea Fechada, indicando também a presença de Áreas de Preservação Permanente.

Segundo Monteiro (2020) a sua alta resistência em período de estiagem garante sua conservação pela maior parte dos meses do ano; a perda de suas folhagens na estação seca torna-se um elemento natural que garante a fertilização do solo, a diminuição da perda da umidade do solo e o desenvolvimento da matéria orgânica.

4.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do riacho do Frango foi obtida a partir do MAPBIOMAS, que possui o mapa de cobertura e uso do Brasil. A classificação do MapBiomias utiliza a imagem do satélite Landsat, com uma resolução de 30 metros. Para ter somente o uso e ocupação da área de estudo, foram adquiridos os dados de uso e ocupação do ano de 2021 e realizado o processamento no QGIS 3.4.12.

O projeto Mapbiomas utiliza-se das imagens das missões Landsat de observação da terra com satélite, sendo processadas em pixels, que são as unidades de trabalho da ferramenta, disponíveis gratuitamente na plataforma Google Earth Engine. Os dados apresentados pela plataforma de monitoramento ajudam a compreender a evolução da ocupação do território e os impactos sobre os biomas no Brasil para uma série histórica de mais de 30 anos de dados de mapeamento do uso e cobertura da terra para todos os biomas brasileiros (PROJETOMAPBIOMAS, 2021).

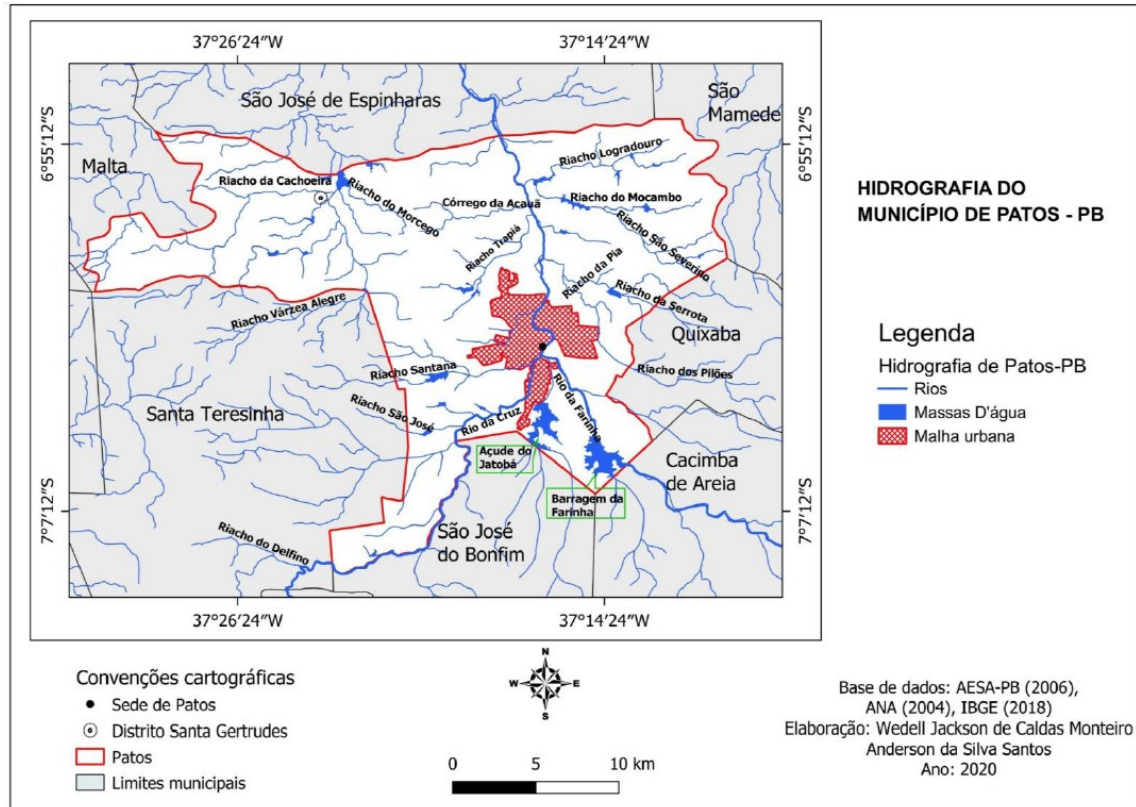
4.7 ESTUDO HIDROLÓGICO

De acordo com Monteiro (2020) a rede hidrográfica do município de Patos-PB é composta por um conjunto de rios intermitentes ou temporários, que dependem dos índices pluviométricos, ou sejam de chuvas na região. Durante o período chuvoso, que dura em média três meses, e que geralmente ocorre no verão, o volume dos rios aumenta e intensifica, os cursos d'água, mudando a paisagem para um verde vibrante.

Patos está inserida na bacia hidrográfica do rio Piranhas, tendo como rio principal o Piranhas-Açu que nasce no município de Santa Fé na Paraíba, seguindo seu curso natural pelo Rio Grande do Norte e desemboca no Oceano Atlântico. O riacho do Frango, objeto deste

presente estudo, se comporta como afluente do rio Espinharas, desaguando todo seu escoamento superficial direto no mesmo. A figura 13 retrata a rede hidrográfica do município.

Figura 13: Rede hidrográfica do município de Patos-PB



Fonte: Monteiro, W. J. C.; Santos, A. S., 2020.

De acordo com as condições naturais do município e com os estudos de Morengo (2006), podemos afirmar que o clima predominante no município é o semiárido, com uma elevada variabilidade de precipitações, baixos índices de umidade, altas temperaturas na maior parte do ano. Além disso, a presença de eventos extremos de seca e também de enchentes, observadas em algumas áreas com irregularidades na distribuição dos índices de chuvas, com médias anuais inferiores a 700 mm, a maior parte dessas chuvas se concentram entre três e quatro meses no ano.

4.8 EQUAÇÃO DA CHUVA

Para determinar a equação de chuva, primeiramente recorreu-se a dados de chuvas para o município de Patos-PB. Para tal, utilizou-se o portal HidroWeb (2020) e AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado). Os dados de chuvas existentes no portal da ANA são de 1925 até o ano de 1985 e no portal da AESA de 1995 até 2022, totalizando

em 89 anos de série histórica de chuvas. No entanto os dados foram tratados (desprezando os anos em que os dados estavam incompletos), o que resultou em uma série de 81 anos.

A partir destes dados coletados, foi utilizado o *Microsoft Excel* para realizar o tratamento de dados, foi desenvolvido a série máxima anual, na qual foi retirado o maior valor de chuva de cada ano e em seguida, foi feito um gráfico para representar visualmente esses valores. A partir desse desenvolvimento, pode-se iniciar a análise estatística dos dados.

De início, procedeu-se a média e o desvio padrão da amostra referente aos dados pluviométricos, utilizando as funções do *Excel MÉDIA* e *DESVPAD.A*. Em seguida, fez-se a classificação das precipitações em ordem decrescente, determinando, logo após, a frequência teórica para cada uma, a partir da Equação 1.

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad (1)$$

Em que,

F é a frequência com que um evento de ordem “m” é igualado ou superado (adimensional);

m é a ordem, alternando de 1 a “n” valores (adimensional);

n é o número de anos observados (adimensional).

A partir da frequência, é possível determinar o período de retorno para cada precipitação (mm), que é o tempo que um dado evento é igualado ou superado, a partir da Equação 2.

$$T = \frac{1}{F} \quad (2)$$

Em que,

T é o período de retorno, em anos;

F é a frequência (adimensional).

Com o valor do período, determinou-se a variável Gumbel observada (Equação 3) e a teórica (Equação 4), ambas para cada valor da precipitação, elaborando um gráfico onde é possível verificar se a distribuição está bem ajustada.

$$Y_{obs} = -\ln \left(-\ln \left(\frac{T - 1}{T} \right) \right) \quad (3)$$

$$Y_{teo} = (H - \mu) + \frac{0,45 \times s}{0,7797 \times s} \quad (4)$$

Em que,

Y_{obs} é a variável Gumbel observada (adimensional);

T é o período de retorno, em anos;

Y_{teo} é a variável Gumbel teórica (adimensional);

H é a precipitação, em mm;

μ é a média, em mm;

s é o desvio padrão, em mm.

Em seguida, determinou-se a precipitação teórica (H_{teo}), a partir da equação 5, para que o próximo passo seja a aplicação do teste qui-quadrado.

$$H_{teo} = Y_{obs} \times 0,7797 \times s + \mu - 0,45 \times s \quad (5)$$

Em que,

H_{teo} é a precipitação teórica, em mm;

Y_{obs} é a variável Gumbel observada (adimensional);

s é o desvio padrão, em mm;

μ é a média, em mm;

Com o valor do H_{teo} , calculou-se o teste qui-quadrado a partir da equação 6, em seguida comparou-se com o qui-quadrado teórico, função do *Microsoft Excel INV.QUIQUAD*.

$$Chi^2_{cal} = \frac{(H - H_{teo})}{H_{teo}} \quad (6)$$

Em que,

X^2_{cal} é o qui-quadrado calculado (adimensional);

H é a precipitação observada, em mm;

H_{teo} é precipitação teórico, em mm;

Para que o qui-quadrado teórico seja aplicado, é preciso determinar um nível de significância, que para este caso utilizou-se 0,05. Em seguida é preciso determinar os graus de liberdade, Equação 7.

$$gl = n - (k - 1) - 1 \quad (7)$$

Em que,

gl são os graus de liberdade (adimensional);

n é o número da amostra (adimensional);

K é a quantidade de variáveis dependentes (adimensional).

Faz-se a aplicação do método qui-quadrado para todos os valores da amostra e por fim soma-se todos eles. Para que o teste qui-quadrado esteja bem ajustado a sua soma dever ser menor do que o valor encontrado no qui-quadrado teórico.

A distribuição de Gumbel determinada pela seguinte expressão (Equação 8).

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^y} \quad (8)$$

Em que: $P(X \geq x)$ a probabilidade de um evento X ser maior ou igual a x ;

y é a variável reduzida de Gumbel (Equação 9);

$$y = \left(x - \mu + s_x \times \frac{y_n}{s_n} \right) \times \frac{s_n}{s_x} \quad (9)$$

Em que,

S_n é o desvio padrão da variável reduzida y ;

S_x é o desvio padrão da variável reduzida x ;

μ é a média da variável x ;

y_n é a média da variável reduzida y ;

Temos o fator de frequência dado por (Equação 10).

$$K_t = 0,7797 \times Y_{obs} - 0,45 \quad (10)$$

Em que,

Y_{onb} é a variável Gumbel observada (adimensional);

T é o período de retorno, em anos;

K_t é o fator de frequência (adimensional);

Com o fator de frequência calculou-se o H_{teo} (Equação 11).

$$H_{teo} = \mu + K_t \times s \quad (11)$$

Em que,

H_{teo} é a precipitação teórica, em mm;

s é o desvio padrão, em mm;

μ é média, em mm.

O cálculo da magnitude do evento de precipitações é determinado para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75 e 100 anos. Os coeficientes de desagregação foram calculados pela Equação 12 recomendada por Silveira (2000).

$$C_{24}(d) = e^{1,5 \ln \left(\frac{\ln(d)}{7,3} \right)} \quad (12)$$

Em que ,

$C_{24}(d)$ é o coeficiente de desagregação em função da duração escolhida (adimensional);

d é a duração escolhida, em minutos;

Para a determinação da desagregação o processo desenvolvido foi:

As precipitações máximas determinadas pela equação 12 foram desagregadas em durações menores 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.

De início, multiplicou-se o valor referente a precipitação pelo coeficiente que transforma a chuva diária em uma chuva de duração de 24 horas. Com essa precipitação, determina-se as demais precipitações, multiplicando cada uma delas pelo valor do coeficiente referente a tal duração. Isso foi realizado para todas as durações e períodos de retorno.

Logo após, foram calculadas as intensidades, a partir da divisão da precipitação pela duração, com isso é possível produzir o gráfico com as curvas IDF - intensidade, duração e frequência.

Utilizando o logaritmo na tabela de intensidade, é capaz de obter o gráfico IDF linearizado. Isso foi determinado para extrair as equações da reta para cada uma das curvas, onde os valores de coeficiente linear e coeficiente angular foram utilizados para obter os parâmetros da equação de chuva. Onde a mesma é caracterizada pela seguinte fórmula (Equação 13).

$$i = \frac{c}{(t + t_0)^n} = \frac{K \times T^m}{(t + t_0)^n} \quad (13)$$

Em que,

i é a intensidade, em mm/h;

T é o período de retorno, em anos;

t é a duração da chuva, em minutos;

K , m , t_0 e n são os parâmetros que descrevem as características locais.

Em seguida aplicou-se a anamorfose logarítmica, dada pela seguinte expressão (Equação 14).

$$\log(i) = \log(c) - n \times \log(t + t_0) \quad (14)$$

Em que,

t_0 é obtido a partir da tentativa de erro, onde somado a t , dará uma equação da reta com $R^2 = 0,999$;

n é o valor do coeficiente angular da equação da reta, dado em módulo, determinado pelo gráfico linearizado das curvas IDF;

$\log(c)$ é os coeficientes lineares das equações da reta obtidos no gráfico linearizado das curvas IDF.

Logo (Equação 15),

$$\log(c) = \log(k) + m \times \log(T) \quad (15)$$

Devolveu-se o gráfico $\log(C) \times \log(T)$ a fim de determinar a equação da reta, onde m é o coeficiente angular nesta equação e K é a operação inversa do log aplicado ao valor do coeficiente linear desta equação da reta. Dessa forma, será obtido todos os parâmetros necessários para determinar a equação da chuva.

Com a equação de chuva determinada, desenvolveu-se os cálculos das intensidades para os mesmos períodos de retorno e durações. Por fim, utilizou novamente o teste qui-quadrado para fazer a verificação entre os valores observados, intensidade a partir dos coeficientes de desagregação, e os valores calculados, intensidade através da equação da chuva.

4.9 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL PELO MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS

Determinada a equação da chuva, foi desenvolvido a distribuição da mesma, a partir do método dos blocos alternados, utilizando intervalos de 10 minutos e análises para chuvas de durações de 60, 90 e 120 minutos e períodos de retorno iguais a 30, 50, 70 e 100 anos.

A metodologia dos blocos alternados distribui a precipitação ao longo do tempo, buscando uma situação crítica de precipitação. Fundamentado em uma precipitação pequena e média no início do tempo e precipitação alta no final do tempo, originando hidrogramas com grandes picos.

Para o tempo de retorno e a equação de chuva de projeto determinados, encontra-se a precipitação referente à sua duração, espaçadas pelo intervalo de tempo (Δt). Logo após, calcula-se a precipitação acumulada e, em seguida tem-se a reordenação da precipitação, em que a distribuição temporal de pico ocorre a 50%. Admite-se que a precipitação em cada intervalo de tempo é a diferença entre dois intervalos de tempo, obtendo assim a primeira versão do hidrograma. Este procedimento foi realizado para todas as durações e períodos de retornos já supracitados, desenvolvendo várias tabelas e hidrogramas da chuva total, dessa forma, tem-se um maior acervo de dados para a análise e escolha do melhor cenário para o dimensionamento hidráulico.

4.10 CALCULO DA DECLIVIDADE MÉDIA DO TALVEGUE PRINCIPAL

Com o auxílio dos Softwares software Google Earth Pro e Qgis foi possível determinar as cotas de altitude máximas e mínimas da região da bacia. Dessa forma, para

calcular a declividade, fez-se a diferença entre as duas cotas e dividiu o resultado pelo comprimento do talvegue principal, conforme a Equação 16.

$$S = \frac{C_{m\acute{a}x} - C_{m\acute{i}n}}{C_T} \quad (16)$$

Em que,

S é a declividade, em m/m;

$C_{m\acute{a}x}$ é a cota máxima, em m;

$C_{m\acute{i}n}$ é a cota mínima, em m;

C_T é o comprimento do talvegue principal, em m;

4.11 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Para a determinação do tempo de concentração foi utilizado as equações recomendadas pela literatura seguindo as características da bacia hidrográfica em questão. Portanto, temos as seguintes expressões utilizadas:

4.11.1 Equação de Carter

$$t_c = 0,0977 \times L^{0,6} \times S^{-0,3} \quad (17)$$

Em que,

t_c é o tempo de concentração, dado em horas;

L é o comprimento do talvegue, dado em Km;

S é a declividade média, dada em m/m.

4.11.2 Equação de Schaake et al

$$t_c = 0,0828 \times L^{0,24} \times S^{-0,16} \times A_{imp}^{-0,26} \quad (18)$$

Em que,

t_c é o tempo de concentração, dado em horas;

L é o comprimento do talvegue, dado em Km;

S é a declividade média, dada em m/m;

A_{imp} é a área impermeável, dada em Km².

4.11.3 Equação de Desbordes

$$t_c = 0,0869 \times L^{0,3039} \times S^{-0,3832} \times A_{imp}^{-0,4523} \quad (19)$$

Em que,

t_c é o tempo de concentração, dado em horas;

L é o comprimento do talvegue, dado em Km;

S é a declividade média, dada em m/m;

A_{imp} é a área impermeável, dada em Km².

Por fim, determinou-se a o tempo de concentração médio a partir da média aritmética dos valores dos tempos de concentração obtidos pelas fórmulas acima.

4.12 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a obtenção do escoamento superficial utilizou-se o método do SCS, que determina a parcela de água que escoo pela superfície a partir das seguintes equações 20 e 21.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (20)$$

$$P_{excacum} = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S}, P > 0,2S \quad (21)$$

Em que,

S é a capacidade máxima de armazenamento do solo, em mm;

CN é o coeficiente Curva Número;

$P_{excacum}$ é o escoamento superficial direto, em mm;

P é a precipitação total acumulada, em mm.

Para que essas equações sejam válidas, é preciso que o volume precipitado deva superar o volume constituído pelas perdas iniciais (interceptação, infiltração do solo e etc.), onde para tal método as perdas representam 20% do valor da precipitação. Se a precipitação for menor ou igual que $0,2S$, o escoamento superficial estimado será zero.

Para o desenvolvimento do cálculo parâmetro Curve Number (CN) são necessários os dados referentes ao uso e ocupação do solo da área de estudo. Portanto, utilizou-se dos dados fornecidos pela plataforma MapBiomias. Dentre os usos disponíveis pela plataforma, aqueles existentes dentro da área de abrangência dos estudos foram efetivamente utilizados no cálculo do CN. Para tanto foi necessário ajustar um valor CN referente a cada uso. Assim, buscou-se uma descrição correspondente e similar entre as classes de usos do Soil Conservation Service e então tomou-se este CN para o respectivo uso.

Portanto, a partir do mapa de uso e ocupação do solo foi possível classificar as áreas de acordo com as classes A, B, C e D (tabela 3). As classes C e D foram as predominantes,

sendo caracterizada como solos argilosos e camada densificada de 50 a 120 cm de profundidade.

Tabela 3: Tipos de solo SCS

Tipos de Solos	Descrição
Grupo A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8% não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
Grupo B	Solos franco arenosos (franco) menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 a 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superior.
Grupo C	Solos barrentos (franco siltoso ou franco argiloso arenoso) com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.
Grupo D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados.

Fonte: Portela (2006).

A partir da classificação das áreas no mapa de uso e ocupação do solo, pode-se determinar os valores de CN para cada uma dessas áreas, através de tabelas que estimam os valores para a curva número. A tabela 4 mostra os valores referentes ao CN para bacias urbanas.

Tabela 4: Valores de CN para bacias urbanas

Utilização ou Cobertura do Solo	Tipos de Solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios: em más condições	68	79	86	89
boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: Cobertura ruim	45	66	77	83
Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios (em boas condições):				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva em 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais:				
Tamanho do lote				
(em m ²)				
% média impermeável				
Até 500 m ²65%	77	85	90	92
500 a 1000 m ²38%	61	75	83	87
1000 a 1300 m ²30%	57	72	81	86
1300 a 2000 m ²25%	54	70	80	85
2000 a 4000 m ²20%	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados, viadutos, telhados, etc.	98	98	98	98
Ruas e estradas:				
Asfaltadas, com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Pavimentadas com paralelepípedos	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89

Fonte: TUCCI (1993).

Por fim, como a bacia do Riacho do Frango apresenta mais de um tipo de cobertura de solo, calculou-se o CN médio para a bacia através da média ponderada dos valores do CN correspondentes a cada cobertura de solo.

4.13 APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS-HUS

Para que a precipitação de projeto seja transformada em vazão na bacia, é preciso aplicar um método de transformação chuva-vazão. O modelo do hidrograma unitário (HU) representa a resposta da bacia hidrográfica a uma precipitação de volume unitário e uma determinada duração Δt .

O HU sintético do SCS é obtido a partir das características físicas da bacia, do tempo de concentração, da vazão de pico, tempo de pico e tempo de base. Portanto para a determinação da vazão é necessário ter os seguintes parâmetros:

- Área da bacia;
- Tempo de concentração;
- Períodos de retorno (30, 50, 70 e 100 anos);

- Duração (60, 90 e 120 minutos);
- O coeficiente curva número, CN;
- Discretização da chuva (10 minutos);
- Chuva unitária (1 mm);
- Duração da chuva unitária (10 minutos);

Com a distribuição temporal feita a partir do método dos Blocos Alternados, conforme o item 4.9, e a Chuva Excedente calculada pelo item 4.12 é possível encontrar o hidrograma triangular.

Utilizando as expressões empíricas do método encontra-se o tempo de pico, o tempo de base e a vazão de pico, respectivamente nas Equações 22, 23 e 24.

$$T_p = \frac{d}{2} + 0,6 \times T_c \quad (22)$$

$$t_b = 2,67 \times T_p \quad (23)$$

$$Q_p = 0,208 \times \frac{A}{T_p} \quad (24)$$

Em que,

T_p é o tempo de pico, dado em horas;

d é a duração da precipitação, dada em horas;

t_b é o tempo de base do hidrograma, dado em horas;

Q_p é a vazão de pico do hidrograma, dado em m^3/s ;

A é a área da bacia, dada em Km^2 .

Ajusta os valores do tempo de pico, tempo de base em múltiplos de 10, uma vez que a chuva é discretizada a cada 10 minutos, para que o valor máximo da vazão apareça no hidrograma total. Em seguida faz-se o hietograma com os resultados transformados. Determina-se as equações das retas do hietograma que serão utilizados para o cálculo do Hidrograma Unitário.

Determinado esses parâmetros, faz-se a convolução que segue os seguintes procedimentos:

- Passo 1:

A primeira coluna das tabelas do APÊNDICE D – Memória de cálculo do Método SCS-HUS representa a duração, em minutos, discretizada a partir do intervalo, que foi de 10 minutos.

- Passo 2:

Na segunda coluna é colocado os valores do Hidrograma Unitário que são obtidos através da substituição dos valores das durações discretizadas nas equações das retas do hietograma. Se atentando ao intervalo de tempo de cada equação da reta.

- Passo 3:

Nas demais colunas, para cada evento aplica-se o princípio da proporcionalidade.

$$H_n = H_{exd} \times HU \quad (25)$$

- Passo 4:

Os hidrogramas resultantes são somados aplicando-se o princípio da aditividade.

$$H_{tot} = \sum H_{1...n} \quad (26)$$

Esse processo é repetido para todos os períodos de retorno e durações. A vazão de pico é o maior valor de H_{total} entre os valores para a duração de chuva determinada.

4.14 MODELO SANTA BÁRBARA

Inicialmente para poder determinar a vazão de projeto a partir do Método Santa Bárbara é preciso ter os seguintes dados:

- Área da Bacia;
- Área impermeável;
- A fração da área impermeável, razão entre a área impermeável e a área da bacia;
- Tempo de concentração;
- Períodos de retorno (30, 50, 70 e 100 anos);
- Duração (60, 90 e 120 minutos);
- O intervalo de tempo (600 segundos);
- O coeficiente curva número, CN;
- O coeficiente de retardo.

O coeficiente de retardo é calculado a partir da equação 27.

$$K_r = \frac{\Delta t}{2 \times t_c + \Delta t} \quad (27)$$

Em que,

K_r é o coeficiente de retardo, adimensional;

Δt é o intervalo de tempo, dado em segundos;

t_c é o tempo de concentração, dado em segundos.

De posse do coeficiente de retardo, e com a distribuição temporal desenvolvida a através do método dos Blocos Alternados, conforme o item 4.9, a Chuva Excedente calculada pelo item 4.12, e as precipitações calculadas pela equação de chuva é possível desenvolver o método da seguinte forma:

- Coluna 1:

A primeira coluna do APÊNDICE E – Memória de cálculo do Método Santa Bárbara, contém a ordem dos valores.

- Colunas 2 e 3:

A segunda coluna das tabelas do representa a duração, em minutos, discretizada a partir do intervalo, que foi de 10 minutos. Já a terceira coluna representa este tempo em horas.

- Coluna 4:

A quarta coluna representa o valor da chuva alternada determinada a partir do método dos blocos alternados.

- Coluna 5:

A quinta coluna refere-se à precipitação acumulada, utilizando os valores da segunda coluna. Onde o último valor deve ser igual ao valor de precipitação encontrado pela equação da chuva.

- Coluna 6:

Na sexta coluna é aplicado o método SCS para o escoamento superficial. Com os valores da coluna 3 é aplicado a Equação 20 a fim de determinara o valor da precipitação excedente acumulada.

- Coluna 7:

A coluna 7 trata do hietograma de projeto. É determinado a partir do desacumulo da chuva excedente acumulada na coluna 4.

- Coluna 8:

A coluna 8 é a determinação da velocidade de escoamento da região impermeabilizada. Ela é obtida a partir da razão da precipitação da coluna 2 pelo intervalo de tempo (10 minutos), dado em mm/h.

- Coluna 9:

A coluna 9 é desenvolvida de maneira análoga a coluna 6, trata-se da velocidade de escoamento da região permeável. Ela é determinada através da razão dos valores coluna 5 pelo intervalo de tempo (10 minutos), dado em mm/h.

- Coluna 10:

Na coluna 10 é calculado os valores referentes as coordenadas do hidrograma do reservatório imaginário a partir da seguinte expressão:

$$I = (i \times d \times i_e \times (1 - d) \times A) \quad (28)$$

Em que,

I é a coordenada do hidrograma, dado em m³/s;

i é a velocidade na área impermeabilizada, dada em m/s;

i_e é a velocidade na área impermeável, dada em m/s;

d é a fração da área impermeável, adimensional;

A é a área total da bacia, dada em m².

- Coluna 11:

A coluna 11 tem-se a soma acumulada de duas linhas da coluna 10, ou seja, a primeira linha da coluna 11 é igual a primeira linha da coluna 10. A segunda linha da coluna 11 é igual a soma das linhas 1 e 2 da coluna 10, e assim por diante.

- Colunas 12 e 13:

As colunas 12 e 13 são calculadas de maneira simultânea. A coluna 12 trata da vazão calculada pela Equação 29, e a coluna 13 é a repetição dos valores determinados na coluna 12, onde a segunda linha da coluna 12 é igual a primeira linha da coluna 13.

$$Q_j = Q_{j-1} + K_r \times (I_{j-1} + I_j - 2 \times Q_{j-j}) \quad (29)$$

Em que,

Q_j é a vazão de saída, dada em m³/s;

Q_{j-1} é a vazão de saída anterior, dada em m³/s;

K_r é o coeficiente de retardo, adimensional;

I_{j-1} + I_j é o valor determinado na coluna 8, dado em m³/s.

Esse processo é repetido até que Q_j seja igual a zero, dessa forma, determina-se o hidrograma de projeto. Tem-se que a vazão de projeto é igual a vazão de pico somada à vazão de base. Já a vazão de pico é o maior valor de Q_j correspondente aos valores para a duração de chuva determinada e a vazão de base é a vazão subterrânea, oriunda do lençol freático.

4.15 DIMENSIONAMENTO DE CANAL

Para o dimensionamento do canal foi seguido as seguintes considerações:

- Foi escolhido um dimensionamento de um canal retangular, uma vez que é o padrão dos canais existentes na cidade;
- Optou-se por concreto em condições regulares como material de revestimento para o fundo do declive;
- A inclinação do canal foi a mesma determinada pela Equação 16;
- A vazão de projeto foi obtida a partir dos Métodos SCS-HUS e o Santa Bárbara;
- Segundo Porto (2006) é indicado usar uma razão de aspecto de valor igual a 2 para um canal retangular, visando um melhor custo-benefício;

De posse dessas informações, inicialmente calcula o valor do coeficiente dinâmico através da equação

$$M = \left(\frac{n \times Q}{\sqrt{I}} \right)^{3/8} \quad (30)$$

Em que,

M é coeficiente dinâmico, adimensional;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning, adimensional;

Q é a vazão de projeto, dado em m^3/s ;

I é a declividade, dado em m/m ;

O coeficiente de rugosidade de Manning é determinado de acordo com a Tabela 5. É acrescentado 15% a esse valor, pois deve-se considerar o envelhecimento do canal ou uma possível má manutenção.

Tabela 5: Tabelas com coeficiente de rugosidade n

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012*	0,013*	---
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento:				
condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchões.....	0,012	0,015*	0,016	---
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal-arrumadas.....	0,035	0,040	0,045	---
Canais dragados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035
ARROIOS E RIOS				
1. Limpos, retilíneos e uniformes.....	0,025	0,028	0,030	0,033
2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.....	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos.....	0,035	0,040	0,045	0,050
4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca.....	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Como em 3, com vegetação e pedras.....	0,033	0,035	0,040	0,045
6. Como em 4, com pedras.....	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Com margens espriadas, pouca vegetação.....	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Com margens espriadas, muita vegetação.....	0,075	0,100	0,125	0,150

* Valores aconselhados para projetos.

Fonte: Porto (2006).

Após a determinação do coeficiente de rugosidade, determina-se a altura d'água, através da Equação 31, a mesma é uma variação mais compacta da fórmula de Manning.

$$y_0 = \frac{M}{K} \quad (31)$$

Em que,

y_0 é a altura d'água, dada em metros;

M é o coeficiente dinâmico, adimensional;

K é o coeficiente de forma, adimensional.

O coeficiente de forma, K , é determinado de acordo com a Tabela 6, onde a razão de aspecto, m , é igual a 2 e o Z é igual a 0, por ser um canal no formato retangular.

Tabela 6: Valores do coeficiente 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
3	1,329	1,446	1,531	1,565	1,597	1,626	1,654
3,2	1,370	1,484	1,565	1,598	1,629	1,657	1,684
3,4	1,410	1,519	1,598	1,630	1,660	1,687	1,713
3,6	1,448	1,554	1,630	1,661	1,690	1,716	1,741
3,8	1,484	1,588	1,661	1,691	1,719	1,745	1,769
4	1,520	1,620	1,692	1,721	1,748	1,773	1,796
4,2	1,554	1,652	1,721	1,750	1,776	1,800	1,823
4,4	1,587	1,682	1,750	1,777	1,803	1,826	1,849
4,6	1,619	1,712	1,778	1,805	1,829	1,852	1,874
4,8	1,651	1,741	1,805	1,831	1,855	1,878	1,899
5	1,681	1,770	1,832	1,858	1,881	1,903	1,923
5,2	1,711	1,797	1,858	1,883	1,906	1,927	1,947
5,4	1,740	1,824	1,884	1,908	1,930	1,951	1,971
5,6	1,768	1,851	1,909	1,933	1,954	1,975	1,994
5,8	1,795	1,876	1,933	1,957	1,978	1,998	2,017
6	1,822	1,902	1,958	1,980	2,001	2,021	2,039

Fonte: Porto (2006).

Determinados os valores da razão de aspecto, m , e a altura d'água, y_0 , calcula-se a a dimensão da largura de fundo a partir da Equação 32.

$$b = y_0 \times m \quad (32)$$

Em que,

b é a largura de fundo, dada em metros;

y_0 é a altura d'água, dada em metros;

m é a razão de aspecto, adimensional.

Para determinar a altura da parede do canal, é acrescentado 20% em y_0 . Dessa forma, tem-se todas as dimensões do canal.

4.15.1 Verificação da velocidade média

O cálculo da velocidade de escoamento do canal é dado através da Equação 33, em seguida, utiliza-se a Tabela 7 para verificar se a mesma é admissível. Deve-se levar em consideração a natureza do revestimento utilizado, que para o presente caso foi o concreto, e se a velocidade está dentro da velocidade mínima e máxima.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (33)$$

Onde,

V é a velocidade, dada em m/s;

Q é a vazão, dada em m³/s;

A é a área da seção transversal do canal, em m².

Tabela 7: Velocidades médias recomendadas

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

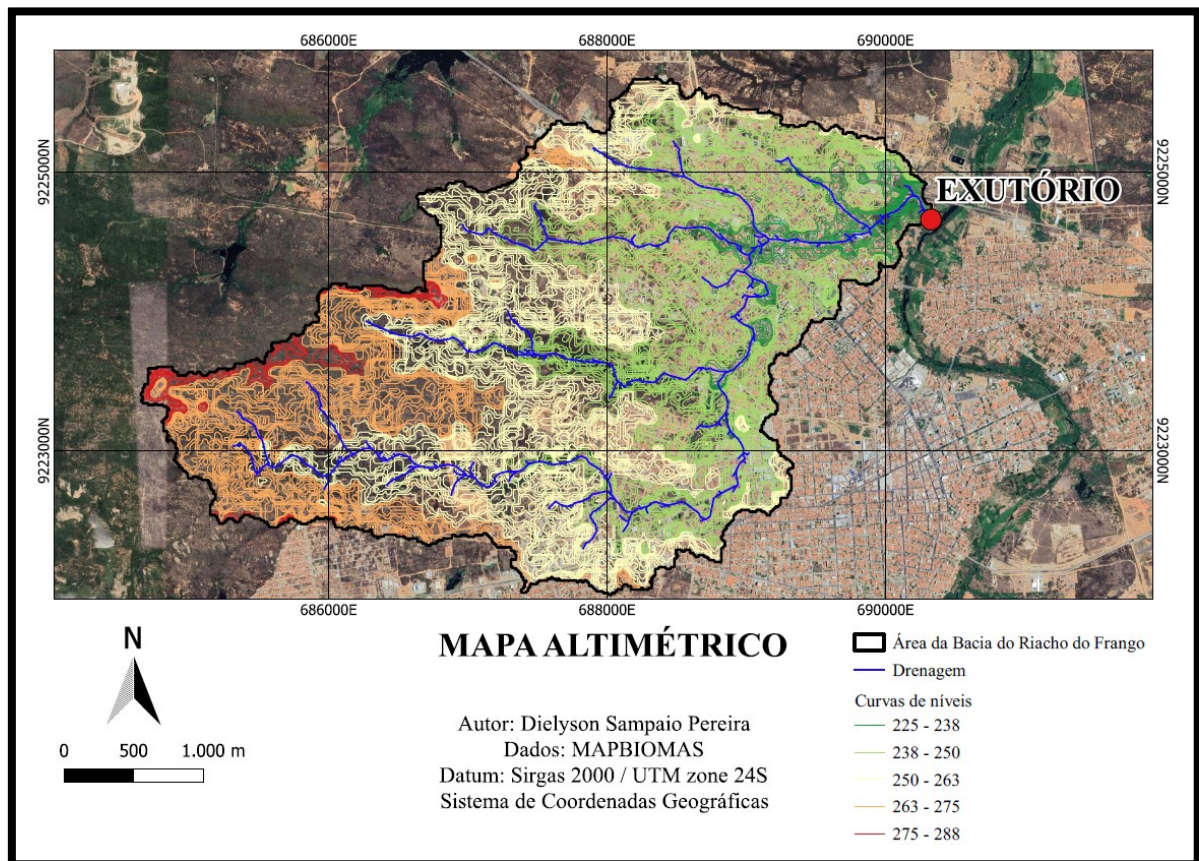
Fonte: Porto (2006).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Na figura 14 demonstra a área delimitada da bacia hidrográfica do riacho do Frango, bem como suas curvas de nível. A região da bacia do riacho do Frango abrange os bairros: Morro, Liberdade, Jardim Queiroz, Novo Horizonte, Belo Horizonte, Noé Trajano e Jardim Europa, no município de Patos-PB.

Figura 14: Delimitação da bacia de contribuição



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir da delimitação foi possível determinar as seguintes características da bacia hidrográfica em questão:

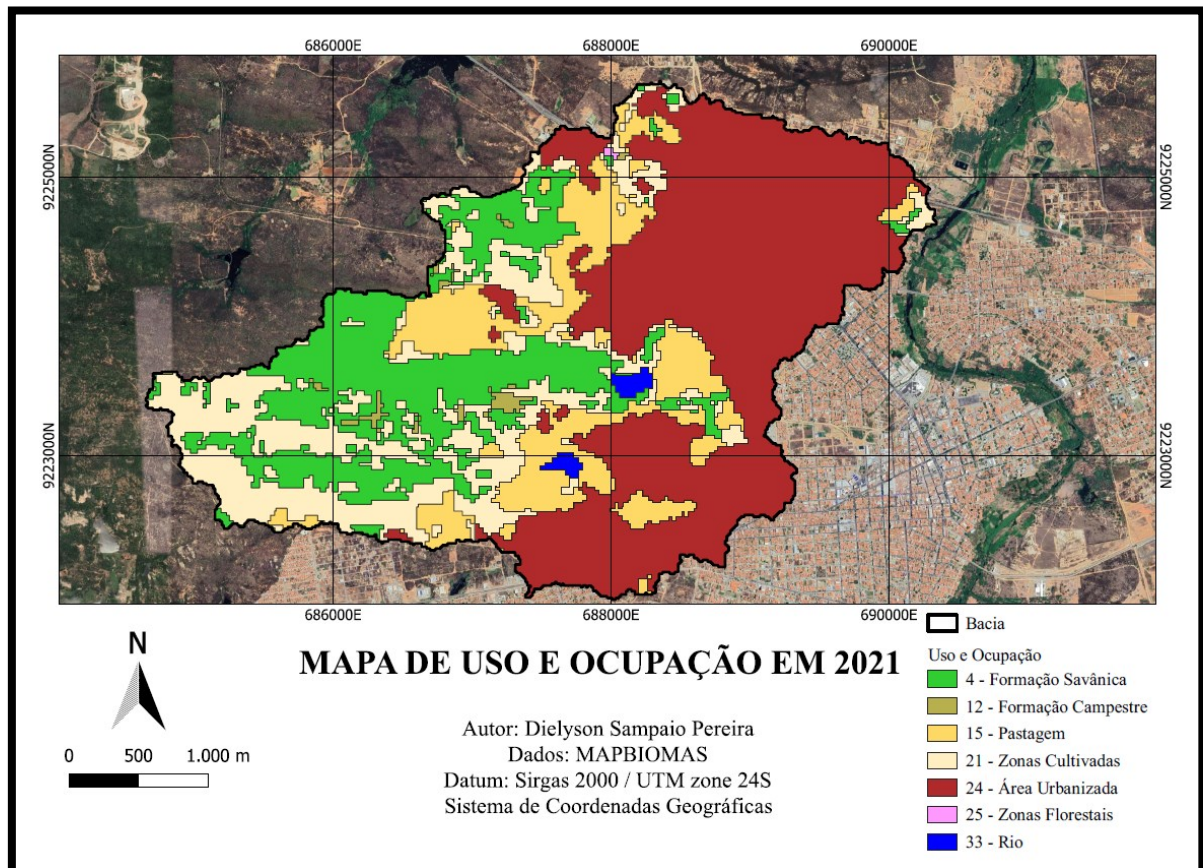
Tabela 8: Dados da Bacia do Riacho do Frango

Dados da Bacia		
Variáveis	Valores	Unidade
Área da bacia	11,464	Km ²
Perímetro da bacia	24,346	Km
Cota máxima	264	m
Cota mínima	227	m
Comprimento do talvegue principal	8,424	Km

Fonte: Autoria própria (2022).

5.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA

Conforme citado na metodologia, o uso e ocupação do solo foi determinado a partir do mapa de cobertura de solo disponibilizado pela tecnologia do MAPBIOMAS e processados a partir do software QGIS 3.4.12. Dessa forma obteve-se o seguinte mapa de uso e ocupação do solo (figura 15).

Figura 15: Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia de Contribuição

Fonte: Autoria própria (2022)

Com o mapa podemos caracterizar a ocupação do solo da área da bacia. A tabela 5 retrata o tipo de cobertura de solo e suas respectivas áreas.

Tabela 9: Caracterização do uso e ocupação do solo da bacia

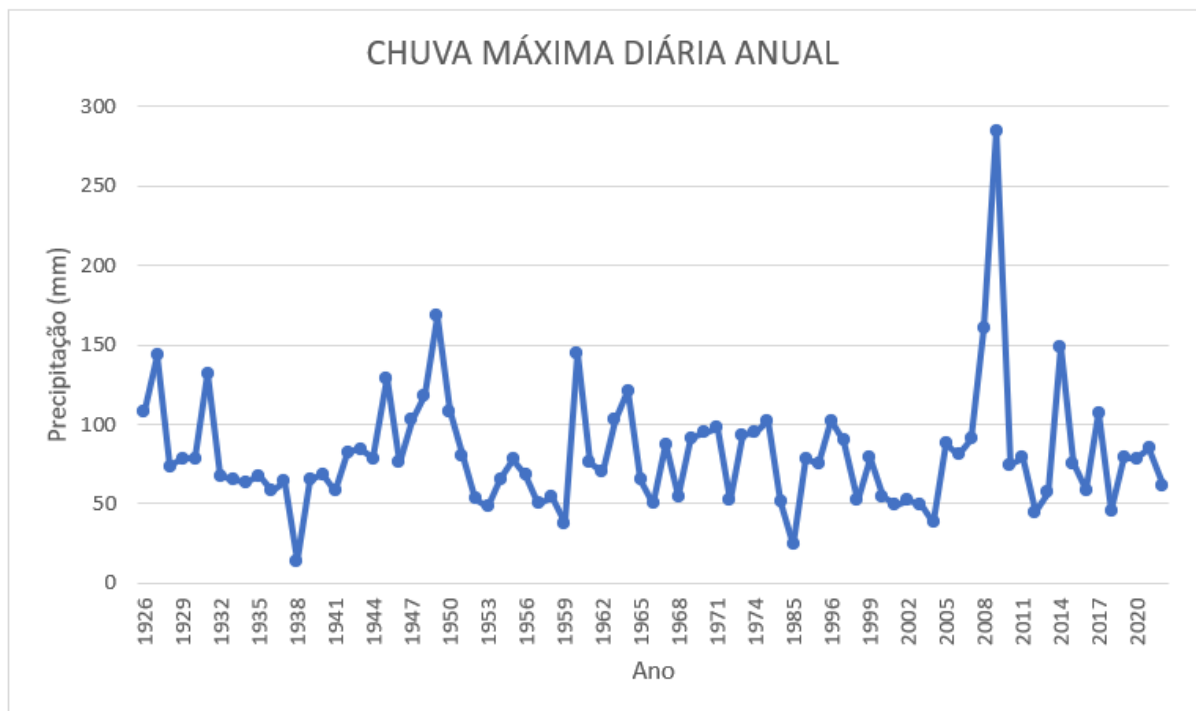
Uso do solo	Área (km ²)
Formação Savânica	2,348
Formação Campestre	0,091
Pastagem	1,751
Zonas Cultivadas	2,218
Área Urbanizada	4,942
Zonas Florestais	0,0005
Rio	0,073

Fonte: Autoria própria (2022).

5.3 EQUAÇÃO DA CHUVA

A partir dos dados de precipitação coletados e tratados foi desenvolvido o Gráfico 1, que representa a série de chuva diária máxima anual.

Gráfico 1: Chuva Máxima Diária Anual



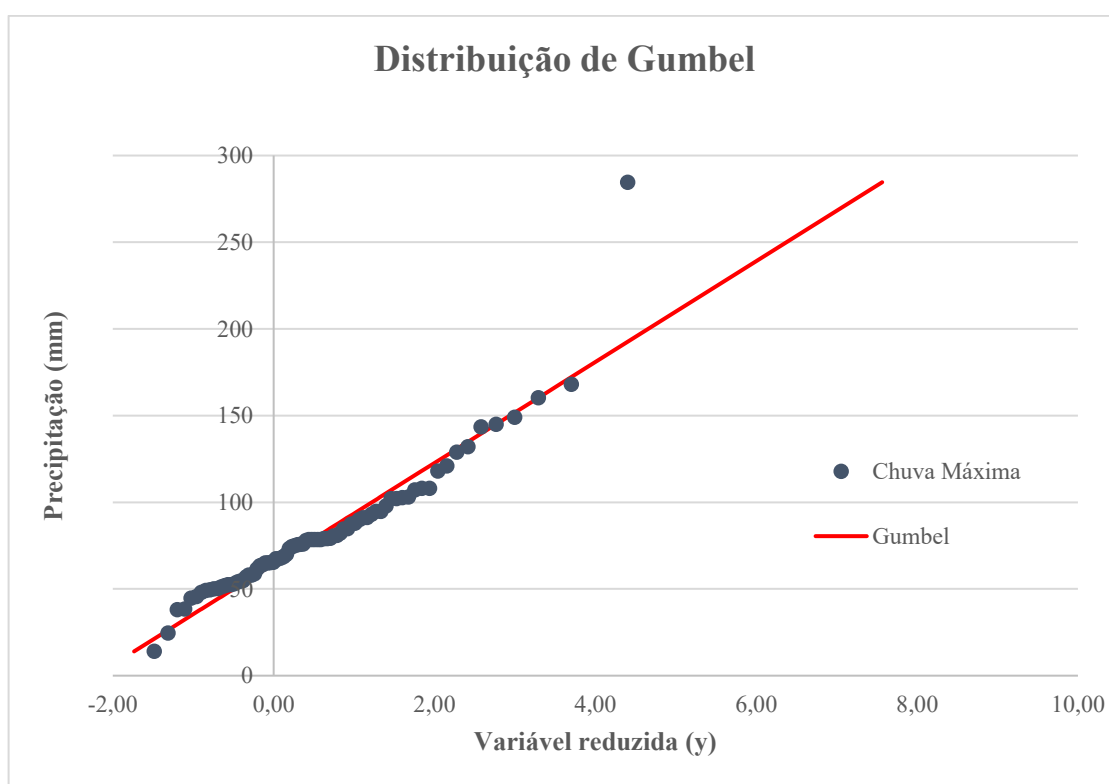
Fonte: Autoria própria (2022)

A partir dos dados de precipitação apresentados no gráfico obteve-se a média de 81,28 mm da precipitação diária máxima anual e o desvio padrão de 37,31 mm. Além disso é possível observar que durante o ano de 2009 o município registrou uma anomalia de chuva,

no dia 14 de abril do mesmo ano houve uma precipitação de 284,6 mm, no qual, o município sofreu com inundações e foi decretado Situação de Emergência (SE). Esse episódio atípico apresentou chuvas intensas e de longa duração, como consequência os sistemas de drenagem do município ficaram sobrecarregados, casas foram destruídas, pessoas ficaram desabrigadas, ruas e pontes apresentaram-se inundadas e conseqüentemente foram interditadas.

Com os dados do Gráfico 1 realizou-se a Distribuição de Gumbel, obtendo os resultados apresentados na Tabela 38 do APÊNDICE A da memória de cálculo. O Gráfico 2 apresenta o ajuste da Distribuição de Gumbel.

Gráfico 2: Distribuição de Gumbel



Fonte: Autoria própria (2022).

Verifica-se no gráfico que os valores registrados da precipitação e da variável reduzida no gráfico estão bem ajustados.

Para o teste qui-quadrado, a soma do qui-quadrado calculado foi igual a 0, considerou-se um nível de significância de 0,05, com 80 graus de liberdade, o que resultou em um qui-quadrado teórico de 101,88. Pode-se concluir que os dados estão bem ajustados, uma vez que a hipótese nula de que os valores teóricos e observados são iguais foi obedecida.

A tabela 10 retrata os eventos máximos obtidos pela Distribuição de Gumbel.

Tabela 10: Precipitações máximas

T-Anos	Y	K	Xprojeto
2	0,37	-0,16	75,15
5	1,50	0,72	108,12
10	2,25	1,30	129,95
15	2,67	1,63	142,27
20	2,97	1,87	150,90
30	3,38	2,19	162,94
40	3,68	2,42	171,44
50	3,90	2,59	178,00
75	4,31	2,91	189,89
100	4,60	3,14	198,31

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir desses dados conclui-se que quanto maior for o período de retorno, maior será o valor do evento. Com os mesmos, pode-se determinar a desagregação das chuvas como mostrado na tabela 11.

Tabela 11: Desagregação das chuvas

Duração (min)	Períodos de Retorno - Tr (anos)										Coeficientes de Desagregação
	2	5	10	15	20	30	40	50	75	100	
5	7,74	11,13	13,38	14,64	15,53	16,77	17,65	18,32	19,55	20,41	0,10
10	13,24	19,05	22,89	25,06	26,58	28,70	30,20	31,35	33,45	34,93	0,18
15	16,88	24,29	29,20	31,96	33,90	36,61	38,52	39,99	42,66	44,55	0,23
20	19,64	28,26	33,97	37,19	39,44	42,59	44,81	46,53	49,64	51,84	0,26
25	21,88	31,48	37,84	41,42	43,93	47,44	49,91	51,82	55,29	57,74	0,29
30	23,76	34,19	41,09	44,99	47,72	51,53	54,21	56,29	60,05	62,71	0,32
60	31,39	45,16	54,28	59,42	63,02	68,05	71,60	74,34	79,31	82,83	0,42
90	36,16	52,03	62,54	68,46	72,61	78,41	82,50	85,66	91,38	95,43	0,48
120	39,69	57,10	68,63	75,13	79,69	86,05	90,53	94,00	100,28	104,73	0,53
150	42,49	61,14	73,48	80,45	85,32	92,13	96,94	100,65	107,37	112,13	0,57
180	44,83	64,50	77,53	84,88	90,02	97,21	102,28	106,19	113,29	118,31	0,60
210	46,84	67,40	81,01	88,68	94,06	101,57	106,86	110,96	118,37	123,62	0,63
240	48,61	69,94	84,06	92,03	97,60	105,40	110,89	115,14	122,83	128,28	0,65
300	51,61	74,25	89,25	97,70	103,63	111,90	117,73	122,24	130,41	136,19	0,69
360	54,10	77,84	93,56	102,43	108,63	117,31	123,42	128,15	136,71	142,77	0,72
420	56,24	80,92	97,26	106,48	112,93	121,95	128,30	133,22	142,12	148,42	0,75
480	58,12	83,62	100,50	110,03	116,69	126,01	132,58	137,66	146,85	153,36	0,78
540	59,79	86,02	103,39	113,19	120,05	129,63	136,39	141,61	151,08	157,77	0,80
600	61,30	88,19	106,00	116,04	123,08	132,90	139,83	145,19	154,89	161,75	0,82
720	63,94	91,99	110,56	121,04	128,38	138,63	145,85	151,44	161,56	168,72	0,86
900	67,22	96,71	116,23	127,25	134,96	145,74	153,33	159,21	169,85	177,37	0,90
1200	71,53	102,91	123,68	135,41	143,62	155,08	163,16	169,41	180,73	188,74	0,96
1440	74,73	107,51	129,22	141,47	150,04	162,02	170,46	176,99	188,82	197,19	0,99
1d	75,15	108,12	129,95	142,27	150,90	162,94	171,44	178,00	189,89	198,31	

Fonte: Autoria própria (2022).

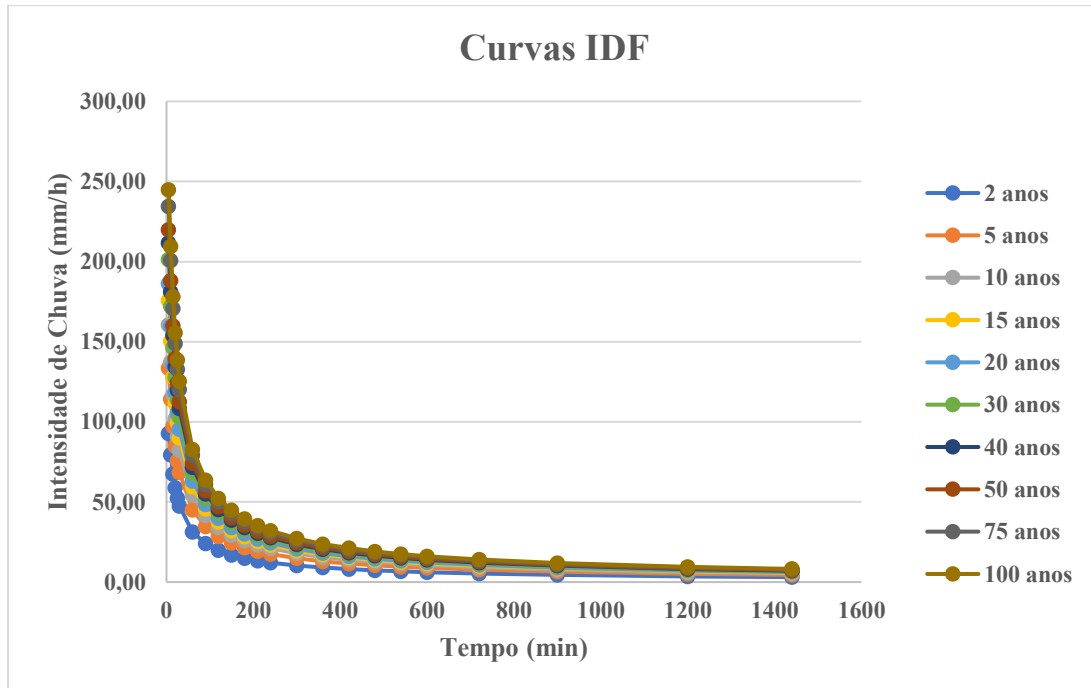
A partir da Tabela 11 pode-se afirmar que quanto maior for a duração, maior será a lâmina de água precipitada. Além disso, com os valores da desagregação foi possível determinar a intensidade de chuva, dada na Tabela 12.

Tabela 12: Intensidades

Tempo	Intensidade de Precipitação (mm/h)									
	Período de Retorno (anos)									
	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos	75 anos	100 anos
5	92,83	133,56	160,52	175,74	186,39	201,27	211,76	219,87	234,56	244,96
10	79,43	114,27	137,35	150,36	159,48	172,21	181,19	188,12	200,69	209,59
15	67,54	97,17	116,78	127,85	135,60	146,43	154,06	159,96	170,65	178,21
20	58,93	84,79	101,91	111,57	118,33	127,78	134,44	139,59	148,91	155,52
25	52,51	75,55	90,80	99,41	105,44	113,85	119,79	124,38	132,69	138,57
30	47,53	68,38	82,19	89,98	95,43	103,05	108,42	112,58	120,10	125,42
60	31,39	45,16	54,28	59,42	63,02	68,05	71,60	74,34	79,31	82,83
90	24,11	34,69	41,69	45,64	48,41	52,27	55,00	57,10	60,92	63,62
120	19,84	28,55	34,31	37,57	39,84	43,02	45,27	47,00	50,14	52,36
150	17,00	24,46	29,39	32,18	34,13	36,85	38,77	40,26	42,95	44,85
180	14,94	21,50	25,84	28,29	30,01	32,40	34,09	35,40	37,76	39,44
210	13,38	19,26	23,14	25,34	26,87	29,02	30,53	31,70	33,82	35,32
240	12,15	17,48	21,01	23,01	24,40	26,35	27,72	28,78	30,71	32,07
300	10,32	14,85	17,85	19,54	20,73	22,38	23,55	24,45	26,08	27,24
360	9,02	12,97	15,59	17,07	18,11	19,55	20,57	21,36	22,79	23,80
420	8,03	11,56	13,89	15,21	16,13	17,42	18,33	19,03	20,30	21,20
480	7,26	10,45	12,56	13,75	14,59	15,75	16,57	17,21	18,36	19,17
540	6,64	9,56	11,49	12,58	13,34	14,40	15,15	15,73	16,79	17,53
600	6,13	8,82	10,60	11,60	12,31	13,29	13,98	14,52	15,49	16,18
720	5,33	7,67	9,21	10,09	10,70	11,55	12,15	12,62	13,46	14,06
900	4,48	6,45	7,75	8,48	9,00	9,72	10,22	10,61	11,32	11,82
1200	3,58	5,15	6,18	6,77	7,18	7,75	8,16	8,47	9,04	9,44
1440	3,11	4,48	5,38	5,89	6,25	6,75	7,10	7,37	7,87	8,22

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a tabela de intensidade de chuva pode-se concluir que quanto maior a duração, menor será intensidade. Além disso, a partir dela desenvolveu-se o gráfico IDFs (Gráfico 3), as curvas de intensidade, duração e frequência.

Gráfico 3: Curvas IDF

Fonte: Autoria própria (2022).

Aplicou-se o logaritmo nos valores da intensidade, determinados na Tabela 12, de desenvolveu a Tabela 13.

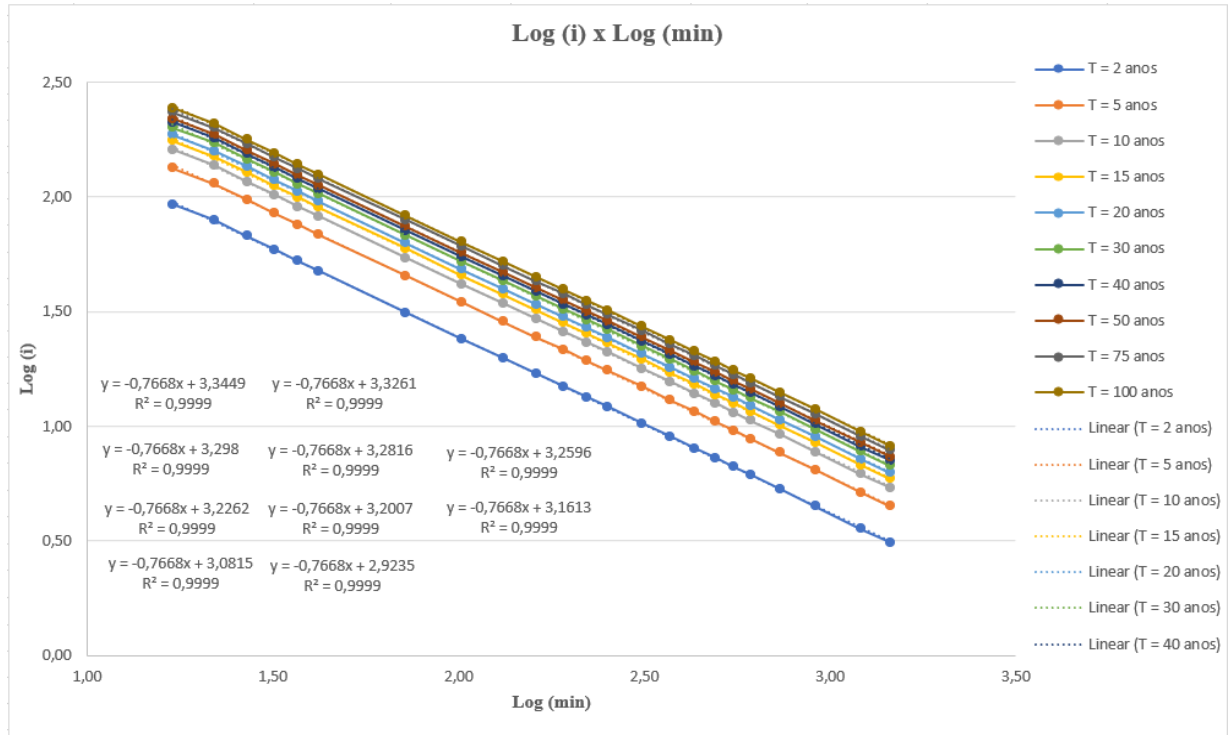
Tabela 13: Logaritmo da intensidade

LOGARITIMANDO										
Tempo	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos	75 anos	100 anos
1,23	1,97	2,13	2,21	2,24	2,27	2,30	2,33	2,34	2,37	2,39
1,34	1,90	2,06	2,14	2,18	2,20	2,24	2,26	2,27	2,30	2,32
1,43	1,83	1,99	2,07	2,11	2,13	2,17	2,19	2,20	2,23	2,25
1,51	1,77	1,93	2,01	2,05	2,07	2,11	2,13	2,14	2,17	2,19
1,57	1,72	1,88	1,96	2,00	2,02	2,06	2,08	2,09	2,12	2,14
1,62	1,68	1,83	1,91	1,95	1,98	2,01	2,04	2,05	2,08	2,10
1,86	1,50	1,65	1,73	1,77	1,80	1,83	1,85	1,87	1,90	1,92
2,01	1,38	1,54	1,62	1,66	1,68	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80
2,12	1,30	1,46	1,54	1,57	1,60	1,63	1,66	1,67	1,70	1,72
2,21	1,23	1,39	1,47	1,51	1,53	1,57	1,59	1,60	1,63	1,65
2,28	1,17	1,33	1,41	1,45	1,48	1,51	1,53	1,55	1,58	1,60
2,35	1,13	1,28	1,36	1,40	1,43	1,46	1,48	1,50	1,53	1,55
2,40	1,08	1,24	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	1,46	1,49	1,51
2,49	1,01	1,17	1,25	1,29	1,32	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44
2,57	0,96	1,11	1,19	1,23	1,26	1,29	1,31	1,33	1,36	1,38
2,64	0,90	1,06	1,14	1,18	1,21	1,24	1,26	1,28	1,31	1,33
2,69	0,86	1,02	1,10	1,14	1,16	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28
2,74	0,82	0,98	1,06	1,10	1,13	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24
2,79	0,79	0,95	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,16	1,19	1,21
2,86	0,73	0,88	0,96	1,00	1,03	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15
2,96	0,65	0,81	0,89	0,93	0,95	0,99	1,01	1,03	1,05	1,07
3,08	0,55	0,71	0,79	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93	0,96	0,97
3,16	0,49	0,65	0,73	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	0,91
t0										
12										

Fonte: Autoria própria (2022).

Adotou-se o parâmetro t_0 igual a 12 minutos, visto que foi o melhor valor que se ajustou, produzindo equações de retas com $R^2 = 0,9999$. A partir dos logaritmos da Tabela 13, produziu-se o Gráfico 4 das IDFs linearizadas.

Gráfico 4: IDFs Linearizadas



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do gráfico foi possível determinar as equações das retas demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1: Equações da reta

2 anos $y = -0,7668x + 2,9235$ $R^2 = 0,9999$	5 anos $y = -0,7668x + 3,0815$ $R^2 = 0,9999$	10 anos $y = -0,7668x + 3,1613$ $R^2 = 0,9999$	15 anos $y = -0,7668x + 3,2007$ $R^2 = 0,9999$	20 anos $y = -0,7668x + 3,2262$ $R^2 = 0,9999$
30 anos $y = -0,7668x + 3,2596$ $R^2 = 0,9999$	40 anos $y = -0,7668x + 3,2816$ $R^2 = 0,9999$	50 anos $y = -0,7668x + 3,298$ $R^2 = 0,9999$	75 anos $y = -0,7668x + 3,3261$ $R^2 = 0,9999$	100 anos $y = -0,7668x + 3,4449$ $R^2 = 0,9999$

Fonte: Autoria própria (2022).

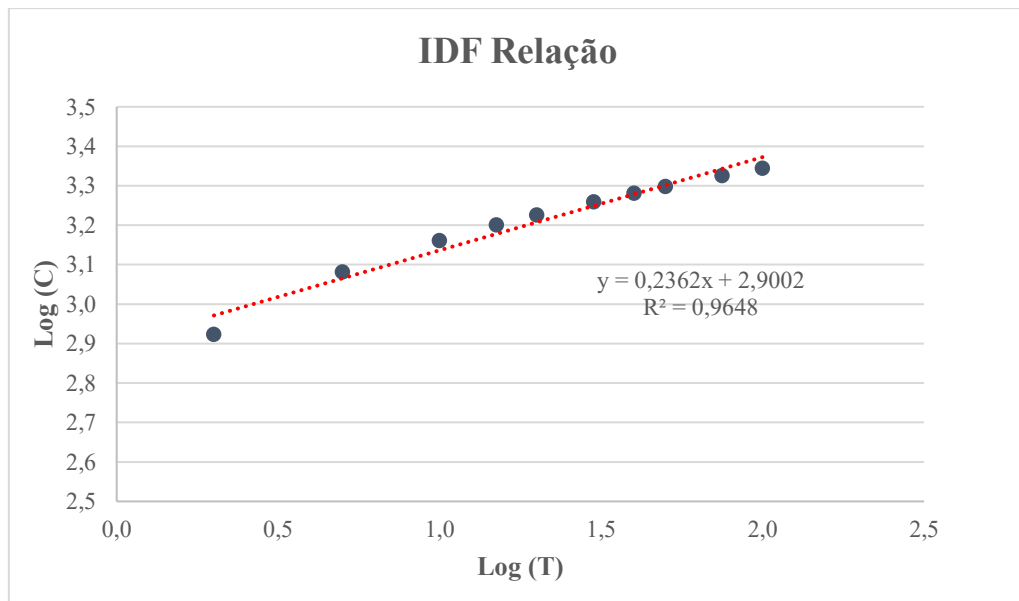
Em seguida faz o logaritmo do tempo, em anos, e o dos coeficientes lineares das equações das retas dispostas no Quadro 1. Com isso, tem-se a seguinte tabela.

Tabela 14: Log (T) x Log (C)

T-anos	Log T	Log C
2	0,3010	2,9235
5	0,6990	3,0815
10	1,0000	3,1613
15	1,1761	3,2007
20	1,3010	3,2262
30	1,4771	3,2596
40	1,6021	3,2816
50	1,6990	3,2980
75	1,8751	3,3261
100	2,0000	3,3449

Fonte: Autoria própria (2022).

Com esses valores produziu-se o gráfico 5.

Gráfico 5: Log (T) x Log (C)

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir da equação da reta do gráfico 5, define-se os parâmetros para a determinação da equação de chuva do município de Patos-PB.

Tabela 15: Parâmetros da equação de chuva

PARÂMETROS	
m	0,2362
n	0,7668
t0	12
k	794,3282

Fonte: Autoria própria (2022).

Com esses parâmetros a elabora-se a equação de chuva (Equação 34).

$$i = \frac{794,33 \times T^{0,2362}}{(t + 12)^{0,7668}} \quad (34)$$

Com a equação de chuva determinou-se mais uma vez os valores da intensidade, como retrata a Tabela 16.

Tabela 16: Intensidades pela equação de chuva

Tempo (min)	Período de Retorno (anos)									
	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos	75 anos	100 anos
5	106,56	132,31	155,84	171,51	183,57	202,02	216,22	227,92	250,83	268,47
10	87,44	108,57	127,89	140,74	150,64	165,78	177,43	187,04	205,84	220,31
15	74,74	92,80	109,30	120,29	128,75	141,69	151,65	159,86	175,92	188,29
20	65,61	81,46	95,95	105,60	113,02	124,38	133,12	140,33	154,43	165,29
25	58,70	72,88	85,84	94,47	101,11	111,28	119,10	125,55	138,16	147,88
30	53,26	66,13	77,89	85,72	91,75	100,97	108,07	113,92	125,37	134,18
60	35,23	43,74	51,52	56,70	60,69	66,79	71,48	75,35	82,93	88,76
90	26,97	33,49	39,45	43,41	46,46	51,13	54,73	57,69	63,49	67,95
120	22,13	27,48	32,37	35,62	38,13	41,96	44,91	47,34	52,10	55,76
150	18,92	23,49	27,67	30,45	32,59	35,86	38,38	40,46	44,53	47,66
180	16,61	20,62	24,29	26,73	28,61	31,48	33,70	35,52	39,09	41,84
210	14,86	18,45	21,73	23,91	25,59	28,17	30,15	31,78	34,97	37,43
240	13,48	16,74	19,72	21,70	23,22	25,56	27,35	28,83	31,73	33,96
300	11,44	14,21	16,74	18,42	19,71	21,70	23,22	24,48	26,94	28,83
360	10,00	12,42	14,63	16,10	17,23	18,96	20,29	21,39	23,54	25,19
420	8,92	11,07	13,04	14,35	15,36	16,90	18,09	19,07	20,99	22,47
480	8,07	10,02	11,80	12,99	13,90	15,30	16,38	17,26	19,00	20,33
540	7,39	9,17	10,81	11,89	12,73	14,01	14,99	15,80	17,39	18,62
600	6,83	8,48	9,98	10,99	11,76	12,94	13,85	14,60	16,07	17,20
720	5,95	7,39	8,70	9,58	10,25	11,28	12,08	12,73	14,01	14,99
900	5,03	6,24	7,35	8,09	8,66	9,53	10,20	10,75	11,83	12,67
1200	4,04	5,02	5,91	6,51	6,96	7,66	8,20	8,65	9,52	10,19
1440	3,52	4,37	5,15	5,66	6,06	6,67	7,14	7,53	8,29	8,87

Fonte: Autoria própria (2022).

De posse dos valores das intensidades desenvolveu-se o qui-quadrado teórico referente a cada período de retorno, conforme a Tabela 17. Para tal, foi considerado um nível de significância de 0,05 com 19 graus de liberdade.

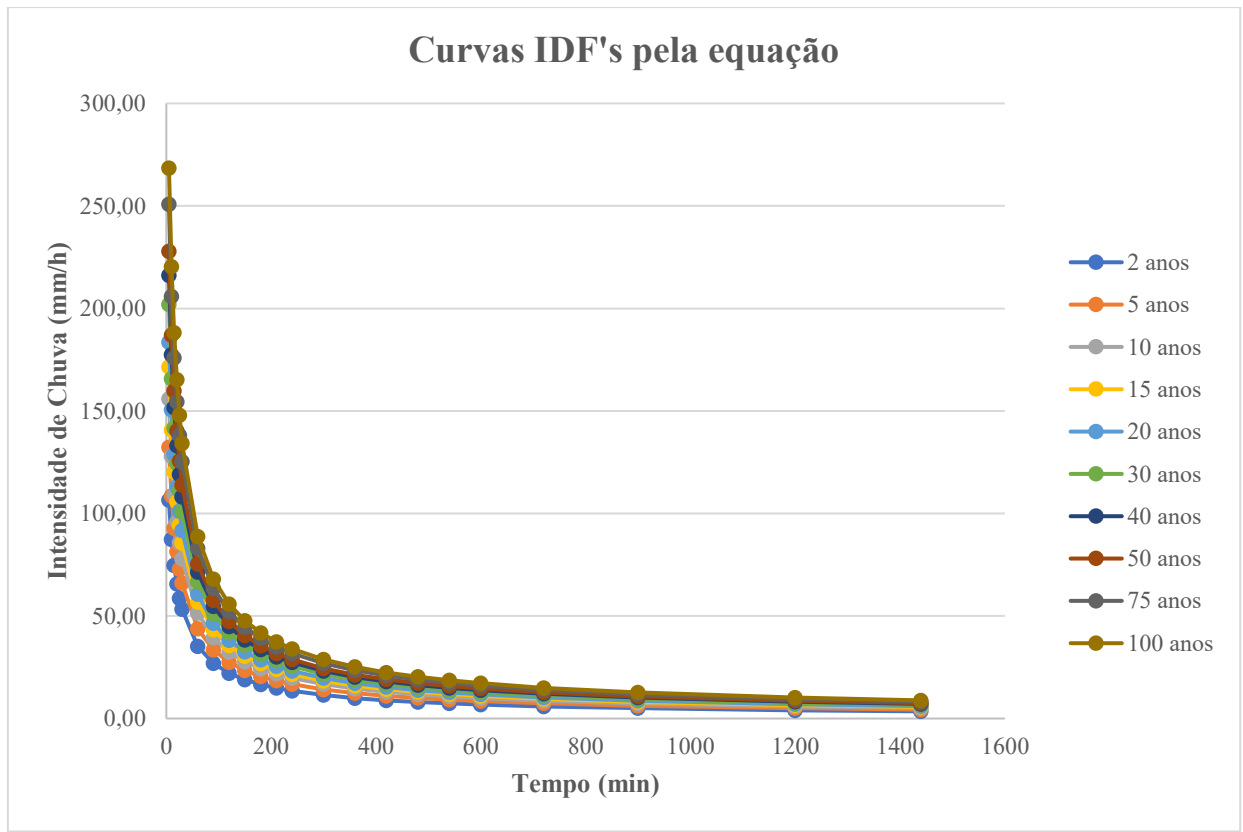
Tabela 17: Qui-quadrado teórico

Tempo (min)	Chi ² cal									
	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos	75 anos	100 anos
5	1,77	0,01	0,14	0,10	0,04	0,00	0,09	0,28	1,06	2,06
10	0,74	0,30	0,70	0,66	0,52	0,25	0,08	0,01	0,13	0,52
15	0,69	0,21	0,51	0,48	0,37	0,16	0,04	0,00	0,16	0,54
20	0,68	0,14	0,37	0,34	0,25	0,09	0,01	0,00	0,20	0,58
25	0,65	0,10	0,29	0,26	0,18	0,06	0,00	0,01	0,22	0,59
30	0,62	0,08	0,24	0,21	0,15	0,04	0,00	0,02	0,22	0,57
60	0,42	0,05	0,15	0,13	0,09	0,02	0,00	0,01	0,16	0,40
90	0,30	0,04	0,13	0,11	0,08	0,03	0,00	0,01	0,10	0,28
120	0,24	0,04	0,12	0,11	0,08	0,03	0,00	0,00	0,07	0,21
150	0,19	0,04	0,11	0,10	0,07	0,03	0,00	0,00	0,06	0,17
180	0,17	0,04	0,10	0,09	0,07	0,03	0,00	0,00	0,05	0,14
210	0,15	0,04	0,09	0,09	0,06	0,03	0,00	0,00	0,04	0,12
240	0,13	0,03	0,09	0,08	0,06	0,02	0,00	0,00	0,03	0,11
300	0,11	0,03	0,07	0,07	0,05	0,02	0,00	0,00	0,03	0,09
360	0,10	0,02	0,06	0,06	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,08
420	0,09	0,02	0,06	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07
480	0,08	0,02	0,05	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,07
540	0,08	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,06
600	0,07	0,01	0,04	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,06
720	0,07	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,06
900	0,06	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06
1200	0,05	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
1440	0,05	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
Chi ² cal.	7,49	1,25	3,42	3,11	2,29	0,89	0,27	0,36	2,71	6,91
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
gl	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Chi ² teo.	30,14	30,14	30,14	30,14	30,14	30,14	30,14	30,14	30,14	30,14

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir da tabela pode-se analisar que os valores referentes ao Chi²cal. Foram menores que o Chi²teo. obedecendo a hipótese nula aceita, dessa forma, é possível concluir que os valores teóricos e os valores observado são iguais.

Com a Tabela 16, foi possível obter o Gráfico 6 com as novas curvas IDF's pela equação de chuva.

Gráfico 6: Curvas IDF's pela equação de chuva

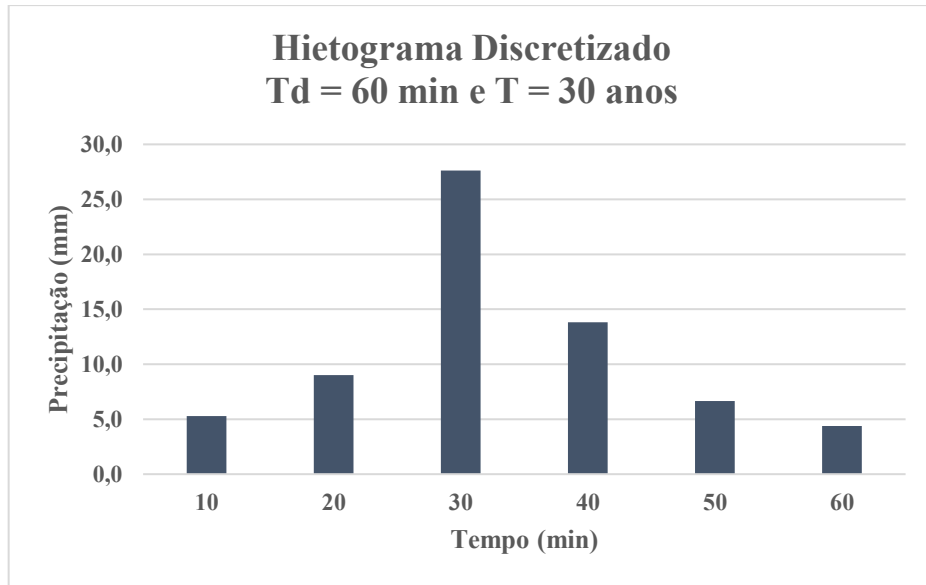
Fonte: Autoria própria (2022).

5.4 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL

Para a determinação da distribuição temporal feita pelo método dos Blocos Alternados foi desenvolvido as tabelas 39 a 41 do APÊNDICE B – Memória de Cálculo pelo Método dos Blocos Alternados, as tabelas apresentam diferentes possibilidades para que seja escolhido a mais apropriada.

A partir das tabelas, desenvolveu-se os hietogramas para cada cenário, a fim de apresentar os dados de maneira mais concisa (Gráficos 7 ao 18).

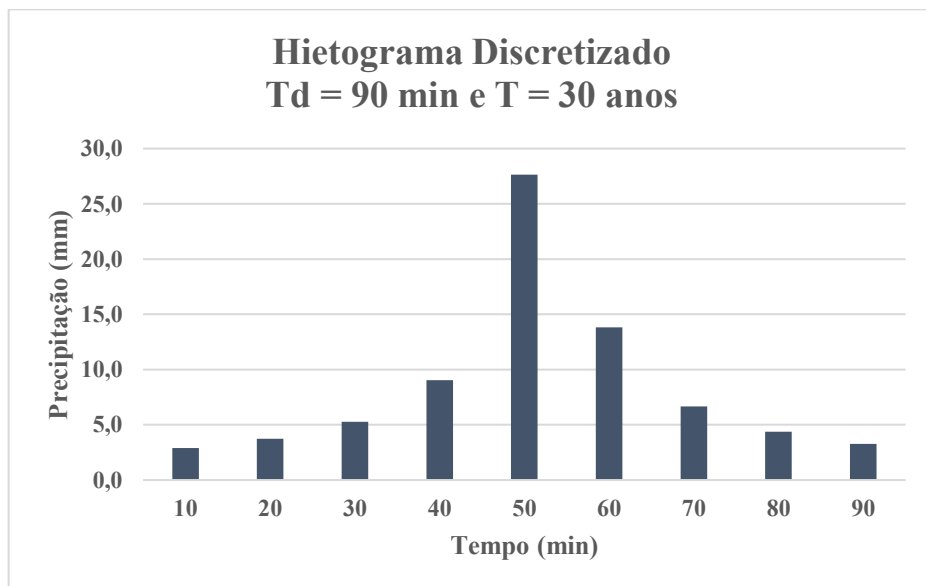
Gráfico 7: Hietograma para $t = 60$ min e $T = 30$ anos



Fonte: Autoria própria (2022).

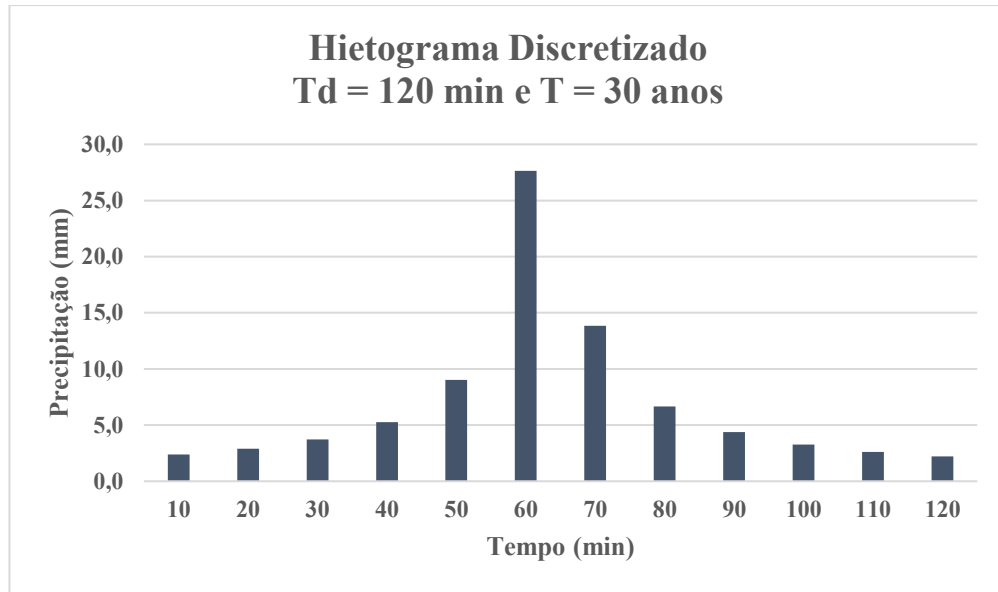
A partir do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 27,60 mm aos 30 minutos de duração.

Gráfico 8: Hietograma para $t = 90$ min e $T = 30$ anos



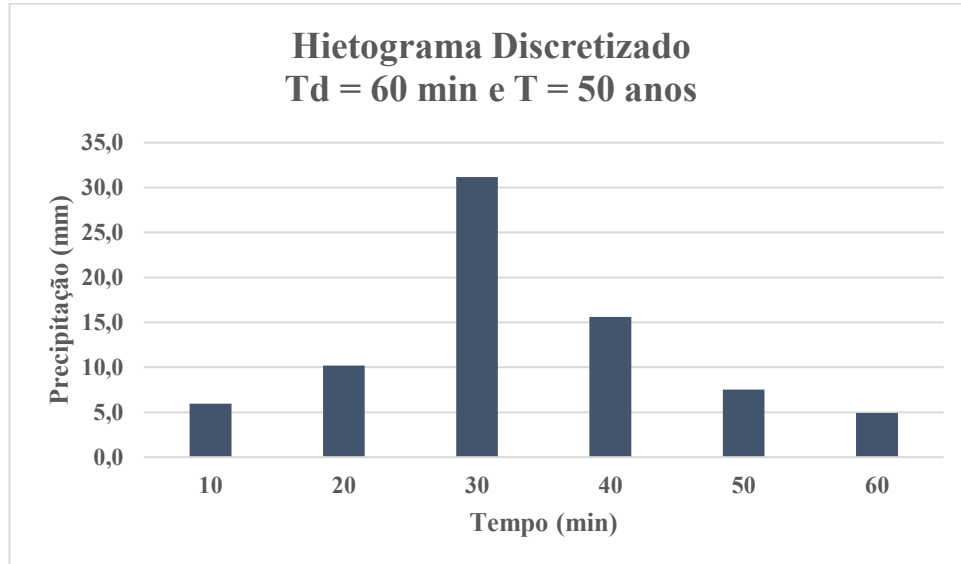
Fonte: Autoria própria (2022).

Através do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 27,60 mm aos 50 minutos de duração.

Gráfico 9: Hietograma para $t = 120$ min e $T = 30$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

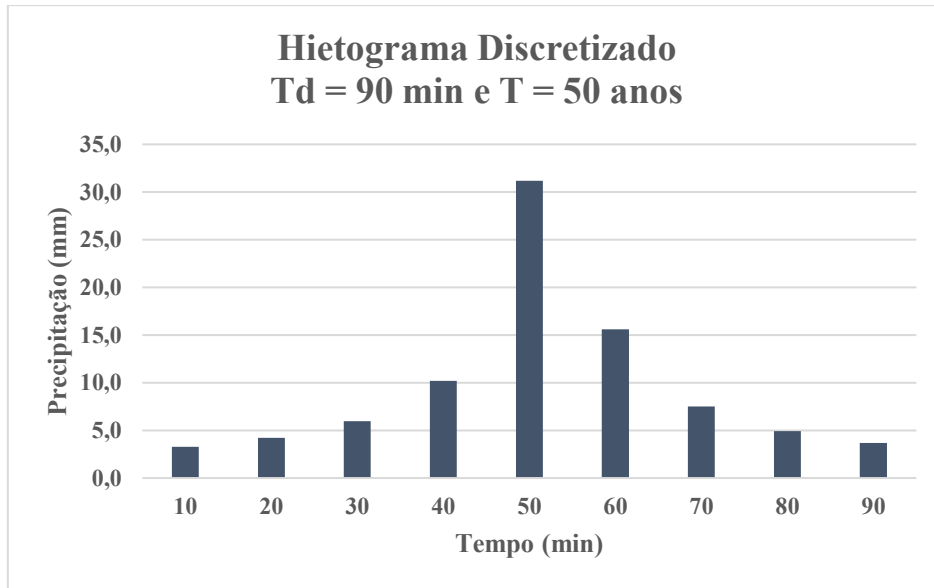
Segundo o hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 27,60 mm aos 60 minutos de duração.

Gráfico 10: Hietograma para $t = 60$ min e $T = 50$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

Através do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 31,20 mm aos 30 minutos de duração.

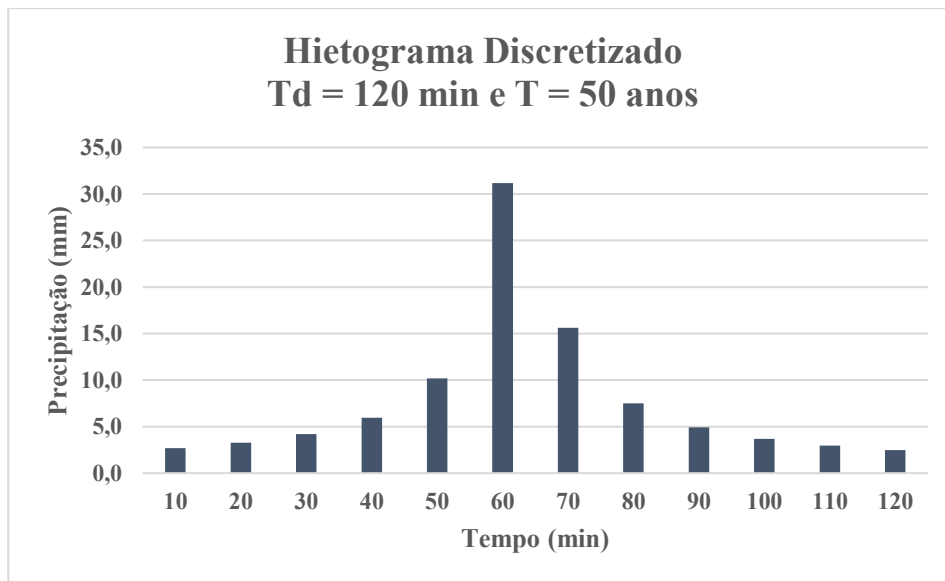
Gráfico 11: Hietograma para $t = 90$ min e $T = 50$ anos



Fonte: Autoria própria (2022).

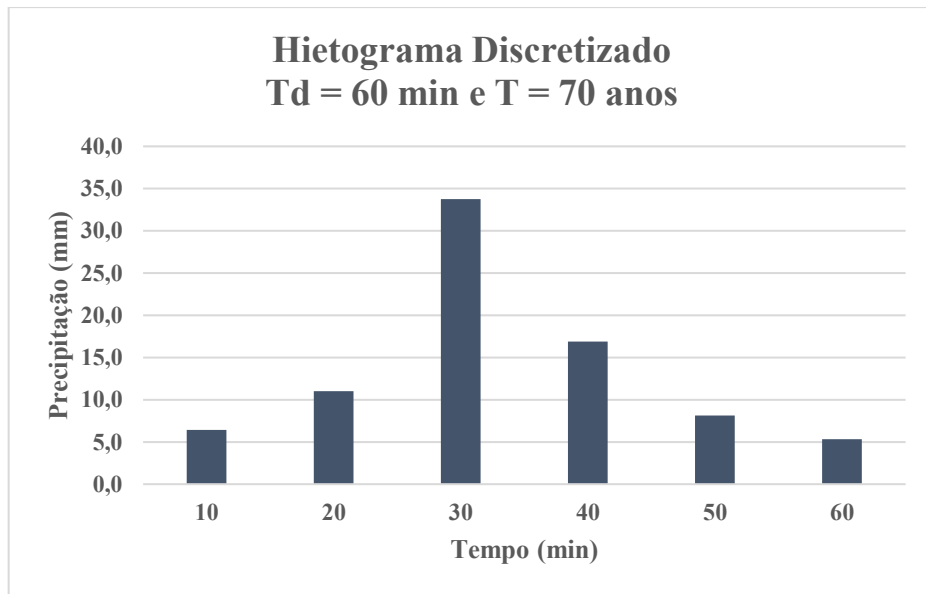
Segundo o hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 31,20 mm aos 50 minutos de duração.

Gráfico 12: Hietograma para $t = 120$ min e $T = 50$ anos



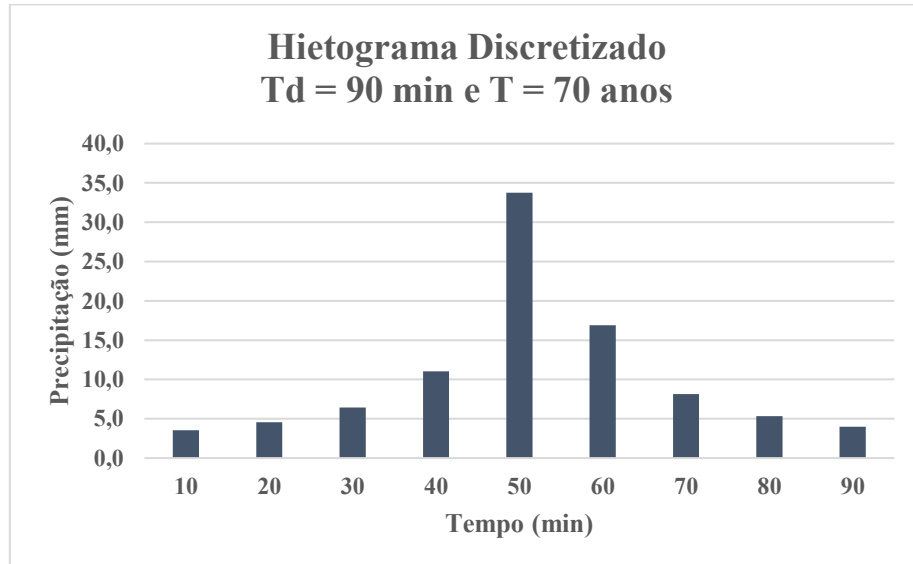
Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 31,20 mm aos 60 minutos de duração.

Gráfico 13: Hietograma para $t = 60$ min e $T = 70$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

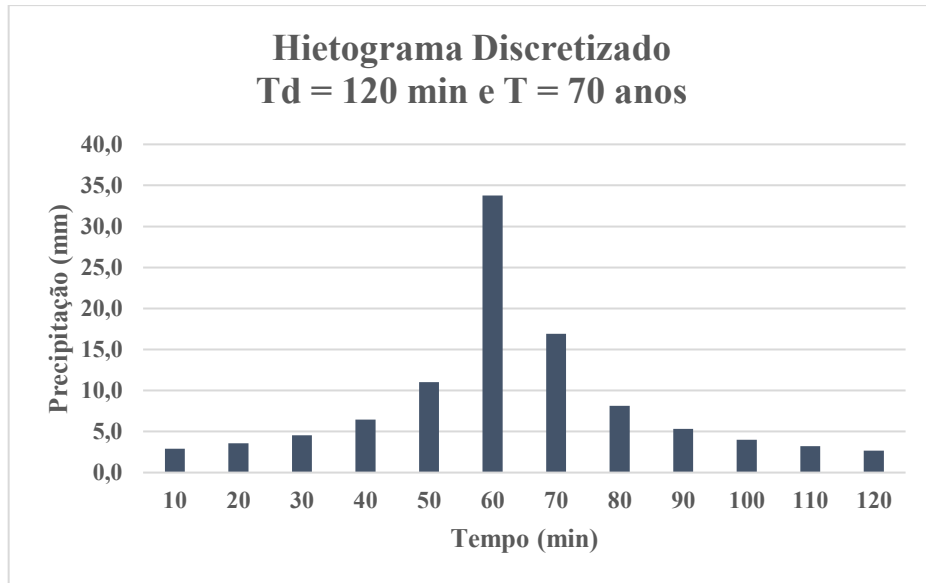
Segundo o hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 33,80 mm aos 30 minutos de duração.

Gráfico 14: Hietograma para $t = 90$ min e $T = 70$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 33,80 mm aos 50 minutos de duração.

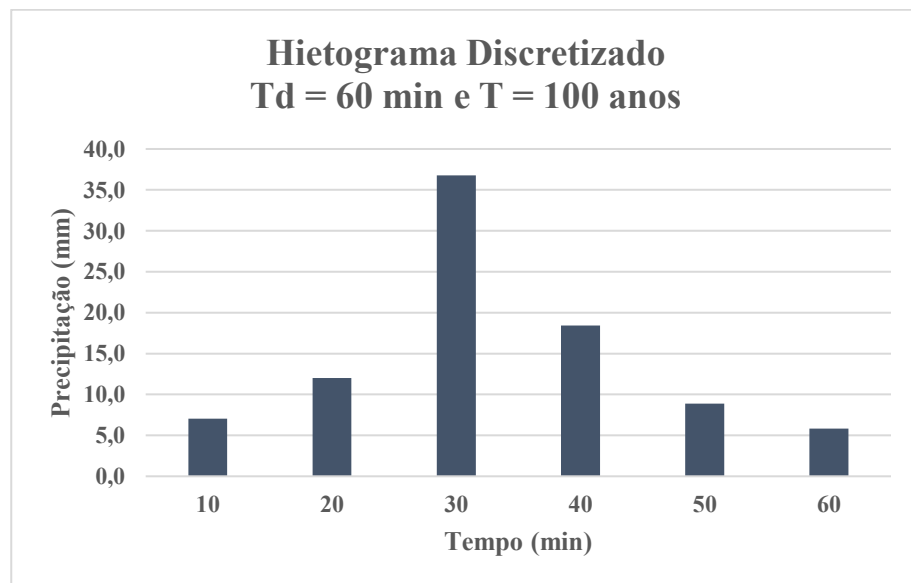
Gráfico 15: Hietograma para $t = 120$ min e $T = 70$ anos



Fonte: Autoria própria (2022).

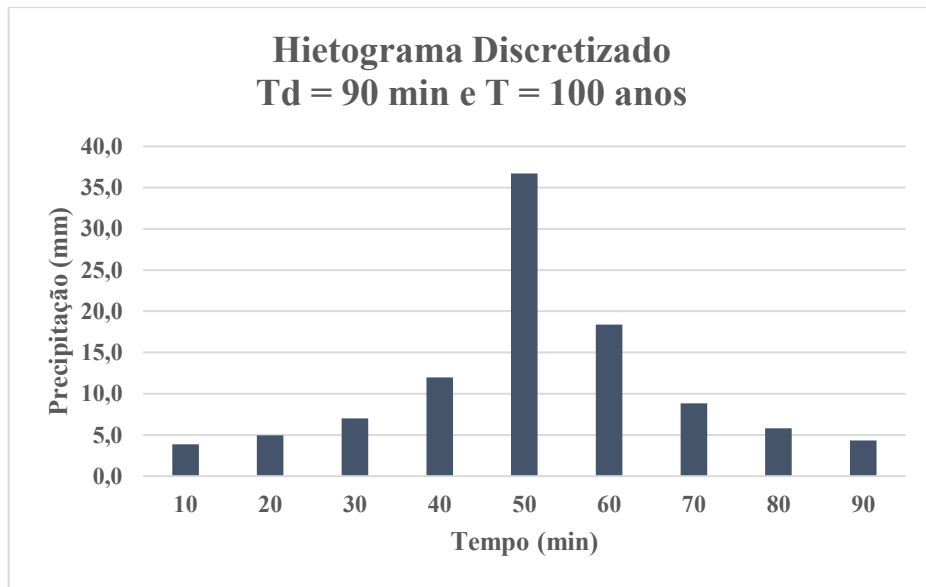
Através do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 33,80 mm aos 60 minutos de duração.

Gráfico 16: Hietograma para $t = 60$ min e $T = 100$ anos



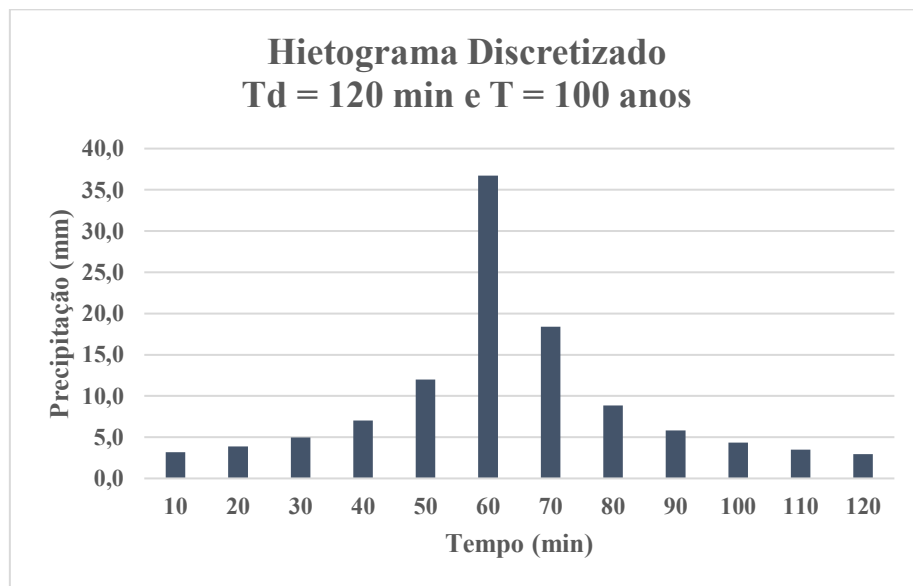
Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 36,80 mm aos 30 minutos de duração.

Gráfico 17: Hietograma para $t = 90$ min e $T = 100$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

Segundo o hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 36,80 mm aos 50 minutos de duração.

Gráfico 18: Hietograma para $t = 120$ min e $T = 100$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

Através do hietograma discretizado é possível analisar que o mesmo apresentou o pico de 36,80 mm aos 60 minutos de duração.

A partir da distribuição temporal é possível afirmar que:

- O pico de uma chuva com mesma duração aumenta à medida que o período de retorno é maior;

- Para um mesmo período de retorno e diferentes durações, o valor do pico da chuva permanece constante mudando de posição em relação à duração.

5.5 DECLIVIDADE DO TALVEGUE PRINCIPAL

Para a determinação da declividade do talvegue principal é preciso ter os seguintes dados:

- Cota máxima: 264 metros;
- Cota mínima: 227 metros;
- Comprimento do talvegue principal: 8424 metros.

De posse desses dados, utilizou-se a Equação 16.

$$S = \frac{264 - 227}{8424} = 0,00439 \text{ m/m}$$

Portanto a declividade do talvegue principal é de 0,00439 m/m ou 0,439 %.

5.6 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA

Para a determinação do tempo de concentração da bacia é necessário dispor das informações a seguir.

- Área da bacia: 11,464 km²;
- Área impermeável: 2,4 km²;
- Comprimento do talvegue principal: 8,424 km;
- Declividade do talvegue principal: 0,00439 m/m.

Para a definição da área impermeável pegou-se a área urbanizada definida a partir do MAPBIOMAS e a separou por polígonos a partir do software QGIS 3.4.1, demonstrando as áreas correspondentes a edificações e pavimentos, o que resultou em uma área impermeável de 2,4 km², aproximadamente 50% da área urbanizada.

Dessa forma, aplicou-se as equações do tópico 4.11 e obteve os seguintes resultados (Tabela 18).

Tabela 18: Tempos de Concentração

Método	Tc	Unidade
Carter	1,79	horas
	107,29	minutos
Schaake et al.	0,26	horas
	15,7	minutos
Desbordes	0,98	horas
	58,95	minutos
Tc médio	15,92	horas
	60,65	minutos

Fonte: Autoria própria (2022).

O valor do tempo de concentração adotado foi de 61 minutos, valor arredondado do tempo de concentração médio.

5.7 CÁLCULO DO COEFICIENTE CURVER NUMBER, CN

A ferramenta MAPBIOMAS faz a classificação do tipo de solo de acordo com as áreas, portanto, de posse dessas informações é possível obter um CN para cada área. Utilizando as Tabelas 3 e 4 determinou-se os valores de CN para cada região e fez-se o produto com a porcentagem dessa determinada área. Por fim, fez-se a média ponderada com esses valores e determinou um CN_{médio} para a bacia de 82 (Tabela 19).

Tabela 19: Coeficiente Curver Number – CN

Uso do solo	Área (km ²)	Tipo de solo	CN	Área (%)	CN X Área
4 - Formação Savânica	2,348	C	70	20,55	14,39
12 - Formação Campestre	0,091	C	77	0,80	0,61
15 - Pastagem	1,751	C	74	15,33	11,34
21 - Zonas Cultivadas	2,218	C	78	19,42	15,14
24 - Área Urbanizada	4,942	D	92	43,26	39,80
25 - Zonas Florestais	0,0005	C	77	0,00	0,00
33 - Rio	0,073	C	100	0,64	0,64
	11,4235			CN _{Médio}	82

Fonte: Autoria própria (2022).

5.8 MÉTODO SCS-HUS – VAZÃO DE PROJETO

Para determinar a vazão de projeto pelo Método SCS-HUS é preciso ter os seguintes dados:

- Área da bacia: 11,464 km²;
- Tempo de concentração: 61 minutos;
- Períodos de retorno: 30, 50, 70 e 100 anos;
- Duração: 60, 90 e 120 minutos;
- O coeficiente curva número: 82;
- Discretização da chuva: 10 minutos;
- Chuva unitária: 1 mm;
- Duração da chuva unitária: 10 minutos.

De posse dos dados, calcula-se o tempo de pico, tempo de base e a vazão de pico a partir das Equações 22, 23 e 24 (Tabela 20).

Tabela 20: Resultados do tempo de pico, tempo de base e vazão de pico

Resultados	
Tp (min)	41,39
tb (min)	110,52
Qp (m ³ /s)	3,46

Fonte: Autoria própria (2022).

Fazendo o ajuste dos valores do tempo de pico, tempo de base em múltiplos de 10, tem-se os novos resultados para os parâmetros (Tabela 21).

Tabela 21: Resultados do tempo de pico, tempo de base e vazão de pico, ajustados

Considerando	
Tp (min)	50,00
tb (min)	120,00
Qp (m ³ /s)	3,18

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos valores ajustados produziu-se o hietograma com as seguintes equações das retas (Quadro 2).

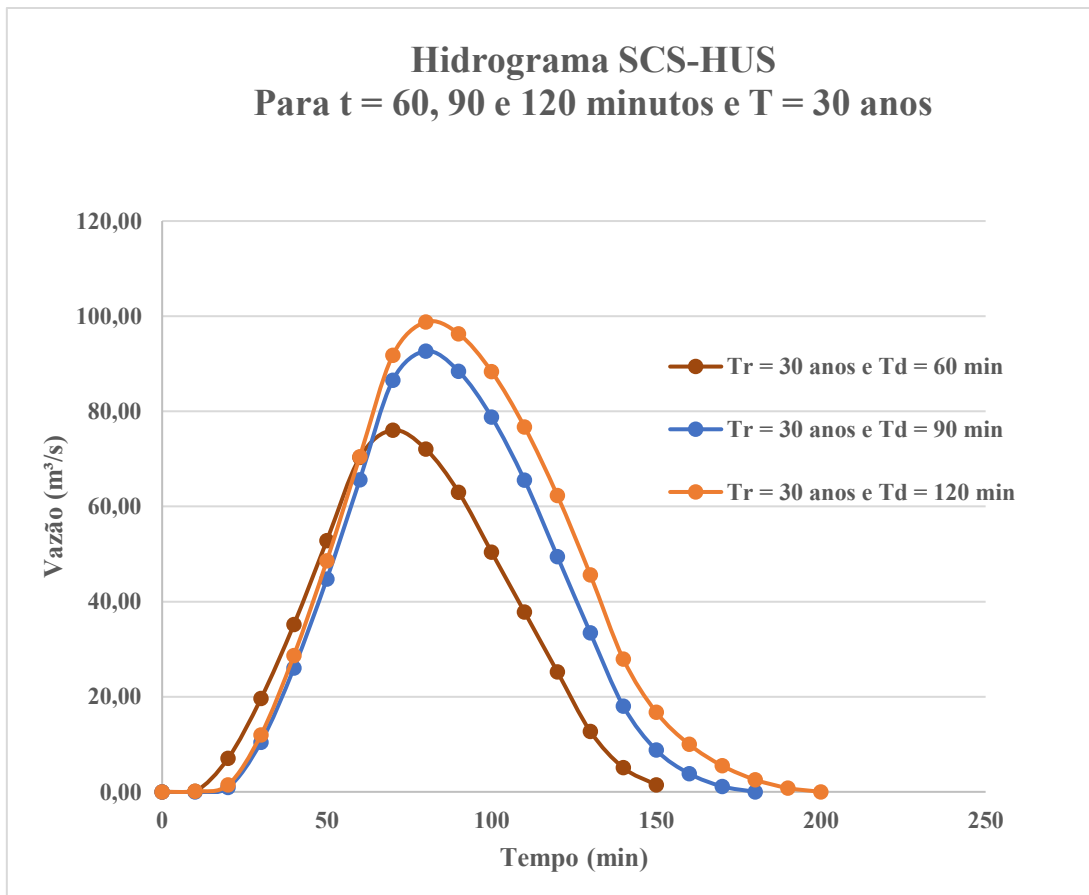
Quadro 2: Equações das retas - Método SCS-HUS

$y = 0,0637x + 4E-16$ $R^2=1$	$y = -0,0455x + 5,459$ $R^2=1$
----------------------------------	-----------------------------------

Fonte: Autoria própria (2022).

Com todos esses dados determinados, pode-se proceder com o método, onde desenvolveu-se as tabelas 42 a 57 do APÊNDICE D – Memória de Cálculo do Método SCS-HUS. Dessa forma, produziu-se os hidrogramas (Gráficos 19 a 22) para cada cenário, retratando o valor da vazão de projeto.

Gráfico 19: Hidrograma SCS-HUS – $t = 60, 90$ e 120 minutos e $T = 30$ anos



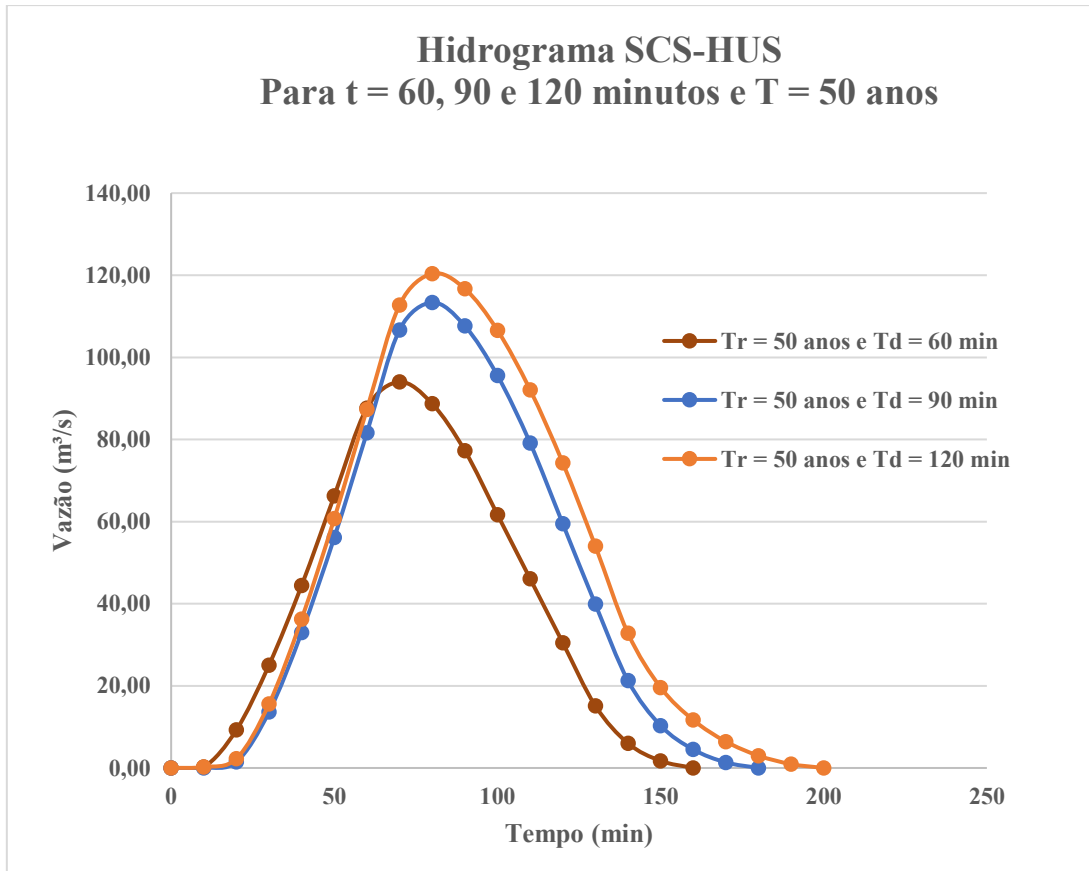
Fonte: Autoria própria (2022).

Com o Gráfico 19 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 30 anos (Tabela 22).

Tabela 22: Vazões de pico SCS-HUS - $Tr = 30$ anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m³/s)
60	30	76,03
90	30	92,66
120	30	98,78

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 20: Hidrograma SCS-HUS – $t = 60, 90$ e 120 minutos e $T = 50$ anos

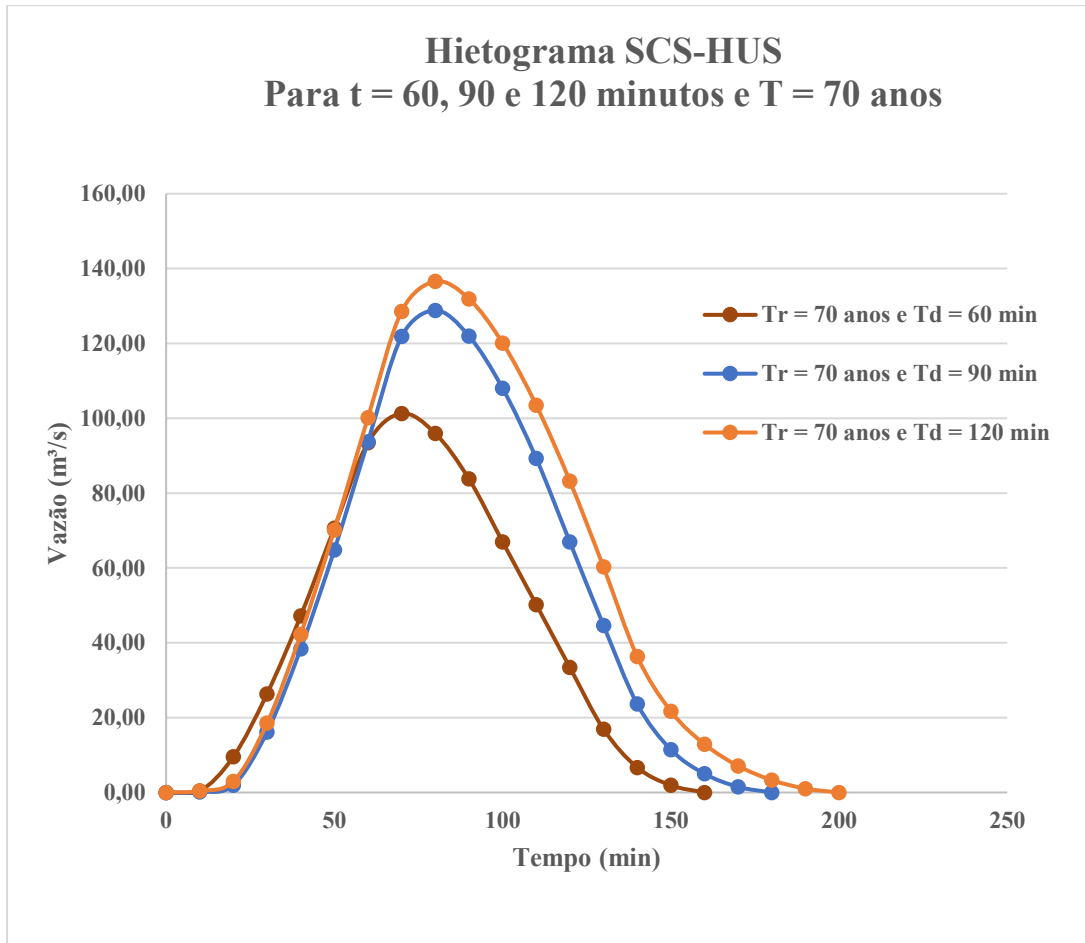
Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do Gráfico 20 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 50 anos (Tabela 23).

Tabela 23: Vazões de pico SCS-HUS - $Tr = 50$ anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m^3/s)
60	50	94,01
90	50	113,37
120	50	120,39

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 21: Hidrograma SCS-HUS – $t = 60, 90$ e 120 minutos e $T = 70$ anos

Fonte: Autoria própria (2022).

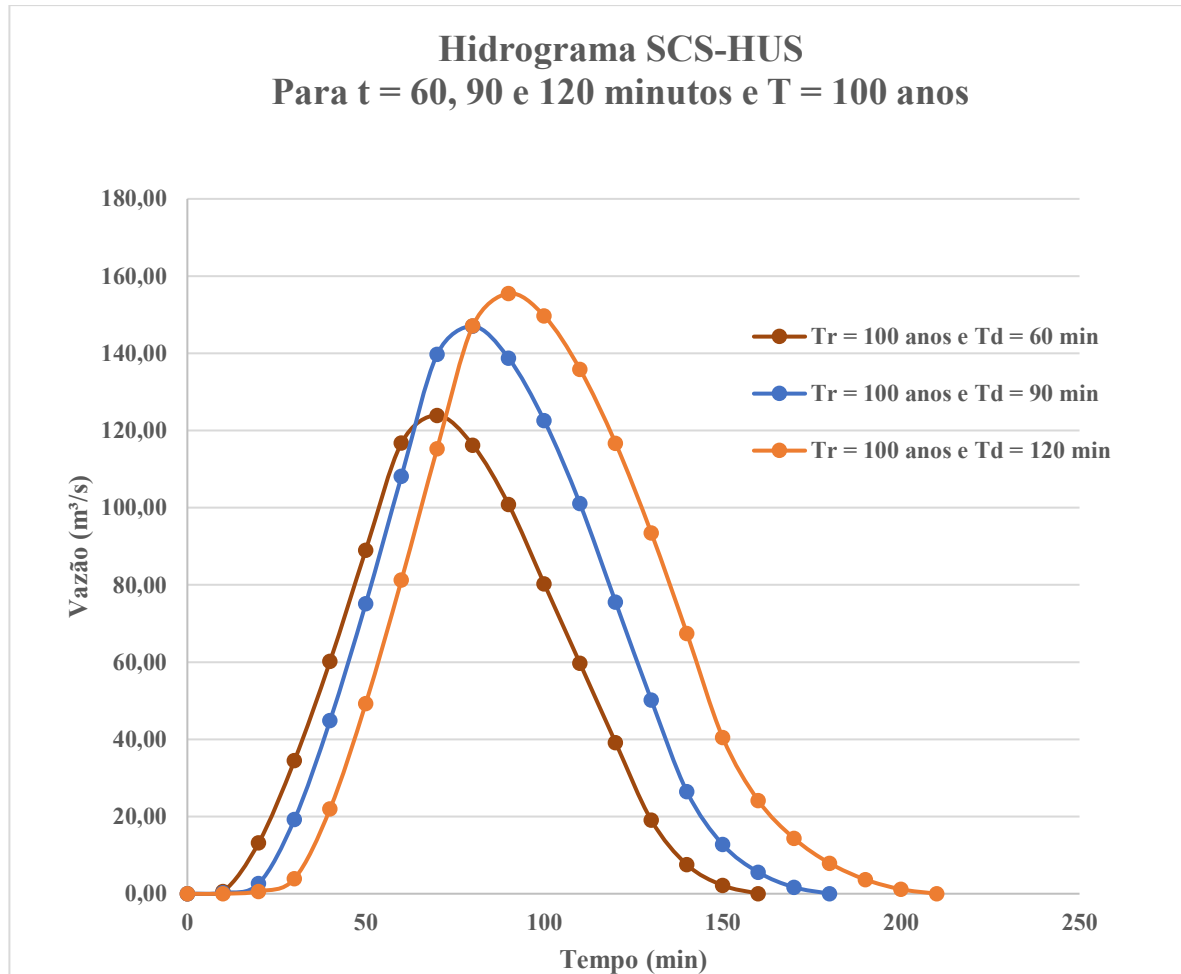
Com o Gráfico 21 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 70 anos (Tabela 24).

Tabela 24: Vazões de pico SCS-HUS - $Tr = 70$ anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m ³ /s)
60	70	101,28
90	70	128,85
120	70	136,57

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 22: Hidrograma SCS-HUS – t = 60, 90 e 120 minutos e T = 100 anos



Fonte: Autoria própria (2022).

Com o Gráfico 22 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 100 anos (Tabela 25).

Tabela 25: Vazões de pico SCS-HUS - Tr = 100 anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m³/s)
60	100	123,91
90	100	147,02
120	100	155,49

Fonte: Autoria própria (2022).

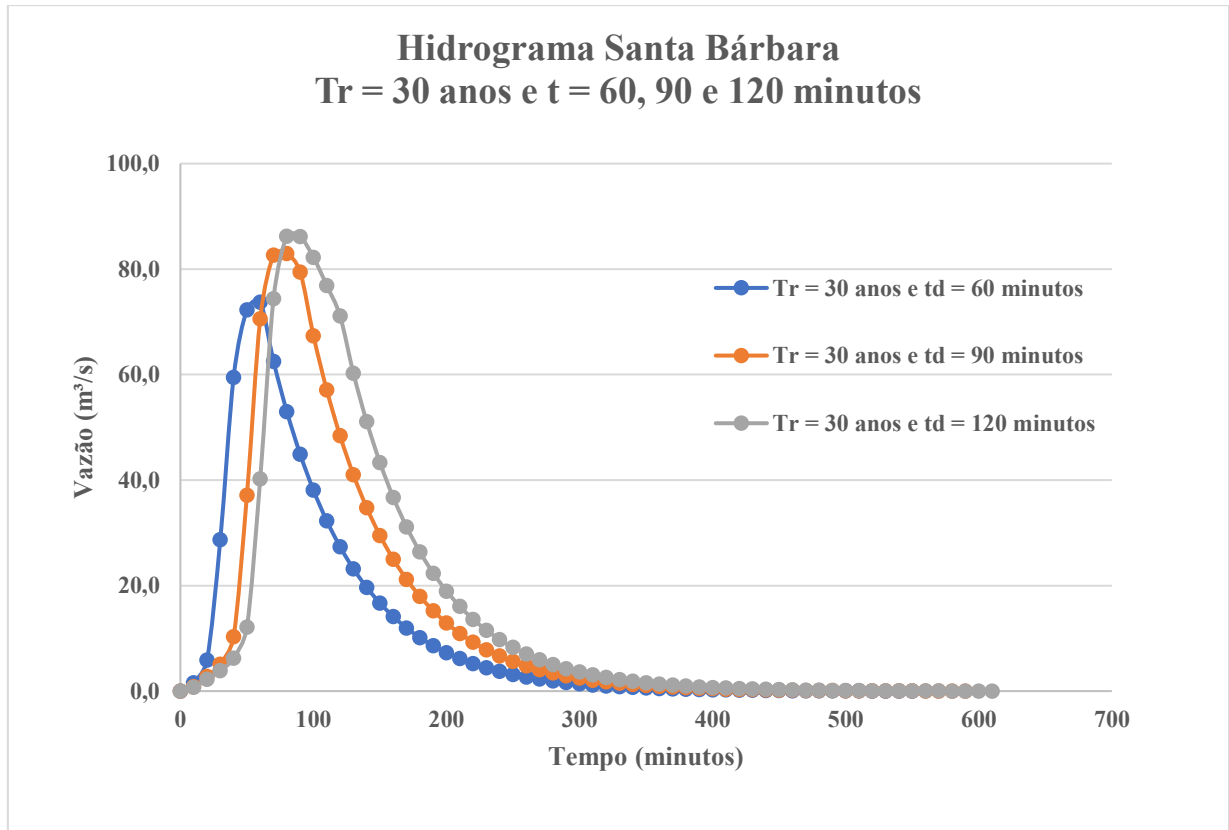
A partir dos hidrogramas e as tabelas desenvolvidas pode-se concluir que, para um mesmo período de retorno, a vazão de pico aumenta à medida que a duração de chuva aumenta, e para uma mesma duração, a vazão de pico aumenta à medida que o período de retorno aumenta.

5.9 MÉTODO SANTA BÁRBARA – VAZÃO DE PROJETO

Para determinar a vazão de projeto pelo Método Santa Bárbara é necessário ter os dados a seguir:

- Área da Bacia: 11,464 km²;
- Área impermeável: 2,4 km²;
- A fração da área impermeável, d : 0,209;
- Tempo de concentração: 61 minutos;
- Períodos de retorno: 30, 50, 70 e 100 anos;
- Duração: 60, 90 e 120 minutos;
- O intervalo de tempo: 600 segundos;
- O coeficiente curva número, CN: 82;
- O coeficiente de retardo: 0,0762;
- Capacidade de Armazenamento, S: 56,01 mm;
- Perdas iniciais: 11,20 mm.

De posse desses dados, pode-se proceder com o método, onde desenvolveu-se as tabelas 58 à 69 do APÊNDICE E – Memória de Cálculo do Método Santa Bárbara. Dessa forma, produziu-se os hidrogramas (Gráficos 23 a 26) para cada cenário, retratando o valor da vazão de projeto.

Gráfico 23: Hidrograma Santa Bárbara - T = 30 anos e t = 60, 90 e 120 minutos

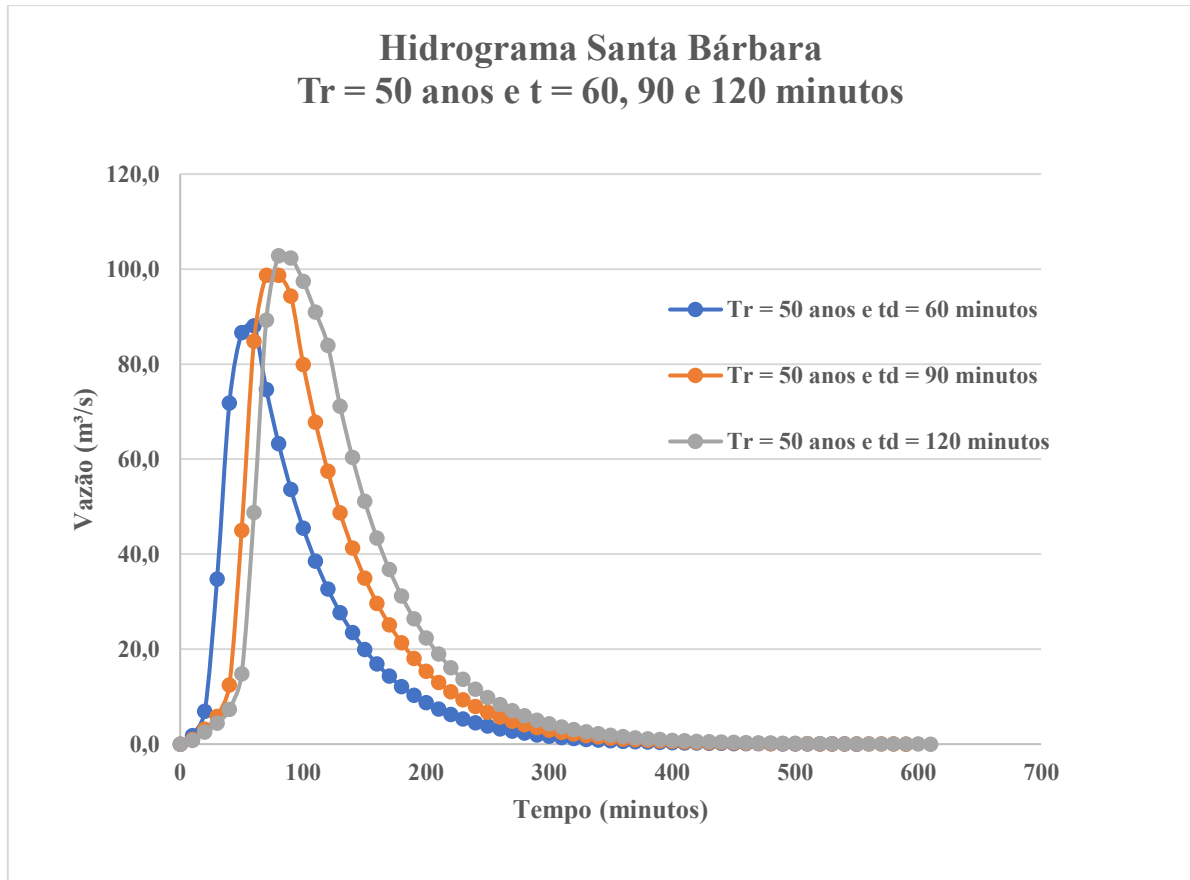
Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do Gráfico 23 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 30 anos (Tabela 26).

Tabela 26: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 30 anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m ³ /s)
60	30	73,77
90	30	83,00
120	30	86,26

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 24: Hidrograma Santa Bárbara - T = 50 anos e t = 60, 90 e 120 minutos

Fonte: Autoria própria (2022).

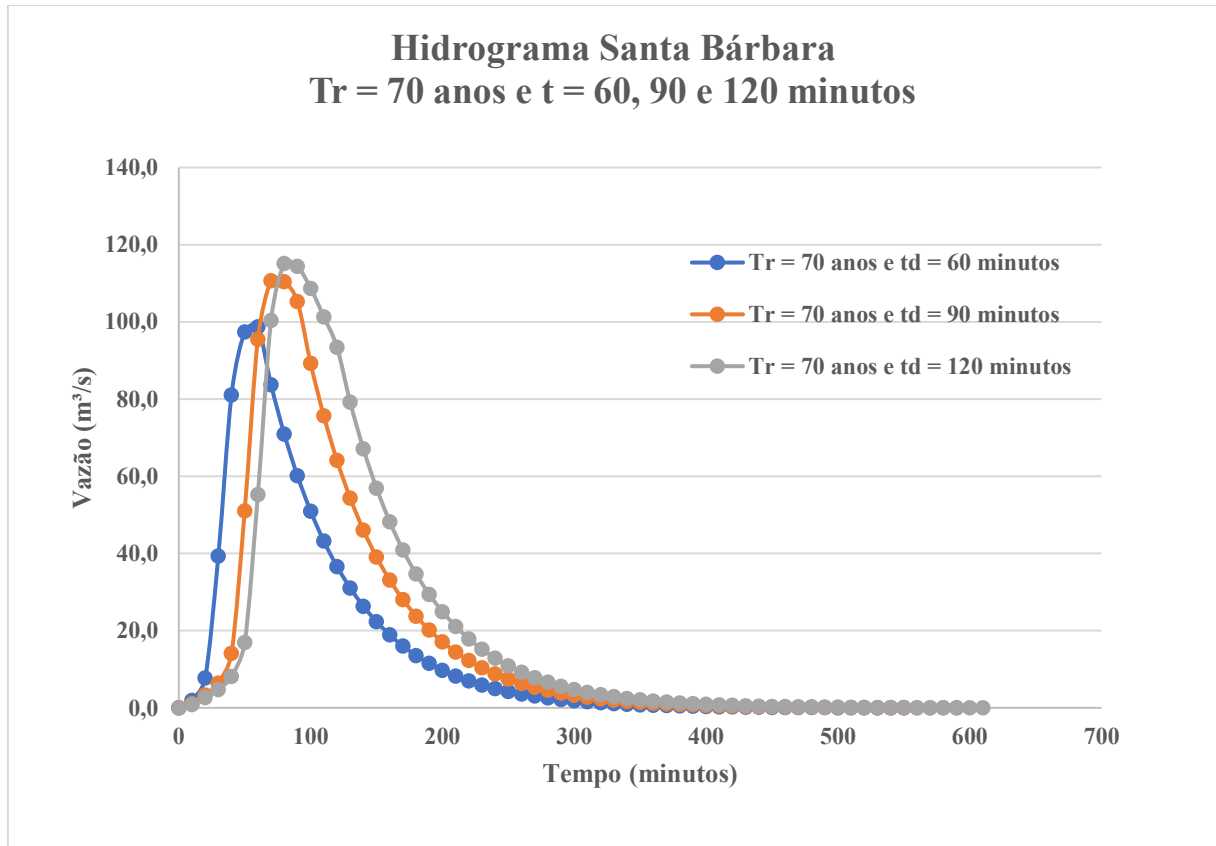
A partir do Gráfico 24 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 50 anos (Tabela 27).

Tabela 27: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 50 anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m ³ /s)
60	50	88,07
90	50	98,73
120	50	102,83

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 25: Hidrograma Santa Bárbara - T = 70 anos e t = 60, 90 e 120 minutos



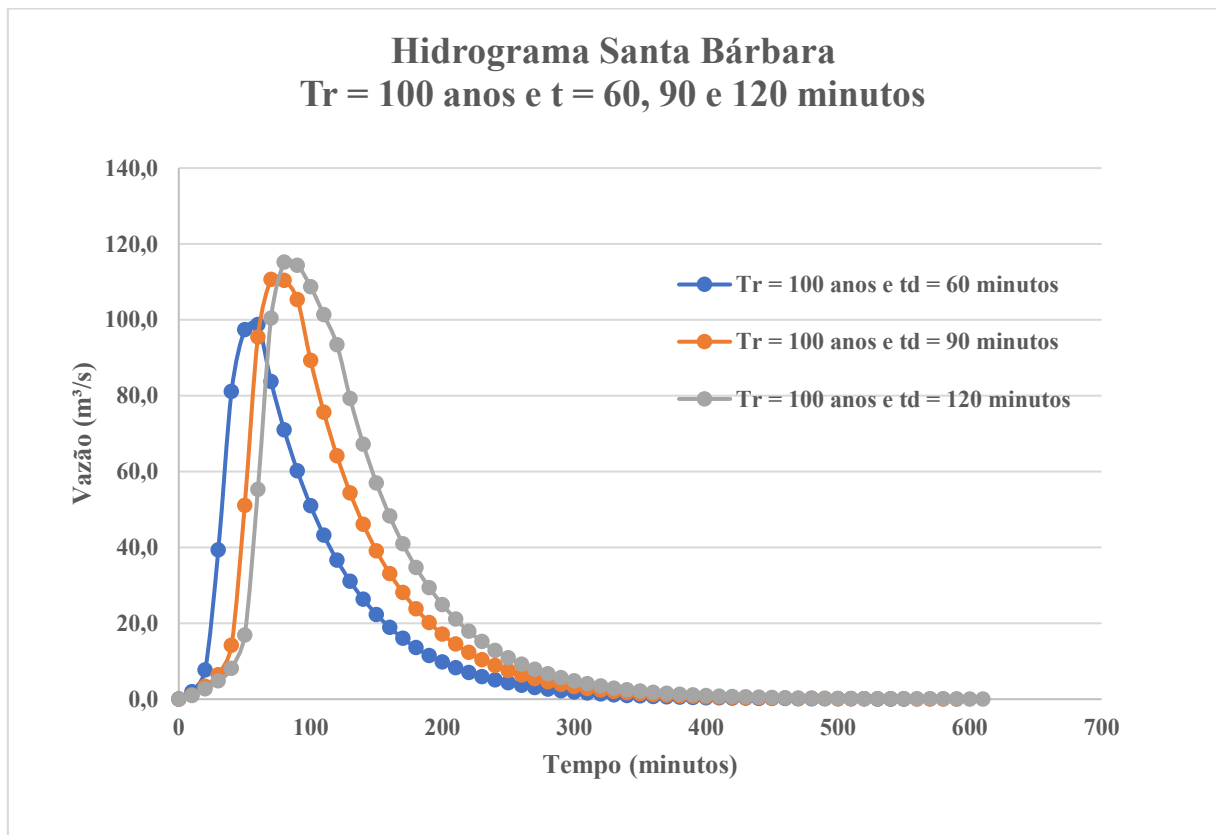
Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do Gráfico 25 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 70 anos (Tabela 28).

Tabela 28: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 70 anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m³/s)
60	70	98,73
90	70	110,65
120	70	115,16

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 26: Hidrograma Santa Bárbara - T = 100 anos e t = 60, 90 e 120 minutos

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir do Gráfico 26 foi possível retirar as vazões de pico correspondentes as durações de 60, 90 e 120 minutos no período de retorno de 100 anos (Tabela 29).

Tabela 29: Vazões de pico Santa Bárbara - Tr = 100 anos

T (min)	Tr (anos)	Qp (m ³ /s)
60	100	111,55
90	100	124,62
120	100	129,58

Fonte: Autoria própria (2022).

Desenvolvidos os hidrogramas e as tabelas, de maneira análoga ao método SCS-HUS, pode-se concluir que, para um mesmo período de retorno, a vazão de pico aumenta à medida que a duração de chuva aumenta, e para uma mesma duração, a vazão de pico aumenta à medida que o período de retorno aumenta.

5.10 DIMENSIONAMENTO DO CANAL

A partir dos estudos hidrológicos pode-se obter os parâmetros necessários para o dimensionamento do canal. Para tal, deve-se observar principalmente a vazão de projeto, que é a vazão calculada para o período de retorno e intensidade de chuva determinados no projeto e tipo de obra.

Embora o período de retorno seja definido em esferas políticas, a ausência dessa definição não será um empecilho para o dimensionamento, uma vez que a escolha do período de retorno ficará a critério exclusivo do projetista. Portanto, é possível utilizar os valores aceitos de maneira mais ou menos ampla pelos técnicos e que admitem consenso (Tabela 30).

Tabela 30: Períodos de retorno em função da ocupação da área

Tipo de obra	Tipo de ocupação	Período de retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Edifícios de serviços públicos	2-5
Microdrenagem	Aeroportos	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro-drenagem	Área de importância específica	500

Fonte: DAEE/CESTESB – SP.

Como a o Riacho do frango está inserido em uma bacia urbana, ou seja, com áreas comerciais e residenciais em seu entorno, para o dimensionamento utilizou-se períodos de retorno entre 50 e 100 anos.

Com o período de retorno determinado, definiu-se a intensidade de precipitação utilizada no dimensionamento, para tal, os seguintes critérios foram adotados:

- As precipitações escolhidas para o dimensionamento devem estar próximas a precipitação média da série histórica;
- Precipitações que ficarem abaixo da média da série histórica serão descartadas;
- Precipitações acima da série histórica ficará a critério do projetista pra sua utilização no dimensionamento.

Definidos os parâmetros, produziu-se a Tabela 31 com as intensidades para todos os períodos de retorno pra uma melhor análise.

Tabela 31: Análise das precipitações

Precipitações				
Duração (min)	Período de Retorno (anos)			
	30	50	70	100
60	66,79	75,35	81,59	88,95
90	51,13	57,69	62,46	67,95
120	41,96	47,34	51,26	55,76

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir da tabela observou-se que as precipitações para a duração de 60 minutos e períodos de retorno de 70 e 100 anos, podem ser utilizadas para o dimensionamento do canal, valendo destacar que estes períodos de retorno estão dentro dos anos estipulados pela Tabela 30 para dimensionamentos de obras de macrodrenagem. As precipitações na coloração vermelha ficaram abaixo da média da série histórica, 81,28 mm, dessa forma as mesmas foram descartadas.

Portanto, para o dimensionamento definiu-se a precipitação para um período de retorno de 70 anos e duração de 60 minutos, 81,59 mm. Valor que mais se aproximou com a média da série histórica do município.

5.10.1 Dimensionamento pelo Método SCS-HUS

Com os hidrogramas definidos para o método SCS-HUS desenvolveu-se a Tabela 32 a fim de determinar a vazão de projeto para o dimensionamento hidráulico.

Tabela 32: Análise das vazões de projeto pelo Método SCS-HUS

Vazões de Projeto				
Duração (min)	Período de Retorno (anos)			
	30	50	70	100
60	76,03	94,01	101,28	123,91
90	92,66	113,37	128,85	147,02
120	98,78	120,39	136,57	155,49

Fonte: Autoria própria (2022).

Optou-se por dimensionar o canal para uma vazão de 101,28 m³/s, uma vez que essa vazão segue a duração e o período de retorno utilizado na determinação da precipitação.

Feita as análises da precipitação e da vazão, separou-se todos os dados necessários para o dimensionamento hidráulico.

- Vazão de projeto: 101,28 m³/s;

- Canal revestido com concreto em condições regulares: coeficiente de rugosidade (n) de 0,016;
- Declividade: 0,00439 m/m;
- Forma geométrica: Retangular;
- $Z = 0$;
- Razão de aspecto (m) = 2.

De posse dessas informações, pode-se realizar o dimensionamento do canal, seguindo os procedimentos determinados no tópico 4.15 (Tabela 33).

Tabela 33: Dimensionamento do canal pelo Método HUS-SCS

n	0,0184
Q (m³/s)	101,28
I (m/m)	0,00439
M	3,49438
K	1,091
y₀ (m)	3,20291
m	2
b (m)	6,4
y (m)	3,8

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto tem-se 6,4 m de largura e 3,8 m de profundidade como dimensões do canal. Com isso, verificou-se se as mesmas atendem a média de velocidade (Tabela 34).

Tabela 34: Verificação da velocidade

Q (m³/s)	101,28
A (m²)	24,32
V (m/s)	4,16

Fonte: Autoria própria (2022).

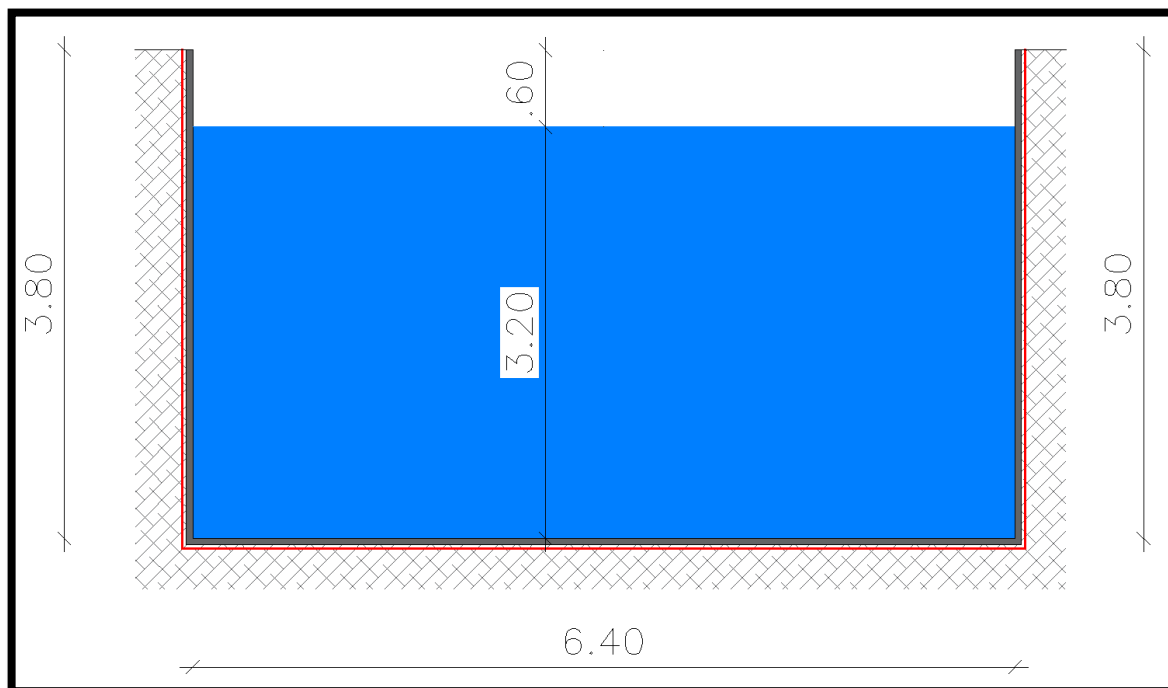
Conclui-se que a velocidade está dentro dos critérios estabelecidos pela Tabela 7, onde a velocidade para canal revestido com concreto deve ficar entre 4 e 6 m/s. Vale ressaltar, que a profundidade máxima para canais urbanos não deve ultrapassar 4 metros. Portanto, as dimensões para largura de fundo e profundidade são aceitas. A borda livre corresponde a 20% da altura d'água, portanto tem-se uma borda livre de 0,60 metros.

Dessa forma, tem-se o resultado obtidos das dimensões do canal:

- Largura: 6,40 metros;
- Profundidade: 3,80 metros;
- Altura da lâmina d'água: 3,20 metros;
- Borda livre: 0,60 metros.

Com as dimensões dimensionadas representou-se a seção transversal do canal (Figura 16).

Figura 16: Seção Transversal do Canal pelo Método SCS-HUS



Fonte: Autoria própria (2022).

5.10.2 Dimensionamento pelo Método Santa Bárbara

A partir dos hidrogramas definidos para o método Santa Bárbara desenvolveu-se a Tabela 35 a fim de determinar a vazão de projeto para o dimensionamento hidráulico.

Tabela 35: Análise das vazões de projeto pelo Método Santa Bárbara

Vazões de Projeto				
Duração (min)	Período de Retorno (anos)			
	30	50	70	100
60	73,77	88,07	98,73	111,55
90	83,00	98,73	110,65	124,62
120	86,26	102,83	115,16	129,58

Fonte: Autoria própria (2022).

Optou-se por dimensionar o canal para uma vazão de 98,73 m³/s, uma vez que essa vazão segue a duração e o período de retorno utilizado na determinação da precipitação.

Feita as análises da precipitação e da vazão, separou-se todos os dados necessários para o dimensionamento hidráulico.

- Vazão de projeto: 98,73 m³/s;

- Canal revestido com concreto em condições regulares: coeficiente de rugosidade (n) de 0,016;
- Declividade: 0,00439 m/m;
- Forma geométrica: Retangular;
- $Z = 0$;
- Razão de aspecto (m) = 2.

De posse dessas informações, pode-se realizar o dimensionamento do canal, seguindo os procedimentos determinados no tópico 4.15 (Tabela 36).

Tabela 36: Dimensionamento do canal pelo Método Santa Bárbara

n	0,0184
Q (m³/s)	98,73
I (m/m)	0,00439
M	3,46119
K	1,091
y₀ (m)	3,17249
m	2
b (m)	6,3
y (m)	3,8

Fonte: Autoria própria (2022).

Portanto as tem-se 6,3 m de largura e 3,8 m de profundidade como dimensões do canal. Com isso, verificou-se se as mesmas atendem a média de velocidade (Tabela 37).

Tabela 37: Verificação da velocidade

Q (m³/s)	98,73
A (m²)	24,32
V (m/s)	4,06

Fonte: Autoria própria (2022).

Conclui-se que a velocidade está dentro dos critérios estabelecidos pela Tabela 7, onde a velocidade para canal revestido com concreto deve ficar entre 4 e 6 m/s. Vale ressaltar, que a profundidade máxima para canais urbanos não deve ultrapassar 4 metros. Portanto, as dimensões para largura de fundo e profundidade são aceitas. A borda livre corresponde a 20% da altura d'água, portanto tem-se uma borda livre de 0,63 cm.

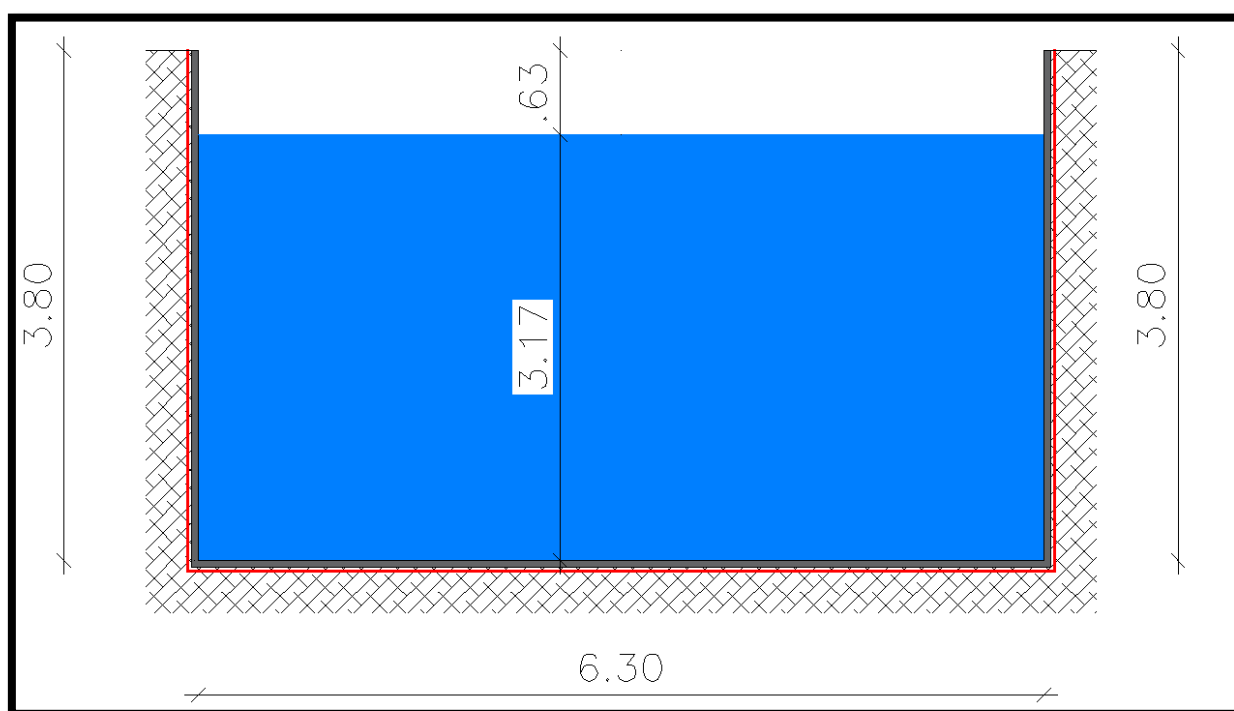
Dessa forma, tem-se os resultados obtidos das dimensões do canal:

- Largura: 6,3 metros;
- Profundidade: 3,8 metros;

- Altura da lâmina d'água: 3,17 metros;
- Borda livre: 0,63 metros.

Com as dimensões dimensionadas representou-se a seção transversal do canal (Figura 17).

Figura 17: Seção Transversal do Canal pelo Método Santa Bárbara



Fonte: Autoria própria (2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou grande importância para a caracterização hidrológica da bacia hidrográfica do riacho do Frango, no município de Patos-PB, reunindo dados físicos que permitem o maior conhecimento sobre os fatores que influenciam no ciclo hidrológico como a área da bacia, uso e ocupação do solo, CN, declividade e outros parâmetros.

Além dos dados físicos, foi possível determinar o tempo de concentração da bacia e a equação de chuva da região. A equação de chuva foi determinada a partir da série histórica dos dados pluviométricos do município, onde, utilizou-se, o método da distribuição de Gumbel para produzi-la. A partir deste método, desenvolveu-se a equação de chuva que trouxe resultados concisos, representando bem a realidade local. O que se pode comprovar através do teste qui-quadrado, com dados satisfatórios. Dessa forma, foi possível fazer o uso das relações IDF definidas para o município.

Com isso, pode-se gerar os hidrogramas de cheia utilizando a distribuição temporal de chuva de projeto pelo método dos blocos alternados. A análise demonstrou uma homogeneidade na distribuição temporal para diferentes durações de chuva, sendo que existe uma tendência muito semelhante na distribuição dos volumes ao longo da duração. O uso de métodos que geram resultados mais críticos, como o método dos blocos alternados, pode ser útil para o dimensionamento de projetos de grandes bacias hidrográficas, como é o caso da bacia do Riacho do Frango.

Através da modelagem hidrológica, realizada pelos métodos Hidrograma Unitário Sintético- SCS e o Hidrograma Unitário de Santa Bárbara (HUSB), foi possível determinar vazões máximas para diferentes durações e períodos de retorno. Em seguida, fez-se a análise referente as precipitações e as vazões encontradas pelos métodos e determinou o melhor cenário para a realização do dimensionamento do canal.

Embora a bacia apresente uma grande parcela de área permeável, as vazões de pico demonstraram-se altas. Uma possível explicação, para tal, é que devido a área total da bacia ser extensa, a mesma tem uma grande contribuição de volumes de água, portanto, quanto maior a área da bacia, maior será o pico do hidrograma.

Com isso, os resultados de dimensionamento obtidos através das vazões solicitantes determinadas pelos dois métodos, Hidrograma Unitário Sintético-SCS e o Hidrograma Unitário de Santa Bárbara (HUSB), demonstraram-se concisos e satisfatórios, visto que, ambos apresentaram dimensões bastante semelhantes. A partir desses dimensionamentos, o

canal suportará ao escoamento de base e uma vazão solicitante para uma chuva crítica de 60 minutos de duração e 70 anos de período de retorno.

Destaca-se que, o dimensionamento realizado pelos dois métodos foi para o ponto mais crítico da bacia, ou seja, as dimensões podem variar em outras regiões ao longo da extensão do canal. Isso irá depender de condições e fatores locais que venham a atender exigências pré-estabelecidas. A seção dimensionada apresenta condições mínimas de perímetro buscando um menor custo com o revestimento do canal.

Durante toda a pesquisa, a partir da análise de artigos, livros, leis e outros documentos, ficou evidenciado o crescente processo de urbanização da cidade de Patos-PB. Desta forma, é de extrema necessidade para o município e para o seu posterior crescimento, prosperidade e para população, que se tenha um sistema de drenagem eficiente. Por gerar segurança, maior qualidade de vida e ajudar na diminuição da propagação de doenças por vinculação hídrica, resultando na valorização de áreas e imóveis, como também livrando-se de transtornos, evitando futuros alagamentos e posteriores inundações.

Como todas as cidades de grande, médio e pequeno porte necessitam de um sistema de drenagem urbana, na cidade de Patos-PB essa necessidade não seria diferente, posterior à análise constatou a situação em que se encontra o sistema existente na cidade. Do mesmo modo, que foi avaliado a sua eficiência constatou-se os impactos que sua ineficiência gera para a população.

Conclui-se que a cidade de Patos-PB é carente de sistema de drenagem de qualidade, e que opere com eficiência sem trazer transtornos à população, nem tampouco prejuízos, como alagamentos. Ademais, ficou evidente que o sistema que existe na cidade atua de maneira ineficiente, resultando em alagamentos que trazem prejuízos financeiros e ao bem estar da população. Faz-se necessário uma readequação no canal já existente, para que esse sistema venha a operar com eficiência e assim consiga reduzir a ocorrência de alagamentos durante fortes chuvas, tendo em vista impacto positivo na qualidade de vida da população, como também no crescimento e na valorização da cidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, M. A. 2013. **Efeito da mudança do uso do solo no escoamento de uma bacia urbana: estudo de caso da bacia do Riacho do Sapo**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL.
- MARTINS, C. M. TAVARES. **Hidrologia Urbana: Conceitos básicos**. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos Universidade de Coimbra. ed. Lisboa: [s.n.], 2010. 181 p. v. 1. Disponível em: <https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ersar_hidrologia_urbana_conceitos_basicos_2010.pdf>. Acesso em: 4/10/2022.
- BARBOSA, F. D. A. D. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na Bacia do Rio Mamanguape - PB**. 2006. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal Paraiba – UFPB, João Pessoa - Paraiba, 2006.
- IBGE. **Cidades e Estados**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/pombal.html>> Acesso em: 12/10/2022.
- RAMOS, Carlos Lloret. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Lillian Satiko Murata. Ed, São Paulo: [s.n.],1999. 285 p. <http://www.fau.usp.br?docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 22/10/2022.
- ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005 .145 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia, Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5843/000521171.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2017. Acesso em: 02/11/2022.
- BEZERRA, A. M.; QUEIROZ NETO, M. L.; FLORÊNCIO, F. D. C.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA JUNIOR, P. L. **Drenagem Urbana de Águas Pluviais: Cenário Atual do Sistema da Cidade de Assú/RN**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande. nov. 2016.
- SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A. **Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano**. Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 21. n. 4. out/dez. 2016.

- MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI JÚNIOR, J. C.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L. **Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v. 6, n. 2, p. 35 - 47, 2012. ISSN 1981 - 8858
- STORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2004.
- LEAL, D. A.; MARTINS, L. C.; MATIAS, F. J. N.; MENDES, L. S.; CARVALHO, H. P. **DETERMINAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL**. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campo Grande. nov. 2017.
- TOMAZ, P. **Método do SCS**. Guarulhos 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo38.pdf>. Acesso em: 21/11/2022.
- TOMAZ, P. **Fórmula de Manning e canais**. Guarulhos, 2011. Disponível em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_canais/capitulo50.pdf>. Acesso em: 07/12/2022.
- TOMAZ, P. **Método Santa Bárbara**. Curso de Manejo de Águas Pluviais. cap. 24. nov. 2012.
- OLIVEIRA, V. S. M. **Dimensionamento De Canal Utilizando Como Modelo Chuva-Vazão O Método Santa Bárbara**. Universidade Federal De Campina Grande – UFCG. TCC – Pombal/PB, 2021.
- ARAUJO, D. K. L. **Avaliação Hidrológica E Estimativa De Vazão De Projeto Para Macrodrenagem Urbana**. Universidade Federal De Campina Grande – UFCG. TCC – Pombal/PB, 2021.
- CUNHA, S. F. et al. **Avaliação da Acurácia dos métodos do SCS para cálculo da Precipitação efetiva e Hidrogramas de Cheia**. RBRH, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 837 - 848, jun. 2015. ISSN 2318-0331.
- PORTO, Rodrigo Melo, **Hidráulica Básica**. 4ª. Edição. São Carlos: EESC/USP, 2006.
- BARRETO, H. B. F. et al. **Análise da precipitação máxima e relação intensidade-duração-frequência para Mossoró-RN**. ACTA IGUAZU, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 87 - 95, 2013. ISSN 2316-4093.
- COSTA, K. T. D. **Avaliação de distribuições de Probabilidades das Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Brasil**. 2014. 212f. Dissertação (Mestrado em Saneamento,

Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2014.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 10. n. 1. jan/mar. 2005.

DAEE/CETESB (1986). **Drenagem Urbana, Manual de Projeto**. 3ª. Edição, São Paulo (SP).

MAHUNGUANA, M. J.; BRAVO, J. M. **Avaliação do efeito de critérios de projeto no dimensionamento de redes de macrodrenagem através da simulação hidrológico-hidráulica**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 484 - 495, abr/jun 2015. ISSN 2318-0331.

ZIEAMANN, F. M.; PICKLERCHIMENE, R. T. **Diagnóstico Da Drenagem Urbana No Bairro Canasveiras: Estudos De Bacias Hidrográficas E Medidas De Controle**. Universidade Do Sul De Santa Catarina – UNISUL. TCC – Palhoça/SC, 2017.

PORTELA, M. M.; MARQUES, P.; CARVALHO, F. F. D. **Hietogramas de Projecto para a Análise de Cheias baseada no Modelo do Hidrograma Unitário do Soil Conservation Service (SCS)**. Actas do 5º Congresso de Água. Lisboa - Portugal: APRH. 2000. p. 1 - 17.

SANTOS, Luciana Cabral Costa. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. 2010. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

MOREIRA, Itamar Adilson. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FARIAS, K. S. **Análise Quantitativa De Macrodrenagem Urbana: Avaliação Da Capacidade De escoamento De Um Canal No Município De Delmiro Gouveia**. Universidade Federal De Alagoas – UFAL. TCC– Delmiro Gouveia/AL, 2017.

CHIMENE, C. A. **Cheia De Projeto: Equacionando Os Períodos de Retorno Obtidos De Cheia De Projeto Com Histogramas Sintéticos A Cheia De Projeto Obtido De Chuvas Observadas**. Universidade Federal Do Ceará – UFC. Tese de Doutorado – Fortaleza/CE, 2019.

GONTIJO, Nebai Tavares. **Avaliação das relações de frequência entre precipitação e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica**. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2007.

HIDROWEB. **Séries Históricas de Estações**. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas> > Acesso em: 15/10/2022.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias – Coleção [3.1] da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/map#coverage>>. Acesso em: 17/11/2022.

MONTEIRO, W. J. C. **A Construção Do Pensamento Geográfico A Partir Do Atlas Escolar Do Município De Patos-PB: Uma Proposta DE Mediação Para O Ensino Fundamental**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte – UFRN. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – Caicó/RN, 2020.

AESA. **Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba**. GEO PORTAL – MAPAS. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/mapas.html> >. Acesso em: 04/11/2022/

AESA. **Geomorfologia do Estado da Paraíba**. GEO PORTAL – MAPAS. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/mapas.html> >. Acesso em: 04/11/2022/

CETESB. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, 1979. 468p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de texto, 2005, 384p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia: Para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013, 336p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, 2005b. 678 p.

TUCCI, C. E. M. **Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 195–199, abr./jun. 2003.

GOMES, O. S. **Drenagem Urbana**. Grupo HCT. Rio de Janeiro. 2017.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – UNESCO 2005.

TUCCI, Carlos. **Avaliação e controle dos impactos ambientais decorrentes da urbanização: apresentação do projeto**. Universidade UFRG, 2000.

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

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Porto Alegre-RS: ABRH, 1993.

APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

Tabela 38: Distribuição de Gumbel

DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL							
Precipitações máximas anuais	Ordem	$P=m/(N+1)$	Tempo de retorno (anos)	Y (observado)	Y (teórico)	H (teórico)	Chi ²
284,6	1	0,01	82,00	4,40	7,57	284,60	0,00
168	2	0,02	41,00	3,70	3,56	168,00	0,00
160,4	3	0,04	27,33	3,29	3,30	160,40	0,00
149	4	0,05	20,50	3,00	2,91	149,00	0,00
145	5	0,06	16,40	2,77	2,77	145,00	0,00
143,5	6	0,07	13,67	2,58	2,72	143,50	0,00
132	7	0,09	11,71	2,42	2,32	132,00	0,00
129	8	0,10	10,25	2,28	2,22	129,00	0,00
121	9	0,11	9,11	2,15	1,94	121,00	0,00
118	10	0,12	8,20	2,04	1,84	118,00	0,00
108	11	0,13	7,45	1,94	1,50	108,00	0,00
108	12	0,15	6,83	1,84	1,50	108,00	0,00
107,1	13	0,16	6,31	1,76	1,46	107,10	0,00
103	14	0,17	5,86	1,68	1,32	103,00	0,00
102,7	15	0,18	5,47	1,60	1,31	102,70	0,00
102,2	16	0,20	5,13	1,53	1,30	102,20	0,00
102,2	17	0,21	4,82	1,46	1,30	102,20	0,00
98	18	0,22	4,56	1,39	1,15	98,00	0,00
94,8	19	0,23	4,32	1,33	1,04	94,80	0,00
94,8	20	0,24	4,10	1,27	1,04	94,80	0,00
93,2	21	0,26	3,90	1,22	0,99	93,20	0,00
91,2	22	0,27	3,73	1,16	0,92	91,20	0,00
91	23	0,28	3,57	1,11	0,91	91,00	0,00
90	24	0,29	3,42	1,06	0,88	90,00	0,00
88	25	0,30	3,28	1,01	0,81	88,00	0,00
87,4	26	0,32	3,15	0,96	0,79	87,40	0,00
84,8	27	0,33	3,04	0,92	0,70	84,80	0,00
84,6	28	0,34	2,93	0,87	0,69	84,60	0,00
82,3	29	0,35	2,83	0,83	0,61	82,30	0,00
81	30	0,37	2,73	0,79	0,57	81,00	0,00
80,5	31	0,38	2,65	0,74	0,55	80,50	0,00
79,2	32	0,39	2,56	0,70	0,51	79,20	0,00
79	33	0,40	2,48	0,66	0,50	79,00	0,00
79	34	0,41	2,41	0,62	0,50	79,00	0,00
78,6	35	0,43	2,34	0,59	0,49	78,60	0,00
78,6	36	0,44	2,28	0,55	0,49	78,60	0,00
78,6	37	0,45	2,22	0,51	0,49	78,60	0,00
78,5	38	0,46	2,16	0,47	0,48	78,50	0,00
78,5	39	0,48	2,10	0,44	0,48	78,50	0,00
78	40	0,49	2,05	0,40	0,46	78,00	0,00
76	41	0,50	2,00	0,37	0,40	76,00	0,00
75,8	42	0,51	1,95	0,33	0,39	75,80	0,00
75,6	43	0,52	1,91	0,30	0,38	75,60	0,00
75	44	0,54	1,86	0,26	0,36	75,00	0,00
74,5	45	0,55	1,82	0,23	0,34	74,50	0,00
73,28	46	0,56	1,78	0,19	0,30	73,28	0,00
70	47	0,57	1,74	0,16	0,19	70,00	0,00
68,7	48	0,59	1,71	0,13	0,14	68,70	0,00

68	49	0,60	1,67	0,09	0,12	68,00	0,00
67,5	50	0,61	1,64	0,06	0,10	67,50	0,00
67,5	51	0,62	1,61	0,03	0,10	67,50	0,00
65,5	52	0,63	1,58	-0,01	0,03	65,50	0,00
65,3	53	0,65	1,55	-0,04	0,03	65,30	0,00
65,1	54	0,66	1,52	-0,07	0,02	65,10	0,00
65	55	0,67	1,49	-0,11	0,02	65,00	0,00
64	56	0,68	1,46	-0,14	-0,02	64,00	0,00
63,4	57	0,70	1,44	-0,17	-0,04	63,40	0,00
61,5	58	0,71	1,41	-0,21	-0,10	61,50	0,00
58,8	59	0,72	1,39	-0,24	-0,20	58,80	0,00
58	60	0,73	1,37	-0,27	-0,22	58,00	0,00
58	61	0,74	1,34	-0,31	-0,22	58,00	0,00
57	62	0,76	1,32	-0,34	-0,26	57,00	0,00
54,8	63	0,77	1,30	-0,38	-0,33	54,80	0,00
54,6	64	0,78	1,28	-0,42	-0,34	54,60	0,00
54	65	0,79	1,26	-0,45	-0,36	54,00	0,00
53	66	0,80	1,24	-0,49	-0,39	53,00	0,00
52,4	67	0,82	1,22	-0,53	-0,42	52,40	0,00
52,4	68	0,83	1,21	-0,57	-0,42	52,40	0,00
52	69	0,84	1,19	-0,61	-0,43	52,00	0,00
51,2	70	0,85	1,17	-0,65	-0,46	51,20	0,00
50,2	71	0,87	1,15	-0,70	-0,49	50,20	0,00
50,1	72	0,88	1,14	-0,74	-0,49	50,10	0,00
49,5	73	0,89	1,12	-0,79	-0,52	49,50	0,00
49,2	74	0,90	1,11	-0,84	-0,53	49,20	0,00
48	75	0,91	1,09	-0,90	-0,57	48,00	0,00
45,7	76	0,93	1,08	-0,96	-0,65	45,70	0,00
44,7	77	0,94	1,06	-1,03	-0,68	44,70	0,00
38,4	78	0,95	1,05	-1,11	-0,90	38,40	0,00
38	79	0,96	1,04	-1,20	-0,91	38,00	0,00
24,6	80	0,98	1,03	-1,31	-1,37	24,60	0,00
14	81	0,99	1,01	-1,48	-1,74	14,00	0,00
PARÂMETROS						CHI² cal.	0,00
Média	Desv. Padrão					Alfa	0,05
81,28	37,31					gl	80
						CHI² teo.	101,879474

Fonte: Autoria própria (2022).

APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA CHUVA PELO MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS

Tabela 39: Blocos Alternados para Duração de 60 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos

60 MINUTOS							
30 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	60	min	10	165,8	27,6	27,6	5,3
T	30	anos	20	124,4	41,5	13,8	9,0
Δt	10	min	30	101,0	50,5	9,0	27,6
			40	85,7	57,1	6,7	13,8
			50	74,9	62,4	5,3	6,7
			60	66,8	66,8	4,4	4,4
50 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	60	min	10	187,0	31,2	31,2	5,9
T	50	anos	20	140,3	46,8	15,6	10,2
Δt	10	min	30	113,9	57,0	10,2	31,2
			40	96,7	64,5	7,5	15,6
			50	84,5	70,4	5,9	7,5
			60	75,4	75,4	4,9	4,9
70 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	60	min	10	202,5	33,8	33,8	6,4
T	70	anos	20	151,9	50,6	16,9	11,0
Δt	10	min	30	123,3	61,7	11,0	33,8
			40	104,7	69,8	8,1	16,9
			50	91,5	76,2	6,4	8,1
			60	81,6	81,6	5,3	5,3
100 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	60	min	10	220,6	36,8	36,8	7,0
T	100	anos	20	165,6	55,2	18,4	12,0
Δt	10	min	30	134,4	67,2	12,0	36,8
			40	114,1	76,1	8,9	18,4
			50	99,7	83,1	7,0	8,9
			60	88,9	88,9	5,8	5,8

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 40: Blocos Alternados para Duração de 90 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos

90 MINUTOS							
30 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	90	min	10	165,8	27,6	27,6	2,9
T	30	anos	20	124,4	41,5	13,8	3,7
Δt	10	min	30	101,0	50,5	9,0	5,3
			40	85,7	57,1	6,7	9,0
			50	74,9	62,4	5,3	27,6
			60	66,8	66,8	4,4	13,8
			70	60,4	70,5	3,7	6,7
			80	55,3	73,8	3,3	4,4
			90	51,1	76,7	2,9	3,3
50 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	90	min	10	187,0	31,2	31,2	3,3
T	50	anos	20	140,3	46,8	15,6	4,2
Δt	10	min	30	113,9	57,0	10,2	5,9
			40	96,7	64,5	7,5	10,2
			50	84,5	70,4	5,9	31,2
			60	75,4	75,4	4,9	15,6
			70	68,2	79,6	4,2	7,5
			80	62,4	83,3	3,7	4,9
			90	57,7	86,5	3,3	3,7
70 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	90	min	10	202,5	33,8	33,8	3,6
T	70	anos	20	151,9	50,6	16,9	4,6
Δt	10	min	30	123,3	61,7	11,0	6,4
			40	104,7	69,8	8,1	11,0
			50	91,5	76,2	6,4	33,8
			60	81,6	81,6	5,3	16,9
			70	73,8	86,1	4,6	8,1
			80	67,6	90,1	4,0	5,3
			90	62,5	93,7	3,6	4,0

100 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	90	min	10	220,3	36,7	36,7	3,9
T	100	anos	20	165,3	55,1	18,4	5,0
Δt	10	min	30	134,2	67,1	12,0	7,0
			40	113,9	75,9	8,9	12,0
			50	99,5	82,9	7,0	36,7
			60	88,8	88,8	5,8	18,4
			70	80,3	93,7	5,0	8,9
			80	73,5	98,1	4,3	5,8
			90	68,0	101,9	3,9	4,3

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 41: Blocos Alternados para Duração de 120 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos

120 MINUTOS							
30 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	120	min	10	165,8	27,6	27,6	2,4
T	30	anos	20	124,4	41,5	13,8	2,9
Δt	10	min	30	101,0	50,5	9,0	3,7
			40	85,7	57,1	6,7	5,3
			50	74,9	62,4	5,3	9,0
			60	66,8	66,8	4,4	27,6
			70	60,4	70,5	3,7	13,8
			80	55,3	73,8	3,3	6,7
			90	51,1	76,7	2,9	4,4
			100	47,6	79,3	2,6	3,3
			110	44,6	81,7	2,4	2,6
			120	42,0	83,9	2,2	2,2
50 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	120	min	10	187,0	31,2	31,2	2,7
T	50	anos	20	140,3	46,8	15,6	3,3
Δt	10	min	30	113,9	57,0	10,2	4,2
			40	96,7	64,5	7,5	5,9
			50	84,5	70,4	5,9	10,2
			60	75,4	75,4	4,9	31,2
			70	68,2	79,6	4,2	15,6
			80	62,4	83,3	3,7	7,5
			90	57,7	86,5	3,3	4,9
			100	53,7	89,5	3,0	3,7
			110	50,3	92,2	2,7	3,0
			120	47,3	94,7	2,5	2,5

70 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	120	min	10	202,5	33,8	33,8	2,9
T	70	anos	20	151,9	50,6	16,9	3,6
Δt	10	min	30	123,3	61,7	11,0	4,6
			40	104,7	69,8	8,1	6,4
			50	91,5	76,2	6,4	11,0
			60	81,6	81,6	5,3	33,8
			70	73,8	86,1	4,6	16,9
			80	67,6	90,1	4,0	8,1
			90	62,5	93,7	3,6	5,3
			100	58,1	96,9	3,2	4,0
			110	54,4	99,8	2,9	3,2
			120	51,3	102,5	2,7	2,7
100 ANOS							
PARÂMETROS			t-min	i-mm/h	H-mm	Inc da Alt.	Alternado
td	120	min	10	220,3	36,7	36,7	3,2
T	100	anos	20	165,3	55,1	18,4	3,9
Δt	10	min	30	134,2	67,1	12,0	5,0
			40	113,9	75,9	8,9	7,0
			50	99,5	82,9	7,0	12,0
			60	88,8	88,8	5,8	36,7
			70	80,3	93,7	5,0	18,4
			80	73,5	98,1	4,3	8,9
			90	68,0	101,9	3,9	5,8
			100	63,3	105,4	3,5	4,3
			110	59,2	108,6	3,2	3,5
			120	55,8	111,5	2,9	2,9

Fonte: Autoria própria (2022).

APÊNDICE C – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ATRAVÉS DO MÉTODO SCS

Tabela 42: Parâmetros do escoamento superficial

S	56,01
0,2 x S	11,20
0,8 x S	44,81

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 43: Escoamento Superficial - SCS - Duração de 60 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos

CHUVA EXEDENTE 60 MINUTOS				
td= 60 min e T = 30 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	5,27	5,27	0,00	0,00
20	9,02	14,30	0,16	0,16
30	27,63	41,93	10,88	10,72
40	13,83	55,76	19,74	8,86
50	6,66	62,42	24,46	4,72
60	4,37	66,79	27,69	3,22
td= 60 min e T = 50 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	5,95	5,95	0,00	0,00
20	10,18	16,13	0,40	0,40
30	31,17	47,30	14,15	13,75
40	15,60	62,91	24,82	10,67
50	7,51	70,42	30,43	5,61
60	4,93	75,35	34,25	3,81
td= 60 min e T = 70 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	6,44	6,44	0,00	0,00
20	11,02	17,47	0,63	0,63
30	33,75	51,22	16,67	16,04
40	16,89	68,11	28,68	12,01
50	8,14	76,25	34,95	6,27
60	5,34	81,59	39,19	4,24

td= 60 min e T = 100 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	7,03	7,03	0,00	0,00
20	12,02	19,05	0,96	0,96
30	36,77	55,83	19,79	18,82
40	18,42	74,25	33,38	13,60
50	8,88	83,12	40,43	7,05
60	5,83	88,95	45,19	4,76

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 44: Escoamento Superficial - SCS - Duração de 90 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos

CHUVA EXEDENTE PARA 90 MINUTOS				
td= 90 min e T = 30anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	2,91	2,91	0,00	0,00
20	3,74	6,64	0,00	0,00
30	5,27	11,92	0,01	0,01
40	9,02	20,94	1,44	1,43
50	27,63	48,57	14,95	13,51
60	13,83	62,40	24,45	9,50
70	6,66	69,06	29,40	4,95
80	4,37	73,43	32,75	3,35
90	3,27	76,70	35,30	2,55
td= 90 min e T=50 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	3,28	3,28	0,00	0,00
20	4,21	7,50	0,00	0,00
30	5,95	13,45	0,09	0,09
40	10,18	23,63	2,26	2,17
50	31,17	54,80	19,08	16,83
60	15,60	70,40	30,42	11,34
70	7,51	77,92	36,27	5,85
80	4,93	82,85	40,21	3,94
90	3,69	86,54	43,21	3,00

td= 90 min e T=70 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	3,55	3,55	0,00	0,00
20	4,56	8,12	0,00	0,00
30	6,44	14,56	0,19	0,19
40	11,02	25,58	2,94	2,75
50	33,75	59,33	22,24	19,31
60	16,89	76,23	34,93	12,69
70	8,14	84,36	41,44	6,50
80	5,34	89,70	45,81	4,37
90	3,99	93,69	49,13	3,32
td= 90 min e T=100 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	3,87	3,87	0,00	0,00
20	4,96	8,83	0,00	0,00
30	7,01	15,84	0,35	0,35
40	11,99	27,83	3,81	3,45
50	36,72	64,55	26,02	22,22
60	18,38	82,93	40,27	14,25
70	8,85	91,78	47,53	7,26
80	5,81	97,59	52,40	4,87
90	4,34	101,93	56,09	3,69

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 45: Escoamento Superficial – SCS - Duração de 120 min e T = 30, 50, 70 e 100 anos

CHUVA EXEDENTE PARA 120 MINUTOS				
td= 120 min e T = 30 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	2,39	2,39	0,00	0,00
20	2,91	5,30	0,00	0,00
30	3,74	9,04	0,00	0,00
40	5,27	14,31	0,16	0,16
50	9,02	23,34	2,16	2,00
60	27,63	50,97	16,51	14,35
70	13,83	64,80	26,21	9,70
80	6,66	71,46	31,23	5,02
90	4,37	75,83	34,62	3,39
100	3,27	79,09	37,20	2,58
110	2,62	81,72	39,30	2,10
120	2,20	83,92	41,08	1,78

td= 120 min e T=50 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	2,70	2,70	0,00	0,00
20	3,28	5,98	0,00	0,00
30	4,21	10,20	0,00	0,00
40	5,95	16,15	0,40	0,40
50	10,18	26,33	3,22	2,82
60	31,17	57,50	20,95	17,74
70	15,60	73,11	32,50	11,55
80	7,51	80,62	38,42	5,92
90	4,93	85,55	42,40	3,98
100	3,69	89,24	45,43	3,02
110	2,96	92,20	47,88	2,46
120	2,49	94,68	49,96	2,08
td= 120 min e T=70 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	2,92	2,92	0,00	0,00
20	3,55	6,48	0,00	0,00
30	4,56	11,04	0,00	0,00
40	6,44	17,48	0,63	0,63
50	11,02	28,51	4,08	3,45
60	33,75	62,26	24,35	20,26
70	16,89	79,15	37,25	12,90
80	8,14	87,29	43,82	6,58
90	5,34	92,63	48,24	4,42
100	3,99	96,62	51,59	3,35
110	3,21	99,82	54,30	2,71
120	2,69	102,51	56,59	2,29
td= 120 min e T=100 anos				
t - min	Chuva (mm)	Ch. Acu. (mm)	Ch. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)
10	3,18	3,18	0,00	0,00
20	3,87	7,05	0,00	0,00
30	4,96	12,01	0,01	0,01
40	7,01	19,02	0,96	0,95
50	11,99	31,01	5,18	4,22
60	36,72	67,73	28,39	23,22
70	18,38	86,11	42,86	14,47
80	8,85	94,96	50,19	7,33
90	5,81	100,77	55,10	4,91
100	4,34	105,11	58,82	3,72
110	3,49	108,60	61,83	3,01
120	2,93	111,53	64,38	2,54

Fonte: Aatoria própria (2022).

APÊNDICE D – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO MÉTODO HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO-SCS

Tabela 46: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 60$ min e $T = 30$ anos

Convolução: $Tr = 30$ anos e $td = 60$ minutos							
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hidrograma
		0,16	10,72	8,86	4,72	3,22	Total
0	0,000	0,000					0,00
10	0,637	0,103	0,000				0,10
20	1,274	0,207	6,830	0,000			7,04
30	1,911	0,310	13,659	5,641	0,000		19,61
40	2,548	0,413	20,489	11,282	3,008	0,000	35,19
50	3,185	0,516	27,319	16,923	6,016	2,054	52,83
60	2,729	0,442	34,148	22,564	9,024	4,107	70,29
70	2,274	0,369	29,259	28,205	12,032	6,161	76,03
80	1,819	0,295	24,381	24,167	15,040	8,214	72,10
90	1,364	0,221	19,503	20,138	12,887	10,268	63,02
100	0,909	0,147	14,624	16,109	10,738	8,798	50,42
110	0,454	0,074	9,746	12,079	8,590	7,331	37,82
120	0,000	0,000	4,868	8,050	6,441	5,864	25,22
130			0,000	4,020	4,292	4,397	12,71
140				0,000	2,144	2,930	5,07
150					0,000	1,464	1,46
160						0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 47: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 90$ min e $T = 30$ anos

Convolução: $Tr = 30$ anos e $td = 90$ minutos									
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hidrograma
		0,01	1,43	13,51	9,50	4,95	3,35	2,55	Total
0	0,000	0,000							0,000
10	0,637	0,006	0,000						0,006
20	1,274	0,011	0,913	0,000					0,925
30	1,911	0,017	1,827	8,607	0,000				10,451
40	2,548	0,023	2,740	17,214	6,049	0,000			26,026
50	3,185	0,029	3,653	25,821	12,098	3,152	0,000		44,753
60	2,729	0,025	4,567	34,428	18,147	6,304	2,135	0,000	65,604
70	2,274	0,020	3,913	43,034	24,196	9,456	4,269	1,627	86,516
80	1,819	0,016	3,260	36,873	30,245	12,608	6,404	3,254	92,661
90	1,364	0,012	2,608	30,725	25,915	15,760	8,539	4,881	88,441
100	0,909	0,008	1,956	24,578	21,594	13,504	10,674	6,508	78,821

110	0,454	0,004	1,303	18,430	17,273	11,252	9,146	8,135	65,544
120	0,000	0,000	0,651	12,282	12,953	9,001	7,621	6,971	49,478
130			0,000	6,134	8,632	6,749	6,096	5,808	33,420
140				0,000	4,311	4,498	4,571	4,646	18,026
150					0,000	2,247	3,046	3,484	8,777
160						0,000	1,521	2,322	3,843
170							0,000	1,160	1,160
180								0,000	0,000

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 48: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 120$ min e $T = 30$ anos

Convolução: $T_r = 30$ anos e $t_d = 120$ minutos											
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hexd 8	Hexd 9	Hidrograma Total
		0,16	2,00	14,35	9,70	5,02	3,39	2,58	2,10	1,78	
0	0,000	0,000									0,00
10	0,637	0,104	0,000								0,10
20	1,274	0,208	1,272	0,000							1,48
30	1,911	0,312	2,544	9,140	0,000						12,00
40	2,548	0,417	3,816	18,279	6,177	0,000					28,69
50	3,185	0,521	5,088	27,419	12,353	3,198	0,000				48,58
60	2,729	0,446	6,360	36,559	18,530	6,396	2,161	0,000			70,45
70	2,274	0,372	5,450	45,698	24,707	9,594	4,321	1,645	0,000		91,79
80	1,819	0,297	4,541	39,156	30,884	12,791	6,482	3,289	1,337	0,000	98,78
90	1,364	0,223	3,633	32,627	26,462	15,989	8,643	4,934	2,674	1,133	96,32
100	0,909	0,149	2,724	26,099	22,050	13,700	10,803	6,579	4,012	2,266	88,38
110	0,454	0,074	1,815	19,571	17,638	11,416	9,257	8,223	5,349	3,399	76,74
120	0,000	0,000	0,907	13,042	13,226	9,132	7,713	7,046	6,686	4,532	62,28
130			0,000	6,514	8,814	6,847	6,170	5,871	5,729	5,665	45,61
140				0,000	4,402	4,563	4,627	4,697	4,774	4,854	27,92
150					0,000	2,279	3,083	3,522	3,818	4,045	16,75
160						0,000	1,540	2,347	2,863	3,235	9,99
170							0,000	1,172	1,908	2,426	5,51
180								0,000	0,953	1,617	2,57
190									0,000	0,808	0,81
200										0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 49: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 60$ min e $T = 50$ anos

Convolução: $T_r = 50$ anos e $t_d = 60$ minutos							
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hidrograma Total
		0,40	13,75	10,67	5,61	3,81	
0	0,000	0,000					0,00
10	0,637	0,254	0,000				0,25
20	1,274	0,508	8,759	0,000			9,27
30	1,911	0,762	17,518	6,797	0,000		25,08
40	2,548	1,016	26,277	13,593	3,577	0,000	44,46
50	3,185	1,270	35,036	20,390	7,153	2,429	66,28
60	2,729	1,088	43,795	27,186	10,730	4,857	87,66
70	2,274	0,907	37,525	33,983	14,306	7,286	94,01
80	1,819	0,725	31,268	29,118	17,883	9,715	88,71
90	1,364	0,544	25,012	24,263	15,322	12,143	77,28
100	0,909	0,362	18,756	19,408	12,768	10,405	61,70
110	0,454	0,181	12,499	14,554	10,213	8,670	46,12
120	0,000	0,000	6,243	9,699	7,658	6,935	30,54
130			0,000	4,844	5,104	5,200	15,15
140				0,000	2,549	3,466	6,01
150					0,000	1,731	1,73
160						0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 50: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 90$ min e $T = 50$ anos

Convolução: $T_r = 50$ anos e $t_d = 90$ minutos									
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hidrograma Total
		0,09	2,17	16,83	11,34	5,85	3,94	3,00	
0	0,000	0,000							0,00
10	0,637	0,055	0,000						0,06
20	1,274	0,110	1,382	0,000					1,49
30	1,911	0,165	2,764	10,718	0,000				13,65
40	2,548	0,220	4,146	21,437	7,222	0,000			33,03
50	3,185	0,275	5,528	32,155	14,444	3,724	0,000		56,13
60	2,729	0,236	6,910	42,873	21,667	7,449	2,511	0,000	81,65
70	2,274	0,196	5,921	53,592	28,889	11,173	5,023	1,909	106,70
80	1,819	0,157	4,934	45,919	36,111	14,897	7,534	3,818	113,37
90	1,364	0,118	3,946	38,263	30,941	18,622	10,045	5,727	107,66
100	0,909	0,079	2,959	30,607	25,782	15,956	12,557	7,636	95,58
110	0,454	0,039	1,972	22,951	20,624	13,295	10,759	9,546	79,19
120	0,000	0,000	0,985	15,295	15,465	10,635	8,965	8,179	59,52
130			0,000	7,639	10,306	7,975	7,171	6,815	39,91
140				0,000	5,147	5,315	5,378	5,452	21,29
150					0,000	2,654	3,584	4,088	10,33
160						0,000	1,790	2,724	4,51
170							0,000	1,361	1,36
180								0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 51: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 120$ min e $T = 50$ anos

Convolução: $Tr = 50$ anos e $td = 120$ minutos											
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hexd 8	Hexd 9	Hidrograma Total
		0,38	2,82	17,74	11,55	5,92	3,98	3,02	2,46	2,08	
0	0,000	0,000									0,00
10	0,637	0,244	0,000								0,24
20	1,274	0,487	1,793	0,000							2,28
30	1,911	0,731	3,587	11,297	0,000						15,62
40	2,548	0,975	5,380	22,595	7,355	0,000					36,30
50	3,185	1,219	7,173	33,892	14,709	3,771	0,000				60,76
60	2,729	1,044	8,967	45,190	22,064	7,542	2,538	0,000			87,34
70	2,274	0,870	7,683	56,487	29,418	11,313	5,075	1,927	0,000		112,77
80	1,819	0,696	6,402	48,400	36,773	15,084	7,613	3,854	1,564	0,000	120,39
90	1,364	0,522	5,121	40,330	31,508	18,855	10,151	5,781	3,128	1,323	116,72
100	0,909	0,348	3,840	32,261	26,255	16,155	12,688	7,708	4,692	2,647	106,59
110	0,454	0,174	2,559	24,191	21,001	13,462	10,872	9,634	6,256	3,970	92,12
120	0,000	0,000	1,278	16,121	15,748	10,768	9,059	8,255	7,820	5,294	74,34
130			0,000	8,052	10,495	8,075	7,246	6,879	6,700	6,617	54,06
140				0,000	5,242	5,381	5,434	5,502	5,583	5,670	32,81
150					0,000	2,688	3,621	4,126	4,466	4,724	19,63
160						0,000	1,809	2,750	3,349	3,779	11,69
170							0,000	1,373	2,232	2,834	6,44
180								0,000	1,115	1,888	3,00
190									0,000	0,943	0,94
200										0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 52: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 60$ min e $T = 70$ anos

Convolução: $Tr = 70$ anos e $td = 60$ minutos							
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hidrograma Total
		0,63	16,04	12,01	6,27	4,24	
0	0,000	0,000					0,00
10	0,637	0,401	0,000				0,40
20	1,274	0,803	8,759	0,000			9,56
30	1,911	1,204	17,518	7,648	0,000		26,37
40	2,548	1,605	26,277	15,296	3,993	0,000	47,17
50	3,185	2,006	35,036	22,944	7,986	2,703	70,67
60	2,729	1,719	43,795	30,592	11,979	5,406	93,49
70	2,274	1,433	37,525	38,239	15,971	8,108	101,28
80	1,819	1,146	31,268	32,765	19,964	10,811	95,95
90	1,364	0,859	25,012	27,302	17,106	13,514	83,79
100	0,909	0,573	18,756	21,839	14,254	11,579	67,00
110	0,454	0,286	12,499	16,376	11,402	9,649	50,21
120	0,000	0,000	6,243	10,914	8,550	7,718	33,42
130			0,000	5,451	5,698	5,787	16,94
140				0,000	2,846	3,857	6,70
150					0,000	1,926	1,93
160						0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 53: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 90$ min e $T = 70$ anos

Convolução: $Tr = 70$ anos e $td = 90$ minutos									
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hidrograma Total
		0,19	2,75	19,31	12,69	6,50	4,37	3,32	
0	0,000	0,000							0,00
10	0,637	0,121	0,000						0,12
20	1,274	0,242	1,750	0,000					1,99
30	1,911	0,362	3,501	12,298	0,000				16,16
40	2,548	0,483	5,251	24,597	8,083	0,000			38,41
50	3,185	0,604	7,002	36,895	16,166	4,142	0,000		64,81
60	2,729	0,518	8,752	49,194	24,249	8,285	2,786	0,000	93,78
70	2,274	0,431	7,499	61,492	32,332	12,427	5,572	2,115	121,87
80	1,819	0,345	6,249	52,688	40,415	16,569	8,358	4,229	128,85
90	1,364	0,259	4,998	43,904	34,629	20,712	11,144	6,344	121,99
100	0,909	0,172	3,748	35,119	28,856	17,746	13,930	8,458	108,03
110	0,454	0,086	2,498	26,334	23,082	14,788	11,936	10,573	89,30
120	0,000	0,000	1,248	17,550	17,308	11,829	9,946	9,059	66,94
130			0,000	8,765	11,535	8,870	7,956	7,549	44,67
140				0,000	5,761	5,911	5,966	6,038	23,68
150					0,000	2,952	3,976	4,528	11,46
160						0,000	1,986	3,018	5,00
170							0,000	1,507	1,51
180								0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 54: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 120$ min e $T = 70$ anos

Convolação: $T_r = 70$ anos e $t_d = 120$ minutos											
t (min)	HUST	Hexd 1 0,63	Hexd 2 3,45	Hexd 3 20,26	Hexd 4 12,90	Hexd 5 6,58	Hexd 6 4,42	Hexd 7 3,35	Hexd 8 2,71	Hexd 9 2,29	Hidrograma Total
0	0,000	0,000									0,00
10	0,637	0,403	0,000								0,40
20	1,274	0,806	2,198	0,000							3,00
30	1,911	1,209	4,397	12,907	0,000						18,51
40	2,548	1,612	6,595	25,813	8,218	0,000					42,24
50	3,185	2,015	8,793	38,720	16,435	4,189	0,000				70,15
60	2,729	1,726	10,992	51,627	24,653	8,379	2,812	0,000			100,19
70	2,274	1,439	9,418	64,533	32,871	12,568	5,625	2,132	0,000		128,59
80	1,819	1,151	7,848	55,294	41,089	16,757	8,437	4,265	1,729	0,000	136,57
90	1,364	0,863	6,277	46,075	35,206	20,947	11,250	6,397	3,458	1,462	131,93
100	0,909	0,575	4,707	36,856	29,336	17,948	14,062	8,530	5,187	2,924	120,12
110	0,454	0,287	3,137	27,637	23,466	14,955	12,049	10,662	6,916	4,386	103,49
120	0,000	0,000	1,567	18,418	17,596	11,963	10,040	9,135	8,645	5,847	83,21
130			0,000	9,199	11,727	8,971	8,031	7,612	7,407	7,309	60,26
140				0,000	5,857	5,978	6,022	6,089	6,172	6,263	36,38
150					0,000	2,986	4,013	4,566	4,937	5,219	21,72
160						0,000	2,004	3,043	3,702	4,174	12,92
170							0,000	1,520	2,467	3,130	7,12
180								0,000	1,232	2,086	3,32
190									0,000	1,042	1,04
200										0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 55: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para $t = 60$ min e $T = 100$ anos

Convolução: Tr = 100 anos e td = 60 minutos							
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hidrograma Total
		0,96	18,82	13,60	7,05	4,76	
0	0,000	0,000					0,00
10	0,637	0,615	0,000				0,61
20	1,274	1,229	11,990	0,000			13,22
30	1,911	1,844	23,980	8,660	0,000		34,48
40	2,548	2,459	35,970	17,320	4,489	0,000	60,24
50	3,185	3,073	47,960	25,980	8,978	3,030	89,02
60	2,729	2,633	59,949	34,640	13,467	6,061	116,75
70	2,274	2,194	51,366	43,300	17,956	9,091	123,91
80	1,819	1,755	42,802	37,101	22,444	12,121	116,22
90	1,364	1,316	34,238	30,915	19,231	15,152	100,85
100	0,909	0,877	25,674	24,729	16,025	12,982	80,29
110	0,454	0,438	17,110	18,544	12,818	10,818	59,73
120	0,000	0,000	8,545	12,358	9,612	8,653	39,17
130			0,000	6,172	6,406	6,489	19,07
140				0,000	3,199	4,324	7,52
150					0,000	2,160	2,16
160						0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 56: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 90 min e T = 100 anos

Convolução: Tr = 100 anos e td = 90 minutos									
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hidrograma Total
		0,35	3,45	22,22	14,25	7,26	4,87	3,69	
0	0,000	0,000							0,00
10	0,637	0,226	0,000						0,23
20	1,274	0,451	2,199	0,000					2,65
30	1,911	0,677	4,398	14,152	0,000				19,23
40	2,548	0,903	6,597	28,304	9,078	0,000			44,88
50	3,185	1,128	8,796	42,456	18,156	4,624	0,000		75,16
60	2,729	0,967	10,996	56,607	27,234	9,248	3,102	0,000	108,15
70	2,274	0,806	9,421	70,759	36,312	13,872	6,204	2,351	139,73
80	1,819	0,644	7,850	60,629	45,391	18,496	9,306	4,702	147,02
90	1,364	0,483	6,280	50,520	38,892	23,120	12,409	7,053	138,76
100	0,909	0,322	4,709	40,412	32,408	19,810	15,511	9,404	122,57
110	0,454	0,161	3,138	30,303	25,923	16,507	13,290	11,755	101,08
120	0,000	0,000	1,567	20,195	19,439	13,204	11,074	10,072	75,55
130			0,000	10,086	12,954	9,901	8,858	8,393	50,19
140				0,000	6,470	6,598	6,643	6,713	26,42
150					0,000	3,296	4,427	5,034	12,76
160						0,000	2,211	3,355	5,57
170							0,000	1,676	1,68
180								0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 57: Hidrograma Unitário Sintético-SCS para t = 120 min e T = 100 anos

Convolação: Tr = 100 anos e td = 120 minutos												
t (min)	HUST	Hexd 1	Hexd 2	Hexd 3	Hexd 4	Hexd 5	Hexd 6	Hexd 7	Hexd 8	Hexd 9	Hexd 10	Hidrograma Total
		0,01	0,95	4,22	23,22	14,47	7,33	4,91	3,72	3,01	2,54	
0	0,000	0,000										0,00
10	0,637	0,007	0,000									0,01
20	1,274	0,015	0,602	0,000								0,62
30	1,911	0,022	1,205	2,687	0,000							3,91
40	2,548	0,029	1,807	5,374	14,790	0,000						22,00
50	3,185	0,037	2,410	8,061	29,579	9,215	0,000					49,30
60	2,729	0,031	3,012	10,749	44,369	18,429	4,671	0,000				81,26
70	2,274	0,026	2,581	13,436	59,158	27,644	9,342	3,128	0,000			115,32
80	1,819	0,021	2,151	11,512	73,948	36,858	14,013	6,257	2,369	0,000		147,13
90	1,364	0,016	1,720	9,593	63,361	46,073	18,684	9,385	4,737	1,919	0,000	155,49
100	0,909	0,010	1,290	7,673	52,797	39,476	23,356	12,514	7,106	3,837	1,621	149,68
110	0,454	0,005	0,860	5,754	42,233	32,895	20,012	15,642	9,475	5,756	3,242	135,87
120	0,000	0,000	0,429	3,835	31,669	26,313	16,675	13,403	11,843	7,674	4,863	116,70
130			0,000	1,915	21,105	19,731	13,339	11,168	10,148	9,593	6,484	93,48
140				0,000	10,541	13,149	10,002	8,934	8,456	8,220	8,105	67,41
150					0,000	6,567	6,666	6,699	6,764	6,849	6,944	40,49
160						0,000	3,329	4,464	5,072	5,479	5,787	24,13
170							0,000	2,230	3,380	4,108	4,629	14,35
180								0,000	1,688	2,738	3,471	7,90
190									0,000	1,367	2,313	3,68
200										0,000	1,155	1,16
210											0,000	0,00

Fonte: Autoria própria (2022).

APÊNDICE E – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO MÉTODO SANTA BÁRBARA

Tabela 58: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 60 minutos e T = 30 anos

39	390	0,4	0,3
40	400	0,3	0,3
41	410	0,3	0,2
42	420	0,2	0,2
43	430	0,2	0,2
44	440	0,2	0,1
45	450	0,1	0,1
46	460	0,1	0,1
47	470	0,1	0,1
48	480	0,1	0,1
49	490	0,1	0,1
50	500	0,1	0,1
51	510	0,1	0,0
52	520	0,0	0,0
53	530	0,0	0,0
54	540	0,0	0,0
55	550	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 59: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 90 minutos e T = 30 anos

TR = 30 anos e t = 90 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m³/s)	I1 + I2 (m³/s)	Qj-1 (m³/s)	Qj (m³/s)
0	0	0										0,0
1	10	0,2	2,9	2,9	0,0	0,0	17,5	0,0	11,63	11,6	0,0	0,9
2	20	0,3	3,7	6,6	0,0	0,0	22,4	0,0	14,94	26,6	0,9	2,8
3	30	0,5	5,3	11,9	0,0	0,0	31,6	0,1	21,23	36,2	2,8	5,1
4	40	0,7	9,0	20,9	1,4	1,4	54,1	8,6	57,76	79,0	5,1	10,3
5	50	0,8	27,6	48,6	15,0	13,5	165,8	81,1	314,63	372,4	10,3	37,1
6	60	1,0	13,8	62,4	24,5	9,5	83,0	57,0	198,77	513,4	37,1	70,6
7	70	1,2	6,7	69,1	29,4	4,9	40,0	29,7	101,39	300,2	70,6	82,7
8	80	1,3	4,4	73,4	32,7	3,4	26,2	20,1	68,10	169,5	82,7	83,0
9	90	1,5	3,3	76,7	35,3	2,6	19,6	15,3	51,66	119,8	83,0	79,5
10	100										79,5	67,4
11	110										67,4	57,1
12	120										57,1	48,4
13	130										48,4	41,0
14	140										41,0	34,8
15	150										34,8	29,5
16	160										29,5	25,0
17	170										25,0	21,2
18	180										21,2	18,0
19	190										18,0	15,2
20	200										15,2	12,9

21	210
22	220
23	230
24	240
25	250
26	260
27	270
28	280
29	290
30	300
31	310
32	320
33	330
34	340
35	350
36	360
37	370
38	380
39	390
40	400
41	410
42	420
43	430
44	440
45	450
46	460
47	470
48	480
49	490
50	500
51	510
52	520
53	530
54	540
55	550
56	560
57	570
58	580
59	590

12,9	10,9
10,9	9,3
9,3	7,9
7,9	6,7
6,7	5,6
5,6	4,8
4,8	4,1
4,1	3,4
3,4	2,9
2,9	2,5
2,5	2,1
2,1	1,8
1,8	1,5
1,5	1,3
1,3	1,1
1,1	0,9
0,9	0,8
0,8	0,7
0,7	0,6
0,6	0,5
0,5	0,4
0,4	0,3
0,3	0,3
0,3	0,2
0,2	0,2
0,2	0,2
0,2	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0

Fonte: Aatoria própria (2022).

39	390	1,0	0,8
40	400	0,8	0,7
41	410	0,7	0,6
42	420	0,6	0,5
43	430	0,5	0,4
44	440	0,4	0,4
45	450	0,4	0,3
46	460	0,3	0,3
47	470	0,3	0,2
48	480	0,2	0,2
49	490	0,2	0,2
50	500	0,2	0,1
51	510	0,1	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,1
56	560	0,1	0,0
57	570	0,0	0,0
58	580	0,0	0,0
59	590	0,0	0,0
60	600	0,0	0,0
61	610	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 61: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 60$ minutos e $T = 50$ anos

TR = 50 anos e t = 60 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m ³ /s)	I1 + I2 (m ³ /s)	Qj-1 (m ³ /s)	Qj (m ³ /s)
0	0	0										0,0
1	10	0,17	5,95	5,95	0,00	0,00	35,7	0,0	23,80	23,8	0,0	1,8
2	20	0,33	10,18	16,13	0,40	0,40	61,1	2,4	46,75	70,6	1,8	6,9
3	30	0,50	31,17	47,30	14,15	13,75	187,0	82,5	332,41	379,2	6,9	34,7
4	40	0,67	15,60	62,91	24,82	10,67	93,6	64,0	223,60	556,0	34,7	71,8
5	50	0,83	7,51	70,42	30,43	5,61	45,1	33,7	114,87	338,5	71,8	86,6
6	60	1,00	4,93	75,35	34,25	3,81	29,6	22,9	77,32	192,2	86,6	88,1
7	70										88,1	74,7
8	80										74,7	63,3
9	90										63,3	53,6
10	100										53,6	45,5
11	110										45,5	38,5

12	120
13	130
14	140
15	150
16	160
17	170
18	180
19	190
20	200
21	210
22	220
23	230
24	240
25	250
26	260
27	270
28	280
29	290
30	300
31	310
32	320
33	330
34	340
35	350
36	360
37	370
38	380
39	390
40	400
41	410
42	420
43	430
44	440
45	450
46	460
47	470
48	480
49	490
50	500
51	510
52	520
53	530
54	540
55	550

38,5	32,7
32,7	27,7
27,7	23,5
23,5	19,9
19,9	16,9
16,9	14,3
14,3	12,1
12,1	10,3
10,3	8,7
8,7	7,4
7,4	6,3
6,3	5,3
5,3	4,5
4,5	3,8
3,8	3,2
3,2	2,7
2,7	2,3
2,3	2,0
2,0	1,7
1,7	1,4
1,4	1,2
1,2	1,0
1,0	0,9
0,9	0,7
0,7	0,6
0,6	0,5
0,5	0,4
0,4	0,4
0,4	0,3
0,3	0,3
0,3	0,2
0,2	0,2
0,2	0,2
0,2	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,1
0,1	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0

Fonte: Aatoria própria (2022).

42	420	0,5	0,4
43	430	0,4	0,3
44	440	0,3	0,3
45	450	0,3	0,2
46	460	0,2	0,2
47	470	0,2	0,2
48	480	0,2	0,1
49	490	0,1	0,1
50	500	0,1	0,1
51	510	0,1	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,0
56	560	0,0	0,0
57	570	0,0	0,0
58	580	0,0	0,0
59	590	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 63: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 120$ minutos e $T = 50$ anos

TR = 50 anos e t = 120 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m ³ /s)	I1 + I2 (m ³ /s)	Qj-1 (m ³ /s)	Qj (m ³ /s)
0	0	0,0										0,0
1	10	0,2	2,7	2,7	0,0	0,0	16,2	0,0	10,80	10,8	0,0	0,8
2	20	0,3	3,3	6,0	0,0	0,0	19,7	0,0	13,13	23,9	0,8	2,5
3	30	0,5	4,2	10,2	0,0	0,0	25,3	0,0	16,86	30,0	2,5	4,4
4	40	0,7	5,9	16,1	0,4	0,4	35,7	2,4	29,86	46,7	4,4	7,3
5	50	0,8	10,2	26,3	3,2	2,8	61,1	16,9	83,26	113,1	7,3	14,8
6	60	1,0	31,2	57,5	21,0	17,7	187,0	106,4	392,61	475,9	14,8	48,8
7	70	1,2	15,6	73,1	32,5	11,5	93,6	69,3	236,83	629,4	48,8	89,3
8	80	1,3	7,5	80,6	38,4	5,9	45,1	35,5	119,49	356,3	89,3	102,8
9	90	1,5	4,9	85,5	42,4	4,0	29,6	23,9	79,90	199,4	102,8	102,4
10	100	1,7	3,7	89,2	45,4	3,0	22,1	18,1	60,44	140,3	102,4	97,5
11	110	1,8	3,0	92,2	47,9	2,5	17,8	14,7	48,93	109,4	97,5	90,9
12	120	2,0	2,5	94,7	50,0	2,1	14,9	12,5	41,33	90,3	90,9	84,0
13	130										84,0	71,2
14	140										71,2	60,3
15	150										60,3	51,1
16	160										51,1	43,4

17	170	43,4	36,7
18	180	36,7	31,2
19	190	31,2	26,4
20	200	26,4	22,4
21	210	22,4	19,0
22	220	19,0	16,1
23	230	16,1	13,6
24	240	13,6	11,6
25	250	11,6	9,8
26	260	9,8	8,3
27	270	8,3	7,0
28	280	7,0	6,0
29	290	6,0	5,1
30	300	5,1	4,3
31	310	4,3	3,6
32	320	3,6	3,1
33	330	3,1	2,6
34	340	2,6	2,2
35	350	2,2	1,9
36	360	1,9	1,6
37	370	1,6	1,3
38	380	1,3	1,1
39	390	1,1	1,0
40	400	1,0	0,8
41	410	0,8	0,7
42	420	0,7	0,6
43	430	0,6	0,5
44	440	0,5	0,4
45	450	0,4	0,4
46	460	0,4	0,3
47	470	0,3	0,3
48	480	0,3	0,2
49	490	0,2	0,2
50	500	0,2	0,2
51	510	0,2	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,1
56	560	0,1	0,1
57	570	0,1	0,0
58	580	0,0	0,0
59	590	0,0	0,0
60	600	0,0	0,0
61	610	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 64: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 60$ minutos e $T = 70$ anos

42	420	0,3	0,3
43	430	0,3	0,2
44	440	0,2	0,2
45	450	0,2	0,2
46	460	0,2	0,1
47	470	0,1	0,1
48	480	0,1	0,1
49	490	0,1	0,1
50	500	0,1	0,1
51	510	0,1	0,1
52	520	0,1	0,0
53	530	0,0	0,0
54	540	0,0	0,0
55	550	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 65: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para t = 90 minutos e T = 70 anos

TR = 70 anos e t = 90 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m³/s)	I1 + I2 (m³/s)	Qj-1 (m³/s)	Qj (m³/s)
0	0	0										0,0
1	10	0,2	3,6	3,9	0,0	0,0	21,3	0,0	14,21	14,2	0,0	1,1
2	20	0,3	4,6	8,8	0,0	0,0	27,4	0,0	18,25	32,5	1,1	3,4
3	30	0,5	6,4	15,8	0,4	0,2	38,7	1,1	28,63	46,9	3,4	6,4
4	40	0,7	11,0	27,8	3,8	2,7	66,1	16,5	85,61	114,2	6,4	14,2
5	50	0,8	33,8	64,5	26,0	19,3	202,5	115,8	426,67	512,3	14,2	51,0
6	60	1,0	16,9	82,9	40,3	12,7	101,4	76,1	259,27	685,9	51,0	95,5
7	70	1,2	8,1	91,8	47,5	6,5	48,8	39,0	130,78	390,0	95,5	110,6
8	80	1,3	5,3	97,6	52,4	4,4	32,0	26,2	87,42	218,2	110,6	110,4
9	90	1,5	4,0	101,9	56,1	3,3	24,0	19,9	66,12	153,5	110,4	105,3
10	100										105,3	89,3
11	110										89,3	75,7
12	120										75,7	64,1
13	130										64,1	54,4
14	140										54,4	46,1
15	150										46,1	39,1
16	160										39,1	33,1
17	170										33,1	28,1
18	180										28,1	23,8
19	190										23,8	20,2
20	200										20,2	17,1
21	210										17,1	14,5

22	220	14,5	12,3
23	230	12,3	10,4
24	240	10,4	8,8
25	250	8,8	7,5
26	260	7,5	6,3
27	270	6,3	5,4
28	280	5,4	4,6
29	290	4,6	3,9
30	300	3,9	3,3
31	310	3,3	2,8
32	320	2,8	2,4
33	330	2,4	2,0
34	340	2,0	1,7
35	350	1,7	1,4
36	360	1,4	1,2
37	370	1,2	1,0
38	380	1,0	0,9
39	390	0,9	0,7
40	400	0,7	0,6
41	410	0,6	0,5
42	420	0,5	0,5
43	430	0,5	0,4
44	440	0,4	0,3
45	450	0,3	0,3
46	460	0,3	0,2
47	470	0,2	0,2
48	480	0,2	0,2
49	490	0,2	0,1
50	500	0,1	0,1
51	510	0,1	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,1
56	560	0,1	0,0
57	570	0,0	0,0
58	580	0,0	0,0
59	590	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

39	390	1,3	1,1
40	400	1,1	0,9
41	410	0,9	0,8
42	420	0,8	0,7
43	430	0,7	0,6
44	440	0,6	0,5
45	450	0,5	0,4
46	460	0,4	0,3
47	470	0,3	0,3
48	480	0,3	0,2
49	490	0,2	0,2
50	500	0,2	0,2
51	510	0,2	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,1
56	560	0,1	0,1
57	570	0,1	0,1
58	580	0,1	0,0
59	590	0,0	0,0
60	600	0,0	0,0
61	610	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 67: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 60$ minutos e $T = 100$ anos

TR = 100 anos e t = 60 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m ³ /s)	I1 + I2 (m ³ /s)	Qj-1 (m ³ /s)	Qj (m ³ /s)
0	0	0										0,0
1	10	0,17	7,03	7,03	0,00	0,00	42,2	0,0	28,12	28,1	0,0	2,1
2	20	0,33	12,02	19,05	0,96	0,96	72,1	5,8	62,67	90,8	2,1	8,7
3	30	0,50	36,77	55,83	19,79	18,82	220,6	112,9	431,44	494,1	8,7	45,0
4	40	0,67	18,42	74,25	33,38	13,60	110,5	81,6	279,05	710,5	45,0	92,3
5	50	0,83	8,88	83,12	40,43	7,05	53,3	42,3	141,96	421,0	92,3	110,3
6	60	1,00	5,83	88,95	45,19	4,76	35,0	28,5	95,17	237,1	110,3	111,5
7	70										111,5	94,6
8	80										94,6	80,2
9	90										80,2	67,9
10	100										67,9	57,6
11	110										57,6	48,8

12	120	48,8	41,4
13	130	41,4	35,1
14	140	35,1	29,7
15	150	29,7	25,2
16	160	25,2	21,4
17	170	21,4	18,1
18	180	18,1	15,4
19	190	15,4	13,0
20	200	13,0	11,0
21	210	11,0	9,4
22	220	9,4	7,9
23	230	7,9	6,7
24	240	6,7	5,7
25	250	5,7	4,8
26	260	4,8	4,1
27	270	4,1	3,5
28	280	3,5	2,9
29	290	2,9	2,5
30	300	2,5	2,1
31	310	2,1	1,8
32	320	1,8	1,5
33	330	1,5	1,3
34	340	1,3	1,1
35	350	1,1	0,9
36	360	0,9	0,8
37	370	0,8	0,7
38	380	0,7	0,6
39	390	0,6	0,5
40	400	0,5	0,4
41	410	0,4	0,3
42	420	0,3	0,3
43	430	0,3	0,2
44	440	0,2	0,2
45	450	0,2	0,2
46	460	0,2	0,2
47	470	0,2	0,1
48	480	0,1	0,1
49	490	0,1	0,1
50	500	0,1	0,1
51	510	0,1	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,0
54	540	0,0	0,0
55	550	0,0	0,0

Fonte: Aatoria própria (2022).

Tabela 68: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 90$ minutos e $T = 100$ anos

TR = 100 anos e t = 90 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m ³ /s)	I1 + I2 (m ³ /s)	Qj-1 (m ³ /s)	Qj (m ³ /s)
0	0	0										0,0
1	10	0,2	3,9	3,9	0,0	0,0	23,2	0,0	15,46	15,5	0,0	1,2
2	20	0,3	5,0	8,8	0,0	0,0	29,8	0,0	19,86	35,3	1,2	3,7
3	30	0,5	7,0	15,8	0,4	0,4	42,0	2,1	33,38	53,2	3,7	7,2
4	40	0,7	12,0	27,8	3,8	3,5	72,0	20,7	100,13	133,5	7,2	16,3
5	50	0,8	36,7	64,5	26,0	22,2	220,3	133,3	482,49	582,6	16,3	58,1
6	60	1,0	18,4	82,9	40,3	14,3	110,3	85,5	288,81	771,3	58,1	108,0
7	70	1,2	8,9	91,8	47,5	7,3	53,1	43,6	145,06	433,9	108,0	124,6
8	80	1,3	5,8	97,6	52,4	4,9	34,8	29,2	96,80	241,9	124,6	124,1
9	90	1,5	4,3	101,9	56,1	3,7	26,1	22,1	73,13	169,9	124,1	118,1
10	100										118,1	100,1
11	110										100,1	84,9
12	120										84,9	71,9
13	130										71,9	61,0
14	140										61,0	51,7
15	150										51,7	43,8
16	160										43,8	37,1
17	170										37,1	31,5
18	180										31,5	26,7
19	190										26,7	22,6
20	200										22,6	19,2
21	210										19,2	16,3
22	220										16,3	13,8
23	230										13,8	11,7
24	240										11,7	9,9
25	250										9,9	8,4
26	260										8,4	7,1
27	270										7,1	6,0
28	280										6,0	5,1
29	290										5,1	4,3
30	300										4,3	3,7
31	310										3,7	3,1
32	320										3,1	2,6
33	330										2,6	2,2
34	340										2,2	1,9
35	350										1,9	1,6
36	360										1,6	1,4
37	370										1,4	1,2
38	380										1,2	1,0

39	390	1,0	0,8
40	400	0,8	0,7
41	410	0,7	0,6
42	420	0,6	0,5
43	430	0,5	0,4
44	440	0,4	0,4
45	450	0,4	0,3
46	460	0,3	0,3
47	470	0,3	0,2
48	480	0,2	0,2
49	490	0,2	0,2
50	500	0,2	0,1
51	510	0,1	0,1
52	520	0,1	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,1
56	560	0,1	0,1
57	570	0,1	0,0
58	580	0,0	0,0
59	590	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 69: Hidrograma Unitário de Santa Bárbara para $t = 120$ minutos e $T = 100$ anos

TR = 100 anos e t = 120 minutos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ordem	t (min)	t (h)	H (mm)	H. Acu. (mm)	H. Exc. Acu. (mm)	Hiet. Exc. (mm)	i (mm/h)	ie (mm/h)	I (m ³ /s)	I1 + I2 (m ³ /s)	Qj-1 (m ³ /s)	Qj (m ³ /s)
0	0	0,0										0,0
1	10	0,2	3,2	3,2	0,0	0,0	19,1	0,0	12,73	12,7	0,0	1,0
2	20	0,3	3,9	7,0	0,0	0,0	23,2	0,0	15,46	28,2	1,0	3,0
3	30	0,5	5,0	12,0	0,0	0,0	29,8	0,1	20,03	35,5	3,0	5,2
4	40	0,7	7,0	19,0	1,0	0,9	42,0	5,7	42,32	62,4	5,2	9,2
5	50	0,8	12,0	31,0	5,2	4,2	72,0	25,3	111,70	154,0	9,2	19,5
6	60	1,0	36,7	67,7	28,4	23,2	220,3	139,3	497,61	609,3	19,5	62,9
7	70	1,2	18,4	86,1	42,9	14,5	110,3	86,8	292,04	789,7	62,9	113,5
8	80	1,3	8,9	95,0	50,2	7,3	53,1	44,0	146,18	438,2	113,5	129,6
9	90	1,5	5,8	100,8	55,1	4,9	34,8	29,5	97,42	243,6	129,6	128,4
10	100	1,7	4,3	105,1	58,8	3,7	26,1	22,3	73,55	171,0	128,4	121,9
11	110	1,8	3,5	108,6	61,8	3,0	20,9	18,1	59,45	133,0	121,9	113,4
12	120	2,0	2,9	111,5	64,4	2,5	17,6	15,3	50,15	109,6	113,4	104,5
13	130										104,5	88,6
14	140										88,6	75,1
15	150										75,1	63,7

16	160	63,7	54,0
17	170	54,0	45,7
18	180	45,7	38,8
19	190	38,8	32,9
20	200	32,9	27,9
21	210	27,9	23,6
22	220	23,6	20,0
23	230	20,0	17,0
24	240	17,0	14,4
25	250	14,4	12,2
26	260	12,2	10,3
27	270	10,3	8,8
28	280	8,8	7,4
29	290	7,4	6,3
30	300	6,3	5,3
31	310	5,3	4,5
32	320	4,5	3,8
33	330	3,8	3,3
34	340	3,3	2,8
35	350	2,8	2,3
36	360	2,3	2,0
37	370	2,0	1,7
38	380	1,7	1,4
39	390	1,4	1,2
40	400	1,2	1,0
41	410	1,0	0,9
42	420	0,9	0,7
43	430	0,7	0,6
44	440	0,6	0,5
45	450	0,5	0,4
46	460	0,4	0,4
47	470	0,4	0,3
48	480	0,3	0,3
49	490	0,3	0,2
50	500	0,2	0,2
51	510	0,2	0,2
52	520	0,2	0,1
53	530	0,1	0,1
54	540	0,1	0,1
55	550	0,1	0,1
56	560	0,1	0,1
57	570	0,1	0,1
58	580	0,1	0,1
59	590	0,1	0,0
60	600	0,0	0,0
61	610	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria (2022).