



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA NAVAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, MARÉ E VAZÃO PARA
ANÁLISE DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.**

MATHEUS AUGUSTO OLIVEIRA MATTOS

**Belém – PA
Setembro/2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA NAVAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, MARÉ E VAZÃO PARA
ANÁLISE DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.**

MATHEUS AUGUSTO OLIVEIRA MATTOS

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Faculdade de Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará como requisito final para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Transporte Aquaviário

Orientador: Dr. Nélio Moura de Figueiredo

Co-orientador: Dr. Maamar El Robrini

**Belém – PA
Setembro/2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

Mattos, Matheus Augusto Oliveira.

Análise da correlação existente entre precipitação, maré e vazão para análise de inundações na região metropolitana de Belém. / Matheus Augusto Oliveira Mattos -;

Orientador – Nélio Moura de Figueiredo - Belém, 2019.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo.

1. Correlação. 2. Drenagem Urbana. 3. Precipitação. 4. Tábuas de Maré. 5. Vazão.
- UFPA / BC

MATHEUS AUGUSTO OLIVEIRA MATTOS

**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, MARÉ E VAZÃO PARA
ANÁLISE DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.**

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Faculdade de Engenharia Naval do Instituto De Tecnologia da Universidade Federal do Pará Como Parte dos Requisitos Necessários Para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

Belém-PA, ____ de Setembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo

Membro Interno: Prof. Dr. Maamar El Robrinni

Membro Interno: Prof. Dr. Hito Braga de Moraes

Membro Externo: Prof. Dra. Elzelis Muller da Silva

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a minha amada mãe, Fátima Oliveira, ao meu Tio Manuel Joaquim, aos meus irmãos Joaquim Oliveira e Fabrício Oliveira, a minha companheira Thalissa Castro e aos demais familiares e amigos que participaram desta jornada, aos meus Mestres Docentes em especial ao professor Nélio Moura de Figueiredo por todo o apoio e conselhos que me mantiveram focado em busca deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a instituição UFPA, a todo seu corpo docente, direção e administração, por proporcionar ensino de excelência na área de Pós Graduação em Engenharia Naval.

Agradeço ao meu orientador e coordenador, o Professor Dr. Nélio de Moura de Figueiredo, por ter aceitado o desafio de direcionar essa dissertação, por todo o esforço e pela dedicação na elaboração deste trabalho, aos sábios conselhos sobre a complexa área de desenvolvimento de trabalhos na área acadêmica e pelos momentos de grande força e incentivo.

Agradeço ao meu Co-orientador, o Professor Dr. Maamar El Robrinni, pelo incentivo, pela confiança depositada, pela bolsa de incentivo a pesquisa mensal e pela atenção aplicada no desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço ao Professor Dr. Hito Braga de Moraes, pelo incentivo, pela confiança depositada e pela atenção aplicada no desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus irmãos, Joaquim Gabriel Ribeiro Oliveira e Fabrício Rodrigo Ribeiro Oliveira pelo incentivo, força, amor e motivação.

Ao meu tio, Manuel Joaquim da Silva Oliveira e a minha mãe Fátima do Socorro da Silva Oliveira. A esses dois pilares da minha vida agradeço pelo amor incondicional em diversos momentos de dificuldade e pelos valores passados.

Aos meus companheiros de Pós-graduação e de profissão que me acompanharam nesta jornada de pós-graduação, em especial a Ana Marinho Farias, Caio Benjamim, Marilene Portilho, Nilson Nahum Gomes, Vitor Cardoso. Agradeço a todos pelos momentos de descontração e pela convivência.

Agradeço ao meu grande amigo de infância Fernando Cruz, por todo apoio e auxílio depositado durante todo o processo de desenvolvimento da minha dissertação.

RESUMO

MATTOS, Matheus Augusto Oliveira. **Análise da Correlação Entre Precipitação, Maré e Vazão para Análise de Inundações na Região Metropolitana de Belém.** 2019. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

Em uma conjuntura de crescimento demográfico e de urbanização desenfreado, identifica-se o crescimento da impermeabilização do solo, com aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração natural de águas de chuva, que relacionados com a ausência de políticas públicas efetivas de planejamento urbano incluindo drenagem urbana, conduzem a diversas problemáticas atreladas a questões ambientais de Belém. Os alagamentos comumente ocorridos em Belém costumam carregar consigo diversos problemas de ordem ambiental, social e econômica que influenciam diretamente na dinâmica da cidade. O município possui diversas zonas que estão propensas a alagamentos, devido a intensas precipitações e marés altas que incidem com maior frequência durante o inverno amazônico, além do grande volume de resíduos produzidos na área e um sistema de drenagem pouco eficiente visando aferir de que maneira agentes naturais e antrópicos agem causando cheias e quais as principais implicações decorrentes, foi usado estatística multivariável, com Métodos Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MF-DFA) e Multifractal Detrended Cross-Correlation Analysis (MF-DXA) em séries temporais diárias de precipitação, vazão e maré ao longo do período de 30 anos, em estações localizadas em Belém, PA. Além de mapear os principais pontos problemáticos, onde os alagamentos costumam ser mais recorrentes, na perspectiva de fornecer subsídios para futuras pesquisas e obras públicas na área. Os resultados evidenciam que as possíveis mudanças de seu ciclo hidrológico ocasionadas pela pavimentação, aterro e o aumento da densidade demográfica, interferem diretamente em alguns fatores, tais como, a diminuição das taxas de infiltração e do escoamento superficial, acarretando no acúmulo de água na superfície. Diante dos resultados obtidos, infere-se que aplicado a bacia da estrada nova, fundamentado em análises da curva IDF, Hietogramas, Hidrogramas e a correlação entre precipitação e maré, os eventos de precipitação com valores acima de 20 mm associados com as marés altas comprometem a capacidade de drenagem, o que proporciona um local favorável ao surgimento das ocorrências.

Palavras-chave: Correlação; Drenagem Urbana Precipitação; Tábuas de Maré Vazão;

ABSTRACT

In a context of demographic growth and unbridled urbanization, the growth of soil sealing is identified, with increased surface runoff and decreased natural infiltration of rainwater, which is related to the absence of effective public policies for urban planning including drainage. urban climate, lead to various problems linked to environmental issues of Belém. The floods that commonly occur in Belém usually carry with them various environmental, social and economic problems that directly influence the dynamics of the city. The municipality has several areas that are prone to flooding, due to intense precipitation and high tides that occur most frequently during the Amazon winter, in addition to the large volume of waste produced in the area and an inefficient drainage system aiming to gauge how agents natural and anthropogenic activities cause flooding and what the main implications are, multivariate statistics were used, with Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MF-DFA) and Multifractal Detrended Cross-Correlation Analysis (MF-DXA) methods in daily time series of precipitation, flow and tide over the 30-year period at stations located in Belém, PA. In addition to mapping the main problem points, where flooding tends to be more recurrent, in order to provide subsidies for future research and public works in the area. The results show that the possible changes in its hydrological cycle caused by paving, embankment and the increase of demographic density directly affect some factors, such as the decrease of infiltration rates and runoff, resulting in the accumulation of surface water. . Given the results obtained, it is inferred that when applied to the nova nova basin, based on analyzes of the IDF curve, Hietograms, Hydrograms and the correlation between precipitation and tide, precipitation events with values above 20 mm associated with high tides compromise. drainage capacity, which provides a favorable place for the occurrence of occurrences..

Keywords: Correlation; Urban Drainage Precipitation; Tide Tables; Flow rate;

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Efeitos globais ocasionados pelo El Niño	32
FIGURA 02 – Efeitos globais ocasionados pelo La Niña	32
FIGURA 03 – Acontecimentos de El Niño e La Niña e suas respectivas intensidades	33
FIGURA 04 – Precipitação anual interpolada para o Estado do Pará. 1970-2007	36
FIGURA 05 – Precipitação mensal interpolada para o Estado do Pará. 1970-2007...	38
FIGURA 06 – Hidrograma típico.....	41
FIGURA 07 – Marés de sizígia e quadratura	42
FIGURA 08 – Constituintes de Maré	43
FIGURA 09 – Elementos de Maré	45
FIGURA 10 – Tipos de Maré	46
FIGURA 11 – Modelos de Maré.....	47
FIGURA 12 – Exemplificação de Pluviógrafo	48
FIGURA 13 – Estação Fluviométrica Automática	49
FIGURA 14 – Demonstração das situações de enchentes, inundação e alagamento...	52
FIGURA 15 – Áreas de Belém, pré dispostas a alagamentos	53
FIGURA 16 – Regiões Hidrográficas do Estado do Pará	55
FIGURA 17 – Mapa de Bacia Hidrográficas de Belém	57
FIGURA 18 – Ocorrência de inundações em Belém	58
FIGURA 19 – Localização da região de estudo na região metropolitana de Belém ...	59
FIGURA 20 – Esquema de análise e desenvolvimento da pesquisa.....	61
FIGURA 21 – Mapa de coleta de dados pluviométricos	63
FIGURA 22 – Mapa de coleta de dados de maré	65
FIGURA 23 – Delimitação da área trabalhada na bacia da estrada nova.....	78
FIGURA 24 – Mapa Geológico da região.....	80
FIGURA 25 – Mapa de Geomorfologia da região	81
FIGURA 26 – Mapa Hipsométrico da Região	82

FIGURA 27 – Curva IDF para o município de Belém/PA	85
FIGURA 28 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 01 para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos.....	88
FIGURA 29 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 01 para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos.....	89
FIGURA 30 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 02 Montante Dr Moraes para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos.....	90
FIGURA 31 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 02 Montante Dr Moraes para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos.....	91
FIGURA 32 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos.....	92
FIGURA 33 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos.....	93
FIGURA 34 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos.....	94
FIGURA 35 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos.....	95
FIGURA 36 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 03 para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos.....	96
FIGURA 37 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 03 para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos.....	97
FIGURA 38 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 04 para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos.....	98
FIGURA 39 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 04 para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos.....	99

FIGURA 40 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 01 tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos	103
FIGURA 41 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 01 tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos	105
FIGURA 42 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Dr. Moraes), tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos.	107
FIGURA 43 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Dr. Moraes), tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos.	109
FIGURA 44 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos.....	111
FIGURA 45 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos.....	113
FIGURA 46 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Jusante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos.....	115
FIGURA 47 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Jusante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos.....	117
FIGURA 48 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 03, tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos	119
FIGURA 49 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 03, tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos	121
FIGURA 50 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 04, tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos	123
FIGURA 51 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 04, tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos	125
FIGURA 52 – Análise das médias mensais de precipitação no município de Belém entre 2005 e 2017.....	130

FIGURA 53 – Análise de médias mensais de tábuas de maré máximas e mínimas em Belém entre 2005 e 2017.....	131
FIGURA 54 – Análise da precipitação e tábuas de maré durante o ano em Belém entre 2005 e 2017.....	132
FIGURA 55 – Histograma de análise da precipitação e tábuas de maré durante o ano em Belém entre 2005 e 2017.....	132
FIGURA 56 – Mapeamento de Suscetibilidade de inundações nos bairros da Bacia da Estrada Nova em Belém	133
FIGURA 57 – Mapeamento de Suscetibilidade de inundações com aglomerados subnormais nos bairros da Bacia da Estrada Nova em Belém.....	134

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Quantis de Precipitação (mm).....	74
TABELA 02 – Análise de indicadores com períodos entre 05 minutos e 60 minutos .	75
TABELA 03 – Análise de indicadores com períodos entre 60 minutos e 1440 minutos	76
TABELA 04 – Principais características Físicas das sub-bacias	77
TABELA 05 – Parâmetros características geomorfológicas das sub-bacias Hidrográficas	81
TABELA 06 – Parâmetros de modelagem das Sub-bacias Hidrográficas.....	83
TABELA 07 – Intensidade da precipitação	84
TABELA 08 – Altura da precipitação	85
TABELA 09 – Principais parâmetros adquiridos nas análises hidrológicas para TR 25anos.....	86
TABELA 10 – Principais parâmetros adquiridos nas análises hidrológicas para TR 50 anos	87
TABELA 11 – Resumo de informações dos Hietogramas.	101
TABELA 12 – <i>Resumo Hidrogramas de escoamento superficial em minutos com Tr de 25 anos.....</i>	<i>126</i>
TABELA 13 – <i>Hidrogramas de escoamento superficial em minutos com Tr de 50 anos.....</i>	<i>127</i>
TABELA 14 – <i>Hidrogramas de escoamento superficial em m³/s com Tr de 25 anos.....</i>	<i>128</i>
TABELA 15 – <i>Hidrogramas de escoamento superficial em m³/s com Tr de 50 anos.....</i>	<i>129</i>

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 01 – <i>S</i> – <i>Mann Kendall</i>	68
EQUAÇÃO 02 – <i>VAR (S)</i> – <i>Variância</i>	68
EQUAÇÃO 03 – <i>Z</i> – <i>Estatística do teste Z</i>	69
EQUAÇÃO 04 – <i>RS</i> – <i>Spearman</i>	69
EQUAÇÃO 05 – <i>T</i> – <i>T de Student</i>	70
EQUAÇÃO 06 – <i>R</i> – <i>Correlação de Pearson</i>	70
EQUAÇÃO 07 – <i>KC</i> – <i>Coefficiente de Compacidade</i>	72
EQUAÇÃO 08 – <i>F</i> – <i>Fator de Forma</i>	73
EQUAÇÃO 09 – <i>IC</i> – <i>Índice de Circulação</i>	73
EQUAÇÃO 10 – <i>I</i> – <i>Intensidade da Chuva em mm/h</i>	75
EQUAÇÃO 11 – <i>I</i> – <i>Intensidade da Chuva em mm/h no intervalo entre 05 minutos e 60 minutos</i>	75
EQUAÇÃO 12 – <i>I</i> – <i>Intensidade da Chuva em mm/h no intervalo entre 60 minutos e 1440 minutos</i>	76

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

α – *Nível de Significância*

A – *rea da Bacia em Km²*

AM – *Amplitude de Maré*

ANA – *Agencia Nacional de guas*

ARCGIS – *Software computacional para a gerao de mapas e imagens*

BM – *Baixamar*

CHM – *Centro de Hidrografia da Marinha*

CM – *Chuva Máxima*

CODEM – *Companhia de Desenvolvimento e Administrao da rea Metropolitana de Belém*

CPRM – *Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais*

CPTEC – *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos*

DHM – *Diretório de Hidrografia e Navegao da Marinha*

DHN - *Diretoria de Hidrografia e Navegao*

DIREH – *Diretoria de Recursos Hídricos*

EEPD – *Eventos Extremos de Precipitao Diária*

EL NIÑO – *Fenmeno Climático*

f – *Fator de Forma*

F – *Frequência*

H0 – *Hipótese Nula*

H1 – *Hipótese Alternativa*

H – *Altura Pluviométrica ou altura de precipitao*

HIDROWEB – *Sistema de Controle e Informaoes Hidrológicas*

I – *Intensidade*

IBGE – *Instituto Brasileiro de Geografia e estatística*

IC – Índice de Circulação

IDF – Intensidade-Duração-Frequência

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INO – Índice do Niño Oceânico

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPT – Instituto de Pesquisa e Tecnologia

KC – Coeficiente de Compacidade

L – Comprimento Axial da Bacia em Km

LA NIÑA – Fenômeno Climático

LI – Linha de Instabilidade

MICROSOFT OFFICE EXCEL – Software de análises estatísticas e gráficas

MINITAB – Software Computacional de análises estatísticas

MLWS – Mean Low Water Spring

N – Coeficiente de Manning

NA – Nível d'água

NM – Nível Médio

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

NR – Nível de Redução

P – Perímetro da Bacia em Km²

PCD's – Plataforma de Coleta de Dados

PM – Preamar

RPCH – Rede de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará

RPMB – Região Metropolitana de Belém

SCS – United States Soil Conservation Service

SCM – *Sistemas Convectivos de Mesoescala*

SECON – *Secretária de Economia*

SEMAS – *Secretária de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade*

SEMMA – *Secretária Municipal de Meio Ambiente*

SESAN – *Secretária Municipal de Saneamento*

SI – *Sistema Internacional*

STATIGRAPHICS – *Software Computacional de análises estatísticas*

T – *Duração*

TSM – *Temperatura da Superfície do Mar*

TR – *Período de Retorno*

UFPA – *Universidade Federal do Pará*

VCAN – *Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis*

ZCIT – *Zonas de Convergência Intertropical*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	Justificativa e Contribuição do Trabalho	23
1.2	Objetivo Geral	24
1.3	Objetivos Específicos	24
1.4	Procedimentos Metodológicos	25
1.5	Estrutura do Trabalho.....	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
3.1	Sistemas Atmosféricos recorrentes na Amazônia.	30
3.1.1	Alta de Bolívia	30
3.1.2	Zona de convergência Intertropical - ZCIT.....	30
3.1.3	El Niño e La Niña.....	31
3.2	Precipitação	33
3.3	Escoamento Superficial.....	39
3.4	Teoria de Marés.....	41
3.4.1	Comportamento e Elementos de Marés	44
3.4.2	Tipos de Maré.....	46
3.5	Análise de séries temporais	48
3.5.1	Aquisição de dados Pluviométricos.....	48
3.5.2	Aquisição de dados Fluviométricos	49
3.5.3	Controle de dados	50
3.6	Testes de Tendência Não Paramétricos.....	50
3.7	Curvas IDF- Intensidade, Duração e Frequência.	51
3.8	Inundações e seus Impactos	52
3.8.1	As consequências das inundações locais.....	54
4	MATERIAIS E MÉTODOS	60
4.1	Procedimentos Metodológicos	60

4.2	Coleta de dados	62
4.3	Precipitação	62
4.4	Maré	64
4.5	Calibração do Modelo	65
4.6	Relação do modelo Hidrológico com a Maré	66
4.7	Seleção do Modelo Numérico e Aplicação	67
4.8	Análise de Tendência das Séries	68
	4.8.1 Testes de Tendências.....	68
	4.8.2 Mann Kendall.....	68
	4.8.3 Spearman.....	69
	4.8.4 Análise da Correlação entre Precipitação e Vazão nas Regiões	70
	4.8.5 Pearson	70
	4.8.6 Avaliação das condições Regionais na área de estudo.....	71
	4.8.6.1 Área de Drenagem.....	72
	4.8.6.2 Coeficiente de Compacidade (Kc).....	72
	4.8.6.3 Fator de Forma (F)	72
	4.8.6.4 Índice de circulação (IC).....	73
4.9	Estudos Hidrológicos	73
	4.9.1 Chuvas Intensas	74
	4.9.2 Curva IDF.....	74
	4.9.3 Geração dos Hietogramas de Precipitação Efetiva.....	76
	4.9.4 Transformação Chuva-Vazão	76
4.10	Área de Estudo	76
	4.10.1 Geologia da região.....	79
	4.10.2 Caracterização Geomorfológica das sub-bacias Hidrográficas.....	80
	4.10.3 Determinação dos parâmetros da modelagem Hidrológica	82
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
	5.3.1 Relação de Curvas IDF	83
	5.3.2 Hietograma de precipitação total e efetiva.....	86
	5.3.3 Hidrogramas de Escoamento Superficial.....	101
	5.3.4 Comportamento da precipitação e da Maré no período de estudo	130
	5.3.5 Análise e Mapeamento de inundação na bacia da Estrada Nova	133

6	CONCLUSÃO.....	135
	REFERÊNCIAS	136

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Baggioto (2013), inúmeros são os motivos que indicam o provisãoamento e o manejo de água, tendo como resultado, as interferências no ciclo hidrológico, como: Intensidade, variabilidade temporal e espacial dos fenômenos hidrológicos que apontam a disponibilidade hídrica para todas as atividades, estejam ligadas a condições humanas; econômicas ou naturais.

Segundo Tundisi (2009) dentre os motivos que tem ocasionado a degradação dos recursos hídricos e os conduzido a um estágio finito, salientam-se o ágil desenvolvimento populacional e a urbanização vertiginosa; além da falta e insuficiência de gestão; a não afirmação e apropriação da ocorrência de interação entre a saúde humana e a qualidade da água; os impactos ambientais associados à diversas fontes; A ausência de debates deste recurso como um bem econômico; além dos inúmeros problemas associados aos aspectos sociais, políticos, financeiros e ambientais que são conduzidos de forma desacompanhadas entre si, tendo pouca efetividade.

Em Belém, bem como toda região amazônica, não possui a caracterização de suas estações do ano bem definida, já que apresenta somente dois ciclos climáticos, o verão (de junho a novembro) onde ocorrem os menores índices pluviométricos com valores entre 120 a 200 mm/mês e o inverno (de dezembro a maio) como dados que acumulados mensais variam entre 350 e 400 mm. (MORAES et al., 2005; SOUZA et al., 2009). Sendo nesse período de inverno amazônico que as taxas costumam se acentuar, e essa expansão no volume de águas, contribuí também o surgimento das marés elevadas (SOUSA, 2016).

Fatores naturais e antrópicos podem contribuir para o aparecimento ou degradação ao que tange aos alagamentos em uma estabelecida região. Contudo, existem outros elementos que podem ser considerados agentes influenciadores de alagamentos, destacando-se a forma da bacia hidrográfica; topografia da várzea; permeabilidade do solo na área da bacia; estrangulamento da drenagem; lançamento de águas servidas e esgoto na drenagem, entre outros com menor grau de intensidade (PEDRO; NUNES, 2012).

As dificuldades que são as principais no processo de ocupação das várzeas, estão relacionadas às regulares inundações relacionadas ao curso de drenagem natural deficiente, a baixa capacidade de suporte dos solos locais e a presença do lençol freático (RODRIGUES,

2010). O desempenho da ação humana inadequada dessas áreas gera uma sequência de impactos ambientais; acarretando na degradação da qualidade de vida da população, causando problemas de diferentes esferas que devem ser enfrentados (CARNEIRO et al., 2010). Analisando os sistemas mais impactados destacam-se as habitações em áreas de vales fluviais ou até mesmo em localidades que constantemente estão sujeitas a influência de marés, onde a população convive com situações, ligadas a alagamentos constantes em suas residências ou ainda em suas vias de acesso, odor gerado pela água parada e o lixo que geralmente é depositado diretamente nos cursos hídricos (PIMETEL et al., 2012). As perdas de solo resultantes da ocupação inadequada das áreas de várzea, também representam um problema recorrente junto com os efeitos das inundações (CERRI et al., 1997; SOUZA et al., 2005).

Diante deste cenário ligado a problemas sanitários de Belém, observam-se os bairros mais antigos que formam um complexo turístico, histórico ligados ao centro econômico da cidade, onde, pode-se visualizar a influência de vários dos agentes citados para a formação de grandes alagamentos e impactos socioambientais (SOUSA, 2016).

A precipitação em Belém é motivada por diversos fenômenos atmosféricos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidades (LI), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), o efeito de brisa e pela convecção local, que retrata um dos principais fenômenos responsáveis pela precipitação na época menos chuvosa (COHEN et al., 1995; SOUZA et al., 2009; REIBOTA et al., 2010; ALCÂNTARA, 2011; CAMPONOVARA e SILVA, 2011; MOURA e VITORINO, 2012; LOPES et al., 2013).

Santiago et al. (2011) indicam que a intensidade das chuvas no período de 24 horas (Chuva Máxima) vem crescendo ao longo dos anos e isso pode ser pertinente às alterações locais ocorridas, relativo ao processo de urbanização, que implicou em superior aquecimento da superfície ao nível do solo, maior convecção e, conseqüentemente, em maior aumento de chuvas por efeito local.

Diversos estudos evidenciam a influência das razões climáticas na vazão, onde, a precipitação é a que possui maior influência sobre a resposta hidrológica de uma bacia (YANG & LI, 2011, SINGH et. al., 2010). As interações não lineares entre vazão e precipitação representam a complexidade do ciclo de água, gerada pelos fatores ambientais como inclinação do terreno, cobertura vegetal e porosidade do solo (ZHANG et. al., 2011). O conhecimento da

natureza das correlações entre vazão e precipitação possui forte importância para desenvolvimento dos modelos de ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, além de realizar a avaliação da intervenção das alterações climáticas nos fenômenos ambientais (BESAW et. al., 2010).

Neste âmbito a análise estatística de tendências de séries temporais dos fenômenos hidrológicos, associada as modelagens matemáticas, são importantes métodos para auxiliar na aferição de alguns procedimentos relacionados a calibração de modelos de chuva-vazão, definição da disponibilidade hídrica de uma sessão hidrológica, além de determinar medidas estruturais e não estruturais relacionadas ao controle de inundações. Além de outros estudos relativos à gestão de recursos hídricos que utilizam as séries históricas. (SANTANA, SILVA e SANTOS, 2012).

Além de coletas dos dados em campo com registros fotográficos, identificação dos pontos de alagamentos, observações do sistema de drenagem, ação da precipitação e maré na área. Para chegar a resultados que demonstraram a influência de cada agente, confirmando que a maré alta, a forte precipitação e o sistema de drenagem são os mais atuantes para a problemática dos alagamentos, e que estes alagamentos causam grandes prejuízos socioeconômicos aos usuários e comerciantes, ao ponto de fazer estes deixarem de trabalhar nos dias incidentes, causando déficit na economia local.

Portanto, fundamentado na lógica exposta, esta pesquisa trata do estudo entre as variáveis precipitação, vazão, maré e comportas que analisadas a partir do monitoramento das componentes hidrológicas, fundamentadas em índices, series históricas, linhas de tendência, além de processos de correlação no intuito de gerar avaliações e modelos na bacia como critério para a tomada de decisão rápida e eficiente. A avaliação desse processo permite o gerenciamento de maneira racional relacionada aos usos múltiplos das águas, e geralmente, a análise está fundamentada no intuito de precaver possíveis situações de alagamento na cidade. (MACHADO, 2005).

1.1 Justificativa e Contribuição do Trabalho

Um dos fatores que impedem o conhecimento mais abrangente dos recursos hídricos da Amazônia é a falta de dados hidrológicos das pequenas e médias bacias hidrográficas da região. Isto, associado ao inadequado gerenciamento de recursos, acaba gerando problemas crônicos na região atrelados a inundações e problemas ligados a saneamento e saúde. Tais problemas são causados, em parte, pela dimensão da região, o que aumenta os custos de implantação e operacionalização da rede, bem como os custos de logística de deslocamento das equipes de técnicos incumbidos das validações condicionadas a medições, além da coleta de dados.

Uma alternativa para contribuir à solução deste problema, racionalizando recursos, é o desenvolvimento de modelos de estimativas que correlacionam variáveis que possuem influência para o entendimento e geração de possíveis cenários de inundação em áreas situadas nas bacias. Tais modelos podem, além de estimar a relação entre chuvas, vazões e maré ao longo de diferentes fases do ano, podem ser utilizados para a otimização da rede, determinando locais de implantação de novos postos pluviométricos, aumentando a densidade da rede, melhorando a eficiência do modelo de vistoria e regionalização. Esta ação, irá aumentar os dados de estimativa ligados a precipitação e vazão.

Assim, com um modelo de análise fundamentado em dados de séries temporais, com 30 anos de dados, irá caracterizar com maior propriedade as características de regionalização e quantificação dos recursos hídricos das médias ligadas as máximas, médias e mínimas de dados presentes nas bacias hidrográficas da região amazônica. Gerando, dados com a validação e correção de falhas, principalmente de dados de vazão, que são mais escassos e na maioria dos casos podem ser estimados através de modelos chuva-vazão, sendo a chuva advinda de modelos de regionalização. Oriundo dessa melhor quantificação, a utilização dos recursos hídricos na região, terá maior caracterização ao longo de seu ciclo hidrológico, o que resultará na melhoria do planejamento e gestão dos recursos hídricos amazônicos.

1.2 Objetivo Geral

Analisar correlações existentes entre precipitação, vazão e maré, como critério de aferição de inundações e proposição de medidas de gerenciamento de recursos e de ações aplicáveis ao município de Belém.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são sinteticamente apresentados logo abaixo:

- Caracterizar o regime pluviométrico e de maré;
- Organizar um banco de dados regionalizado de precipitação, vazão e maré com a correção das falhas ao longo da série temporal;
- Especificar e analisar a variabilidade e ou a formação de tendências entre as séries históricas abordadas;
- Gerar Hidrogramas para a Bacia da Estrada Nova;
- Gerar Hietogramas;
- Analisar o comportamento do município em períodos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña em seus anos de ocorrência;
- Estimar a relação entre a ocorrência de inundações e as variáveis hidrológicas ao longo de séries históricas;
- Identificar os agentes causadores dos alagamentos em áreas do centro comercial de Belém e como estes contribuem para o seu surgimento;
- Realizar um mapeamento sobre as áreas com maior frequência de alagamentos na bacia da estrada nova, com o objetivo de fornecer subsídios para futuras intervenções públicas na área;

1.4 Procedimentos Metodológicos

Para alcançar os objetivos propostos, propõe-se a realização do levantamento da bibliografia disponível em literatura especializada com base na pesquisa em meio eletrônico de dissertações, teses, artigos e projetos dentro dessa linha de pesquisa. Deve ser realizada a revisão e seleção bibliográfica dos artigos científicos, teses e dissertações, através da segmentação das principais teorias que podem ser aplicadas no processo de desenvolvimento deste trabalho.

Após a revisão e organização das principais referências teóricas será realizada a seleção e análise estatística fundamentada em métodos matemáticos, que, atrelados farão a modelagem computacional levando em consideração as características hidrológicas das bacias.

1.4.2. Aquisição de dados

Os dados foram obtidos em conjunto a Agência Nacional de Águas (ANA), Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN). Todos os dados estão disponíveis em plataformas virtuais dos órgãos ou em suas sedes localizadas no município. Para a tomada de decisão e aplicação dos dados, foram considerados apenas itens consolidados, com o cunho de ter assertividade na caracterização da Bacia da Estrada Nova.

1.4.3. Processamento de dados

Com a modelagem computacional concluída o procedimento de análise dos elementos e suas séries temporais pode ser realizado no intuito de determinar o nível dos alagamentos e suas zonas de maior incidência, relacionando com as características dos materiais, além do modelo utilizado nos canais que compõem a estrutura a partir das características dos locais.

O procedimento de compilação da análise dentro do ponto de vista da interação entre as variáveis incidentes e o local de aplicação será realizado em software computacional que simule o comportamento e características do modelo de análise. Nesse caso a ferramenta computacional MINITAB, STATGRAPHICS, EXCEL, permitem a simulação do

comportamento estatístico das variáveis em função das suas condicionantes hidrológicas. O modelo poderá ser acoplado as informações de históricas de alagamentos na região metropolitana no intuito de entender as condicionantes de ocorrência de inundações. Para a modelagem computacional relacionada ao processo de mapeamento, e geração de imagens georreferenciadas, utilizaram os softwares ARCGIS no intuito de demonstrar graficamente as relações pertinentes na área de aplicação. Com os resultados, o mecanismo de validação poderá ser desenvolvido e aplicado com base em dados oriundos da ANA, CPRMM, CHM, INMET, encontrados em base disponíveis em banco de dados online e consolidado testando a capacidade e aferição de dados computacionais para atestar a capacidade do sistema.

1.5 Estrutura do Trabalho

Logo abaixo delimita-se a estrutura da dissertação, sendo dividida em 06 capítulos apresentados da seguinte forma:

O capítulo 1 evidencia a Introdução do Trabalho contendo os aspectos de motivação para aplicação do trabalho, justificativa, objetivo geral, objetivos específicos, procedimentos de aplicação e estrutura organizacional para a pesquisa.

O capítulo 2 apresenta a revisão da literatura apresentando os principais ideais pesquisados e caracterizados na dissertação. Já no capítulo 3, é apresentada a revisão bibliográfica sobre assuntos que buscam estabelecer o referencial de importância e os fundamentos da pesquisa desenvolvida.

O capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada para a execução do objetivo proposto, com forte notoriedade para a caracterização da área de estudo e descrição geral do método, onde serão expostos também os maiores detalhes dos modelos utilizados no projeto.

Trazendo o capítulo 5, que irá expor os resultados da aplicação da metodologia ao caso aplicado em estudo, gerando gráficos comparativos e análises ao longo de seu período de avaliação, permitindo gerar as devidas considerações sobre a problemática abordada no trabalho.

O capítulo 6 analisa a dissertação apresentando as devidas conclusões e recomendações, com destaque especial para as possíveis tomadas de decisão em casos de elevadas possibilidades de inundação na região.

O capítulo 7 encerra a dissertação, expondo as referências bibliográficas que foram utilizadas para a confecção do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os principais aspectos teóricos mencionados por autores que abordaram conteúdos semelhantes ao da pesquisa, levando-se em conta os itens e variáveis para a aplicação dos métodos e seus modelos aplicáveis.

Andrade (2016), menciona que as mudanças ambientais globais trazem incertezas relacionadas com o aumento da frequência e intensidade dos desastres naturais. Além disso, menciona que as inundações são os desastres mais comuns na Amazônia. Visando diminuir as perdas relacionadas a desastres uma análise e avaliação de risco deve ser feita e está preconizada na gestão de risco brasileira. O autor menciona que o risco é função da ameaça e da vulnerabilidade. Avanços em avaliar a ameaça têm sido feita com muito êxito, e, recentes mudanças de pensamentos teóricos dão ênfase a avaliação e análise da vulnerabilidade.

Junior (2014), menciona que a bacia hidrográfica da Estrada Nova é expressão de alterações processadas e em processo na cidade de Belém, sendo assim, analisa os fatores que estão ligados a gênese de áreas de risco à inundação nesta bacia pautando-se em variáveis hipsométricas, climatohidrológicas e sociais segundo um viés integrado, sistêmico.

Braga (2014), menciona que a ocupação da área da bacia hidrográfica da Estrada Nova foi marcada pela segregação espacial sofrida pelas classes menos favorecidas economicamente, rebaixadas à periferia da Primeira Léguas Patrimonial da cidade. Constituída pelos bairros com cotas altimétricas mais elevadas, urbanizados e planejados para as classes econômicas altas e estruturas políticas do município. Restando as áreas de baixada ou com baixa cota altimétrica a ocupação desordenada e intensa do solo, acelerada pelo crescimento demográfico.

Silva (2017), menciona em sua pesquisa que o crescimento populacional desordenado observado na cidade de Belém, com a ocupação sem planejamento em áreas vulneráveis da cidade, se refletiu em problemas de drenagem pluvial urbana, resultando em inundações nas áreas habitadas. Tendo como objetivo de pesquisa contribuir para o planejamento e gestão da drenagem pluvial urbana de Belém-PA, com a simulação de cenários de escoamento da rede de macrodrenagem de parte da bacia da Estrada Nova.

Araújo Jr (2012), retrata que a geomorfologia fluvial busca a compreensão dos processos e formas relacionados aos cursos d'água, para tanto a cidade de Belém foi alvo de análise para compreensão a intrínseca relação de gênese, intensificação e transformação de formas e processos

fluviais atuantes no surgir de áreas de risco a inundações e alagamentos. Objetivando analisar ações empreendidas pelo poder público municipal no âmbito do Programa de Reabilitação Urbano-Ambiental na bacia hidrográfica da Estrada Nova.

Souza (2012), relata que as equações de chuvas intensas têm sido usadas como ferramenta importante para o dimensionamento de obras hidráulicas. Devido à grande carência de informações relativas às equações de chuvas intensas, dando foco em sua pesquisa para a obtenção das relações de intensidade, duração e frequência de precipitação pluvial para o Estado do Pará, utilizando-se a metodologia da desagregação da chuva de 24 h. Aplicando-se dados de séries históricas com variáveis pluviométricas de 74 cidades do Estado do Pará, obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas-ANA.

Braga (2014), relata em seus estudos que para a população burlar os problemas de infraestrutura, transformaram seu ambiente segundo suas necessidades de deslocamento, o excesso de passagens singulares para o tráfego dos pedestres e veículos altera a morfologia dos canais, com pequenas pontes improvisadas e habitações construídas sobre os dutos de vazão do canal, afetando seu funcionamento. Os canais sofreram diretamente com o entulho, lançamento direto de resíduos domésticos e esgoto de habitações construídas sobre os canais. Tal aspecto compromete o funcionamento do canal uma vez que carregados de material, ocorre o transbordamento em caso de chuvas ou maré alta.

Pontes (2017), aborda em suas análises que o município de Belém situa-se em uma região onde se acumulam as influências do regime fluvial e de marés, delimitada por uma extensa área de várzea urbanizada. O autor caracterizou-se a dinâmica das áreas de várzea do município em função da relação entre a variação da precipitação pluviométrica e a ocorrência de pontos de alagamentos. O método adotado constou da espacialização das ocorrências de alagamento em relação aos limites topográficos das áreas de várzea e caracterização do comportamento da precipitação pluviométrica, considerando sua variação de intensidade ao dia. Os resultados obtidos indicam que os pontos de alagamentos em Belém tem relação com as baixas topografias drenadas por 11 bacias hidrográficas de diferentes características físicas, porém existem ocorrências associadas a infraestrutura urbana inadequada, que dificulta o escoamento e a infiltração. A precipitação pluviométrica atua de forma conjugada ao efeito das marés para o aumento das condições de risco, porém a variabilidade das condições que influenciam a formação das áreas alagadas não permite inferir um volume mínimo capaz este processo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais aspectos teóricos que podem ser correlacionados com a problemática apresentada no capítulo 1 deste trabalho, levando-se em conta a delimitação dos aspectos básicos sobre o método aplicável assim como os seus modelos aplicáveis.

3.1 Sistemas Atmosféricos recorrentes na Amazônia.

3.1.1 Alta de Bolívia

Conforme Hachem (2016), ocorre pela formação de anti-ciclone em altos níveis (200h Pa), durante os meses de verão no período de Julho a Dezembro. Este fenômeno acontece pela localização da região amazônica estar na circulação geral da alta troposfera que ocorre na região sul. (FISH, MARENGO e NOBRE 1998).

Este fenômeno situa-se sobre a região dos altiplanos bolivianos. Marengo, (1992) explica que as convecções que ocorrem na região amazônica possuem relação direta com a formação deste anticiclone, pois a redução de escalas convectivas em alguns períodos de seca na região estava relacionada com o enfraquecimento do Alta da Bolívia.

Em relação ao posicionamento geográfico, Andrade (2007) menciona que a alta de Bolívia se inicia em outubro incidindo sobre o oeste da Amazônia, incidindo sobre a Bolívia no verão e deslocando-se em abril para a Amazônia Oriental. Exemplificando o fenômeno de variação intra-sazonal e intra-anual recorrente na região.

3.1.2 Zona de convergência Intertropical - ZCIT.

Segundo Hachem (2016), ocorre pela confluência dos ventos alísios de Nordeste e Sudeste. Este sistema atmosférico é encarado como um dos mais importantes e notáveis fenômenos que atuam na região. Localiza-se em uma região de baixa pressão atmosférica e elevados índices pluviométricos.

Em ocorrências de ZCIT, usualmente, está condicionado a grandes volumes de chuva. Segundo a Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SEMA, (2012) no estado do Pará, esse conjunto é o maior agente de chuvas, no período entre os meses de dezembro a maio.

3.1.3 El Niño e La Niña.

São ocorrências de gênese oceânica caracterizados pelo aquecimento incomum das águas do oceano Pacífico, especialmente, nos fragmentos central e leste, próximo da América do Sul. Apenas julga-se El Niño quando o aquecimento da água, ali presente, supera a média de 23 °C em proporções acima de 1°C. (Mendonca e Danni-Oliveira, 2007).

O fenômeno La Niña, possui características opostas ao do El Niño, já que se caracteriza pelo resfriamento singular das águas do oceano Pacífico.

Conforme o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, (2009) essas ocorrências meteorológicas caracterizam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Pacífico, podendo acarretar mudança climática em todo o Planeta, pois ocasionam alterações na circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, havendo como resultado a alteração na distribuição das chuvas nas regiões.

A ocorrência dos eventos de El Niño possui caráter irregular, usualmente, uma vez a cada três a seis anos. No decorrer do episódio de El Niño, as chuvas aumentam drasticamente em determinadas áreas do mundo, no tempo em que as secas graves ocorrem em outras regiões (Figura 1), e o fenômeno dura em média por um ano. Já os episódios de La Niña produzem modelos climáticos diferentes (Figura 2) aos observados durante um episódio de El Niño. (HOLMGREN; ET AL., 2001)

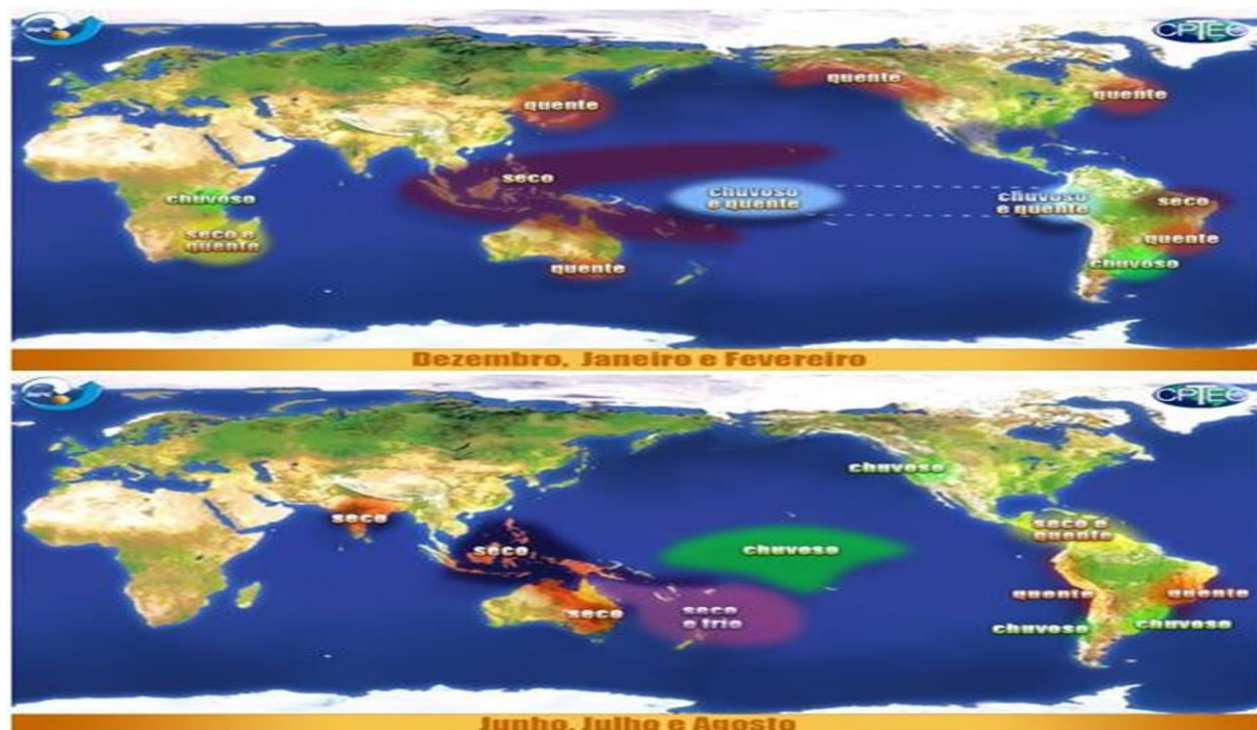


Figura 1 – Efeitos globais ocasionados pelo El Niño (Fonte: CPTEC / INPE, 2009)

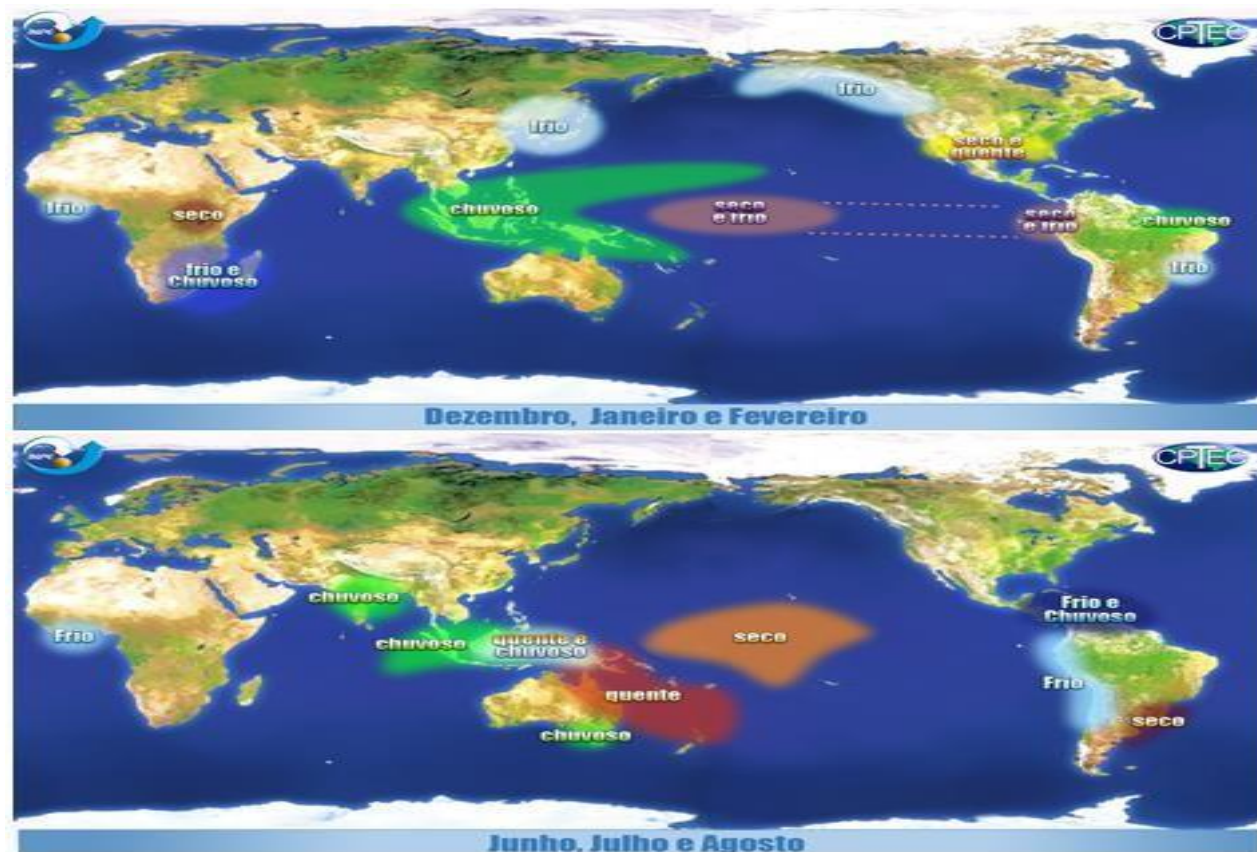


Figura 2 – Efeitos globais ocasionados pelo La Niña (Fonte: CPTEC / INPE, 2009)

Diante da análise dos trabalhos que mencionam os períodos de ocorrência do El Niño e La Niña, concebeu-se uma tabela de anos de ocorrência em função da sua intensidade em função do respectivo ano. Conforme pode ser observado na figura 3.

El Niño		La Niña	
1877 – 1878	1888 – 1889	1886	1903 – 1904
1896 – 1897	1899	1906 – 1908	1909 – 1910
1902 – 1903	1905 – 1906	1916 – 1918	1924 – 1925
1911 – 1912	1913 – 1914	1928 – 1929	1938 – 1939
1918 – 1919	1923	1949 – 1951	1954 – 1956
1925 – 1926	1932	1964 – 1965	1970 – 1971
1939 – 1941	1946 – 1947	1973 – 1976	1983 – 1984
1951	1953	1984 – 1985	1988 – 1989
1957 – 1959	1963	1995 – 1996	1998 – 2001
1965 – 1966	1968 – 1970	2007 – 2008	-
1972 – 1973	1976 – 1977		
1977 – 1978	1979 – 1980		
1982 – 1983	1986 – 1988		
1990 – 1993	1994 – 1995		
1997 – 1998	2002 – 2003		
2004 – 2005	2006 – 2007		
2009 – 2010	-		

Legenda:	
Moderado	
Forte	Fraco

Figura 3 – Acontecimentos de El Niño e La Niña e suas respectivas intensidades (Fonte: CPTEC / INPE, 2009).

3.2 Precipitação

Maciel (2017), menciona que a precipitação é um dos principais elementos físicos pertinentes à caracterização climática de uma determinada área. Sendo ela ação preponderante aos processos que fazem parte da dinâmica hidrológica de uma bacia. Esta última, inicialmente, pode ser associada as etapas de desenvolvimento do ciclo hidrológico.

A precipitação pode ser compreendida como o período do ciclo hidrológico responsável pelo retorno das águas condensadas na atmosfera para a superfície terrestre sob qualquer característica: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada. A precipitação pluviométrica tem seu princípio no momento em que o vapor de água presente na atmosfera condensa-se ao atingir elevadas altitudes ou encontrar massas de ar frias, constituindo as nuvens que quando carregadas de vapor de água retornam a superfície terrestre em forma de chuva. Esse fenômeno, considerado aleatório no tempo e no espaço, provém das intervenções de fatores climáticos, que são característicos das regiões (PINTO et. al., 1988).

As zonas que possuem maior valor relativo a precipitação, localizam-se no decorrer do paralelo do Equador, no qual existem baixas pressões e convergência dos ventos alísios para o Equador, enquanto que as de menor precipitação se situam sobre os paralelos dos trópicos, pois ocorrem elevadas pressões. Administrar as alterações incide, em compreender estes mecanismos e como eles agem em cada área de aplicação. Cabe ao entendimento que a intensidade de precipitação, de evaporação e de suas variações no decorrer do tempo (MOREIRA & ASSIS, 2004).

Garcez e Alvarez (1995) expõem em sua publicação as características que concernem a chuva.

a) *Altura pluviométrica ou altura de precipitação* (h): demonstra a quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal. É dada pela altura que a água alcançaria se ela se mantivesse no local da precipitação sem evaporar, escoar ou infiltrar. Sua unidade de medida geralmente é exposta em milímetros, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por de superfície. A altura pluviométrica pode se referir a uma chuva determinada ou a todas as precipitações ocorridas em determinado intervalo de tempo, podendo deter de variações que estão ligadas a alturas pluviométricas diárias, mensais, anuais.

b) *Duração* (t): Espaço de tempo percorrido entre o instante em que se iniciou a precipitação e seu término. Em relação a sua quantificação, adota-se como unidade de medida usual o minuto ou hora.

- c) *Intensidade (i)*: velocidade de precipitação , expressa por mm/min, mm/h ou litros/segundo/hectare.
- d) *Frequência*: número de vezes de acontecimentos de uma estipulada precipitação (definida por uma altura pluviométrica e uma duração) durante um intervalo de tempo fixo.

Conforme exposto por Moraes (2001) a análise de ocorrência da distribuição pluviométrica possui aspecto importante em função do planejamento racional de diversas atividades agrícolas, uma vez que, conhecendo dados referentes a precipitação mínima na região, com teor de segurança, pode-se produzir um planejamento eficiente de irrigações suplementares e a otimização da água disponível, possibilitando que o agricultor tome decisões mais confiáveis. Em função do aspecto ligado a hidrologia que trata dos processos pelo qual se pode medir, ou avaliar, valores que representem, ou quantifiquem o tamanho de um evento de precipitação em uma região ou uma bacia hidrográfica. O entendimento dos totais precipitados compõe elemento importante na definição das vazões superficiais e, por conseguinte suas disponibilidades para gerenciamento do recurso hídrico.

De acordo com Brandão (2001), os eventos naturais extremos que mais impactam em ações humanas no Brasil são os eventos climáticos. Estes estão atrelados aos fatores naturais, associados às disritmias no sistema meteorológico, embora venham sofrendo a atuação do homem, que contribui para sua maior frequência, intensidade e expansão areolar. Na figura 4 pode-se observar o mapa do estado do Pará com precipitação média por ano, através do método da interpolação.

CLIMATOLOGIA PRECIPITACAO PARA (mm/ano)

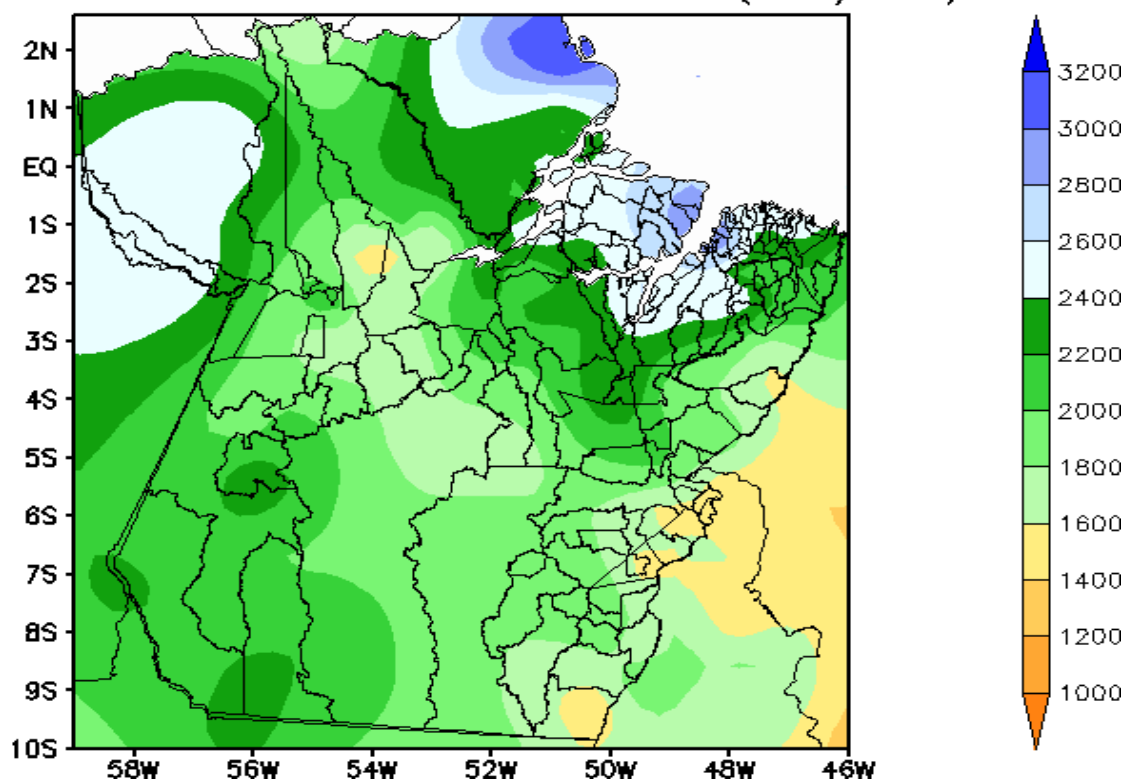
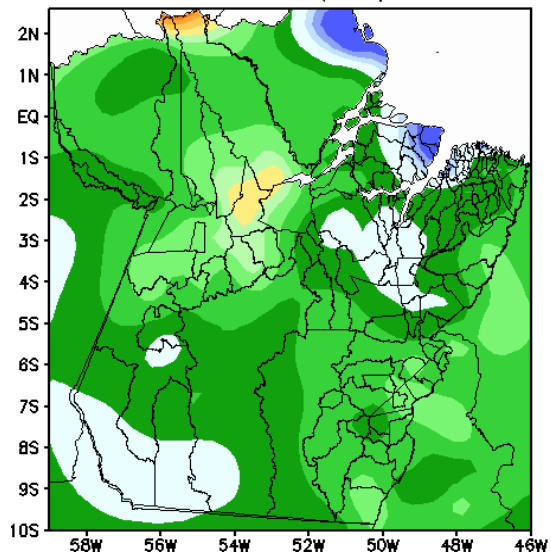


Figura 4 – Precipitação anual interpolada para o Estado do Pará. 1970-2007 (Fonte: RPCH, 2007)

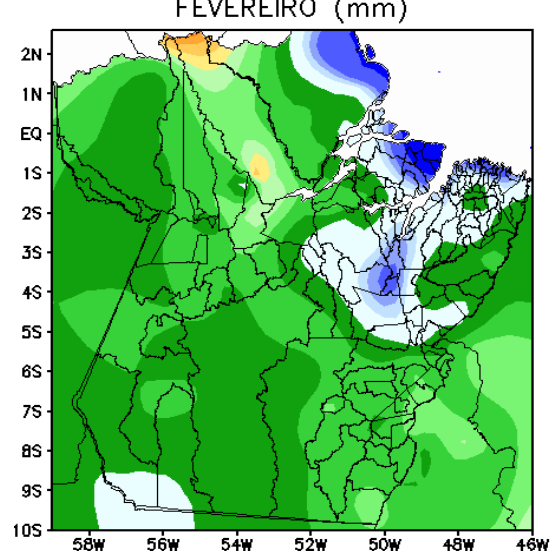
Cabe ressaltar que, dos 144 municípios, apenas 33 possuem **monitoramento contínuo em tempo real** com estações meteorológicas convencionais e automáticas, operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Secretaria de Estadual de Meio Ambiente (SEMA-PA).

As informações climáticas resultantes da análise mensal de precipitações permitem gerar o conhecimento de dados do período seco e chuvoso para cada município. Diante da variação em decorrência dos fenômenos climáticos de variabilidade sazonal e interanual (El Niño, La Niña, Oscilação Decadal do Pacífico). A figura 5 evidencia os períodos de precipitação interpolada em função dos meses no estado do Pará, tendo em relação aos postos de medição de chuvas, geograficamente fixados obedecendo a certa regularidade na distribuição espacial e com o cunho de prover dados para constituir séries históricas ininterruptas e confiáveis.

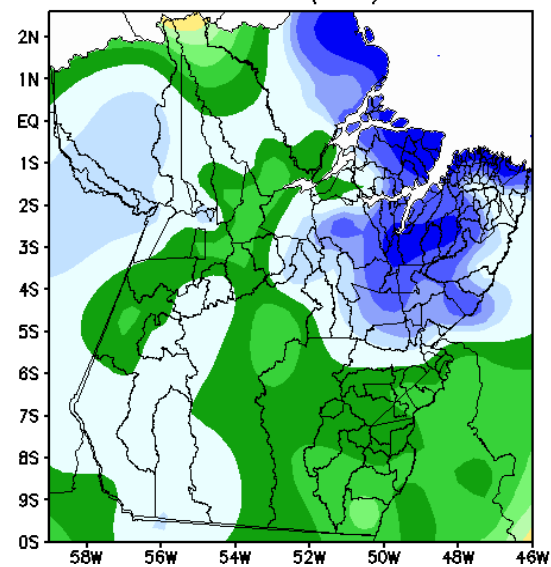
JANEIRO (mm)



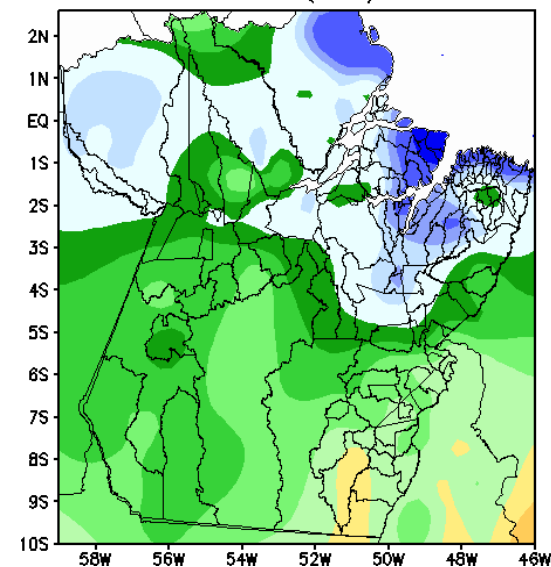
FEVEREIRO (mm)



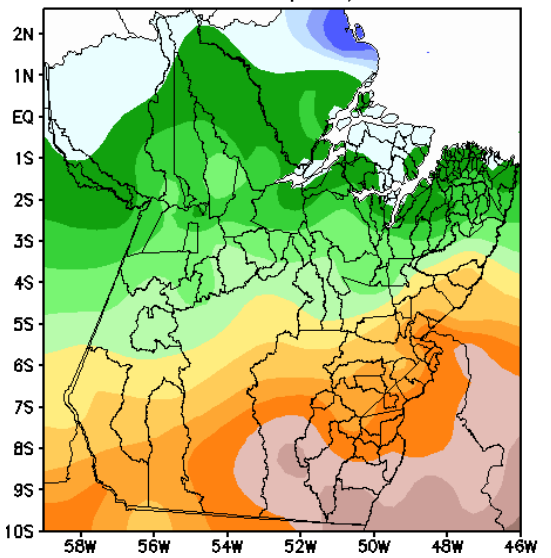
MARÇO (mm)



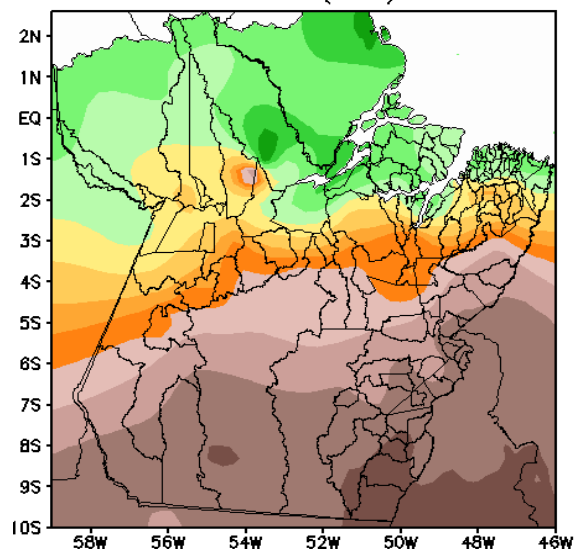
ABRIL (mm)



MAIO (mm)



JUNHO (mm)



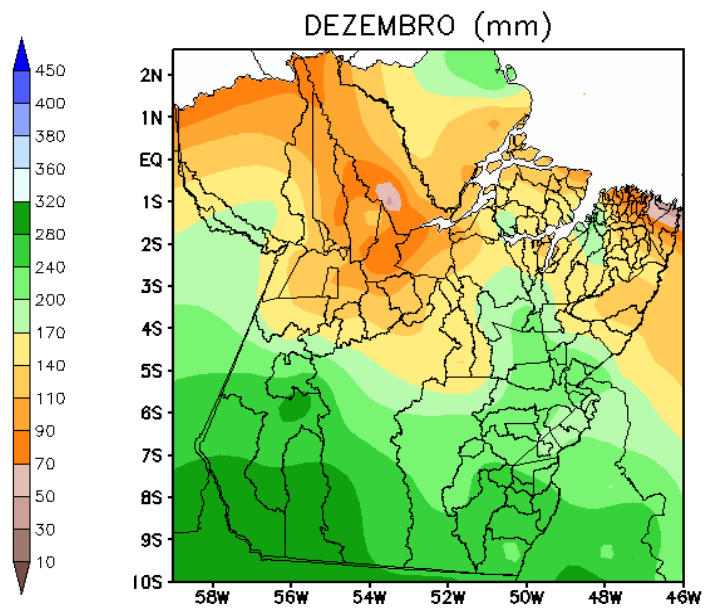
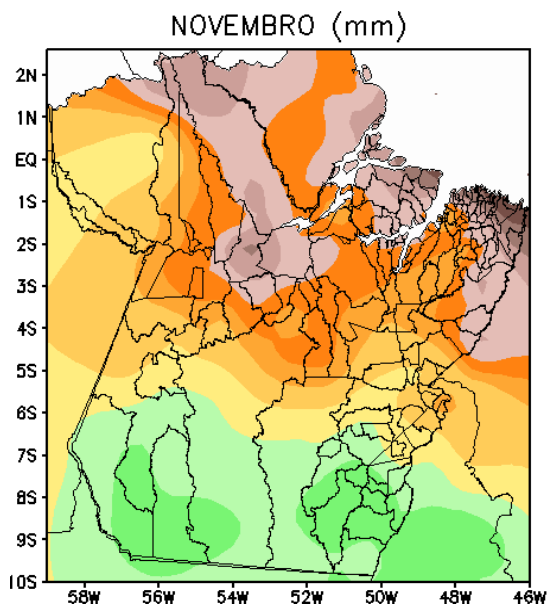
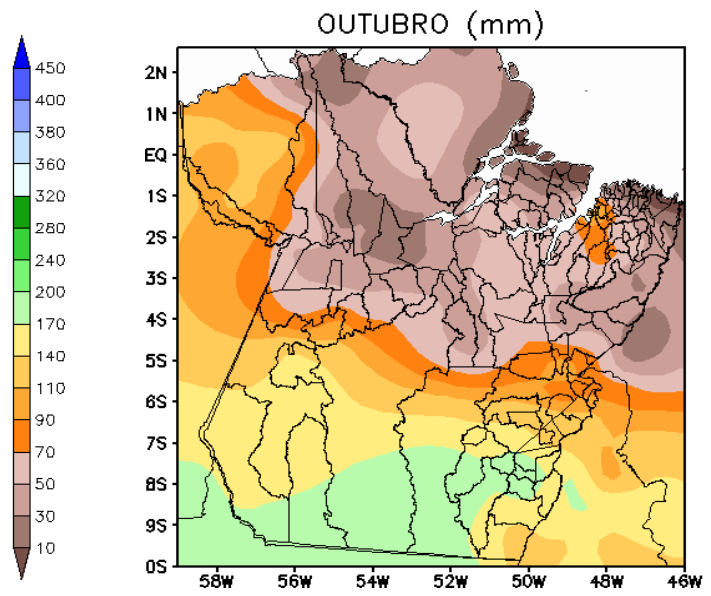
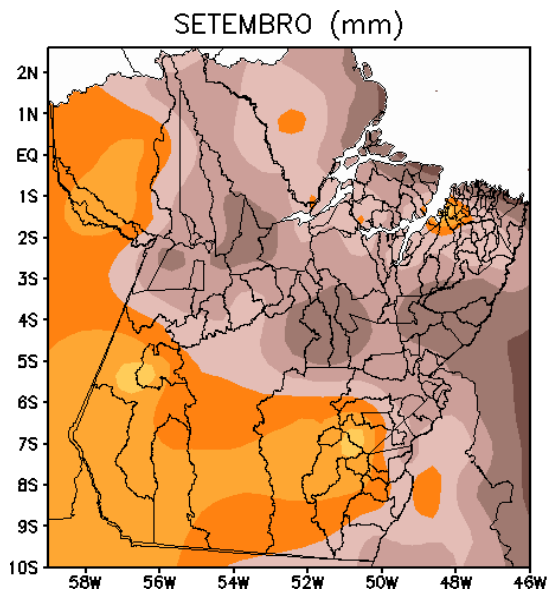
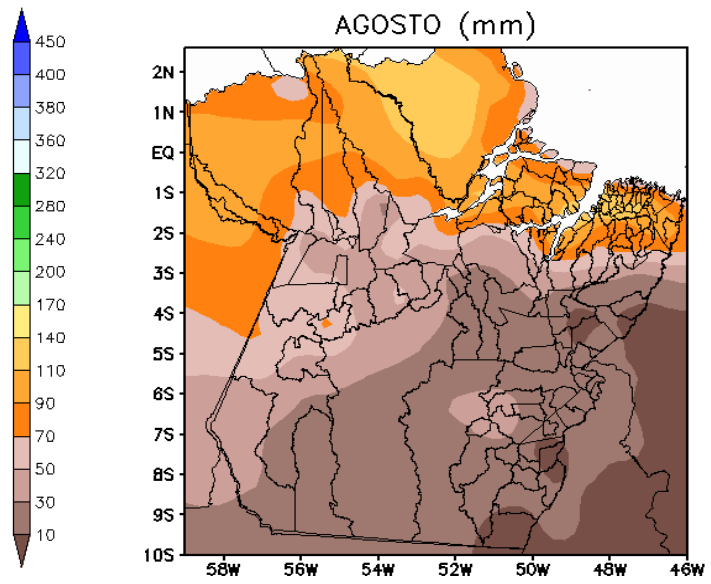
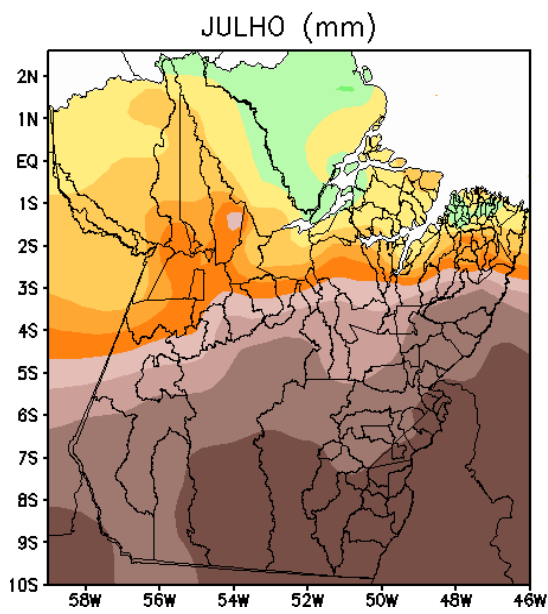


Figura 5 – Precipitação mensal interpolada para o Estado do Pará. 1970-2007 (Fonte: RPCH,2007).

Assim, eventos pluviométricos incomuns estão relacionados a atividade ambiental, contudo podem estimular impactos no ambiente físico, biológico e às atividades humanas (NUNES, 2003). Deste modo, a caracterização do comportamento das precipitações em determinada área é fundamental para a análise de vulnerabilidade e enchentes (LUIS; HERRMANN, 2003).

3.3 Escoamento Superficial

Chagas (2014), relata que o escoamento superficial é caracterizado como o volume de água que se transporta em determinada seção do rio por unidade de tempo, sendo estipulada por variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo. É expressa comumente em m^3/s pelo sistema internacional (SI) de medidas. A vazão do rio cresce à medida que ocorre o transporte da montante (região mais alta do rio) para a jusante (áreas rio abaixo) até sua foz. Todavia, diante de análises de medições do escoamento é possível verificar áreas em que o ponto medido a jusante apresenta valores inferiores de vazão que a montante. Este atributo pode ser inferido diante da dinâmica de transferência de energia, explicado pela transferência de água para dentro da planície fluvial, formando áreas alagadas e lagos próximos ao canal. (CARVALHO, 2007).

Pinto et. al. (1988) caracteriza dois modelos de vazão em sua publicação. Sintetizando em vazões normais e vazões de inundação. A primeira está relacionada com o escoamento no durante o manejo da água e a segunda com o que ultrapassa de um valor limite, ou seja, excedem a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos de água. Essas vazões podem estar relacionadas a um dado momento ou aos quantitativos de mínimo, máximo ou médio de uma determinada amostragem em dado intervalo de tempo (dia, mês ou ano). A associação que presente entre a vazão em uma seção do curso de água e a área da bacia hidrográfica denomina-se como vazão específica ou contribuição unitária.

Garcez e Alvarez (1995) evidenciam que a análise do comportamento das vazões médias mensais é importante nos cálculos prévios de potência e energia de usinas hidrelétricas. A compreensão detalhada dos níveis de água e das vazões em uma determinada seção é extremamente importante para a navegação, controle de inundações, potências disponíveis, variabilidade num ciclo hidrológico, entre outros (CHAGAS, 2014).

Os dados diários de vazão e níveis de água nos rios estão diretamente relacionados em função do tempo. O escoamento que ocorre em um dia, está ligada a vazão que decorre em dias anteriores e às que ocorreram nos dias seguintes. A ligação entre esses valores possui menor relação à medida que a variação de tempo cresce (GARCEZ & ALVAREZ, 1995). Teoricamente, a vazão fluvial possui uma elevada correlação linear com a precipitação. Todavia, pode sofrer influência de outras condicionantes como a superfície, sendo ela antrópica ou não. Deste modo a vazão fluvial ao longo do tempo pode expressar variabilidade representativa das teleconexões atmosféricas refletidas nos campos das demais atividades atmosféricas (SILVA, 2013).

A vazão de um rio está diretamente relacionada a condicionantes físicas do mesmo, em função da precipitação e ao escoamento. Há ainda, a importância em função dos fatores naturais como sendo os seguintes: o relevo, a forma e o tamanho da bacia hidrográfica, a densidade e a distribuição da rede de drenagem, o tipo e a profundidade do solo presente no local, o tipo de leito fluvial e sua profundidade, o tipo do canal fluvial, a duração e a intensidade da precipitação e, por fim, a circulação costeira sendo denominadas como marés de sizígia ou de tempestades (FIGUEIREDO, 2016).

Pinto et. al. (1988) caracterizam o ciclo da precipitação fundamentado da seguinte maneira: Diante do início da precipitação, porção das águas será direcionada para a vegetação, ficando retida pelo contato com os obstáculos e bloqueada nas depressões do terreno até preenchê-las completamente. Depois do preenchimento das depressões e capacidade de infiltração no solo, ocorre o início do intervalo do suprimento líquido, que é caracterizado pelo escoamento superficial. A chuva residual inicia-se próximo ao fim da precipitação quando o volume de água de chuva é inferior à capacidade de infiltração no solo. Em consequência a este fato, toda a precipitação se impregna, além de uma parcela da água que está sobre a superfície do terreno, no fim do intervalo do suprimento líquido. A essa infiltração denomina-se infiltração residual (CHAGAS, 2014).

O excesso de precipitação total é definido pelo escoamento superficial total acrescido da diferença entre a chuva residual e a infiltração residual (CHAGAS, 2014). A relação entre vazão, precipitação e escoamento pode ser representada através da construção do hidrograma,

representado na figura 6, a qual apresenta a curva de vazão registrada em uma seção de um curso de água devida a uma precipitação ocorrida na bacia hidrográfica correspondente.

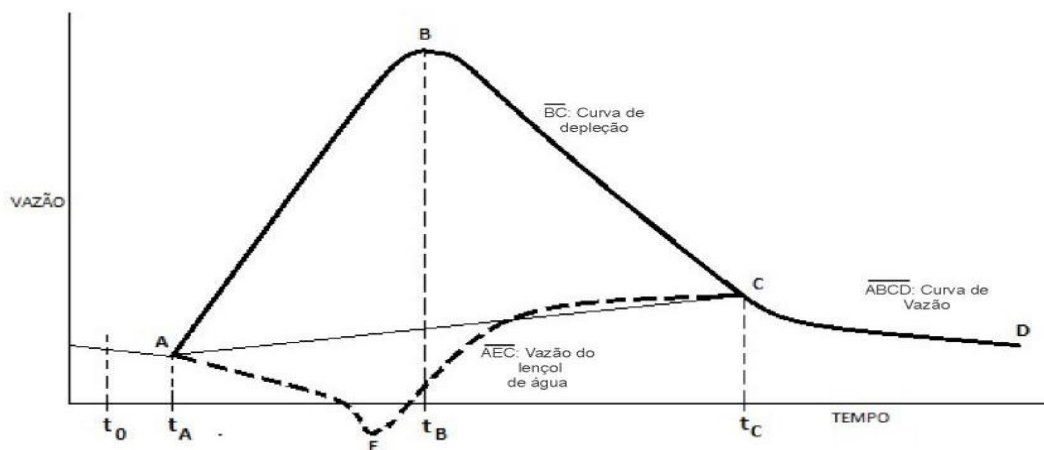


Figura 6 – Hidrograma típico. Fonte: PINTO ET. AL., 1988.

Visualizando o gráfico pode-se inferir que com o início da precipitação, período dentro do intervalo de tempo correspondente da precipitação inicial, o nível da água começa a elevar-se. A vazão aumenta a partir do ponto A em direção ao ponto correspondente B, quando atinge o seu valor máximo. A duração da precipitação é igual ou menor ao intervalo de tempo a terminada a precipitação, o escoamento superficial tem sequência durante determinado intervalo de tempo, observando-se que a curva de vazão vai decrescendo. Em relação ao trecho BC denomina-se curva de depleção do escoamento superficial.

3.4 Teoria de Marés

As marés são a consequência de uma complexa interação entre a rotação do sistema Terra- Lua ao redor de seu centro de massa, a translação do sistema ao redor do Sol, a rotação da Terra ao redor de seu próprio eixo, e a topografia do fundo oceânico (SEIBOLD e BERGER, 1993, p. 132).

A Lua e o Sol são os grandes responsáveis pela geração das marés. Contudo, a localização relativa entre desses dois astros sofre variação ao longo do tempo devido aos movimentos de rotação, declinação e translação. Desta maneira, com base em sua posição entre os três astros haverá configurações diferentes nas amplitudes de maré ao longo do tempo.

Duas dessas configurações (Figura 7) recebem nomes especiais: maré de sizígia (ou maré viva) e maré de quadratura também conhecida como maré morta (ESPINDOLA, 2012).

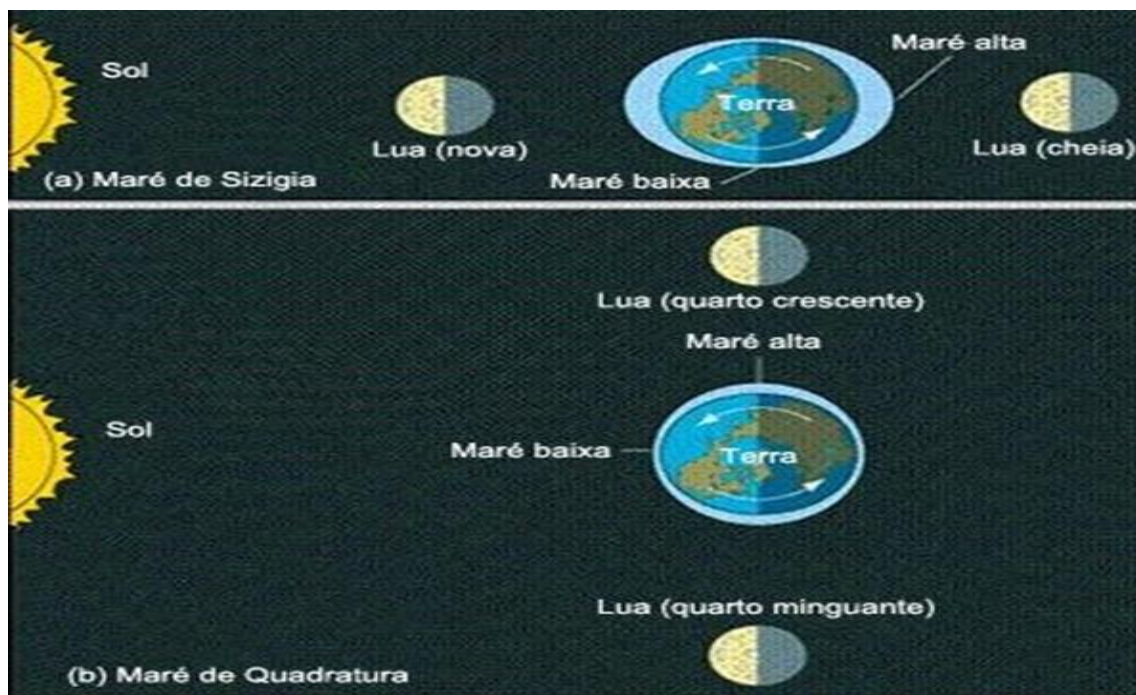


Figura 7 – Marés de sizígia e quadratura. Fonte: Adaptado de : (HERIOT WATT UNIVERSITY, 2012).

Na ocasião em que, a Lua, a Terra e o Sol estão alinhados, caracterizando fases das luas cheia e nova, temos que os efeitos de maré de ambas são agrupados gerando assim as maiores marés altas e as menores marés baixas. Essa característica das marés é chamada de marés de sizígia (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 200).

Logo, nos quartos crescente e minguante da Lua, observa-se que os três astros formam entre si um ângulo de 90° . Desse modo, os efeitos de maré dos dois ao contrário de ocorrer a somar, conforme evidenciado no caso das marés de sizígia, são reduzidos nessa caracterização, recebendo a nomenclatura de maré de quadratura (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 200).

Quando uma maré de sizígia coincide com a Lua e o Sol nos pontos mais próximos da Terra, e ainda com a declinação zero destes astros, ocorrem as maiores alturas de maré possíveis. (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 65). Contudo, a combinação responsável por gerar esses fatores, só acontece em grandes variações de anos. (PUGH, 1987, p. 84).

A altura da maré em um determinado local é resultado da soma das diversas constituintes harmônicas que lá atuam. Cada constituinte representa um movimento astronômico atrelado com a Terra, a Lua, e/ou o Sol (MARTINS e REIS, 2007, p. 1). As constituintes, de acordo com sua periodicidade, são divididas em três tipos: semidiurna, com período de meio dia; diurna, com período de um dia; e de longo período, com periodicidade maior que um dia (POND e PICKARD, 1983, p. 259).

A presença dos continentes e alguns efeitos locais alteraram o tamanho relativo de várias das constituintes em um determinado local (DEAN e DALRYMPLE, 2002, p. 76). Assim, a amplitude e a fase das constituintes harmônicas, Figura 8, são características que variam de local para local. Contudo, a periodicidade, por estar relacionada aos astros, é constante independentemente do local (MARTINS e REIS, 2007, p. 2).

São conhecidas, atualmente, cerca de 400 constituintes de maré (DEAN e DALRYMPLE, 2002, p. 76). Fenômenos como erosão, assoreamento e obras portuárias podem alterar as características da maré, por isso, é importante a renovação, sempre que possível, das constituintes harmônicas (MARTINS, SERPA e REIS, 2005, p. 59).

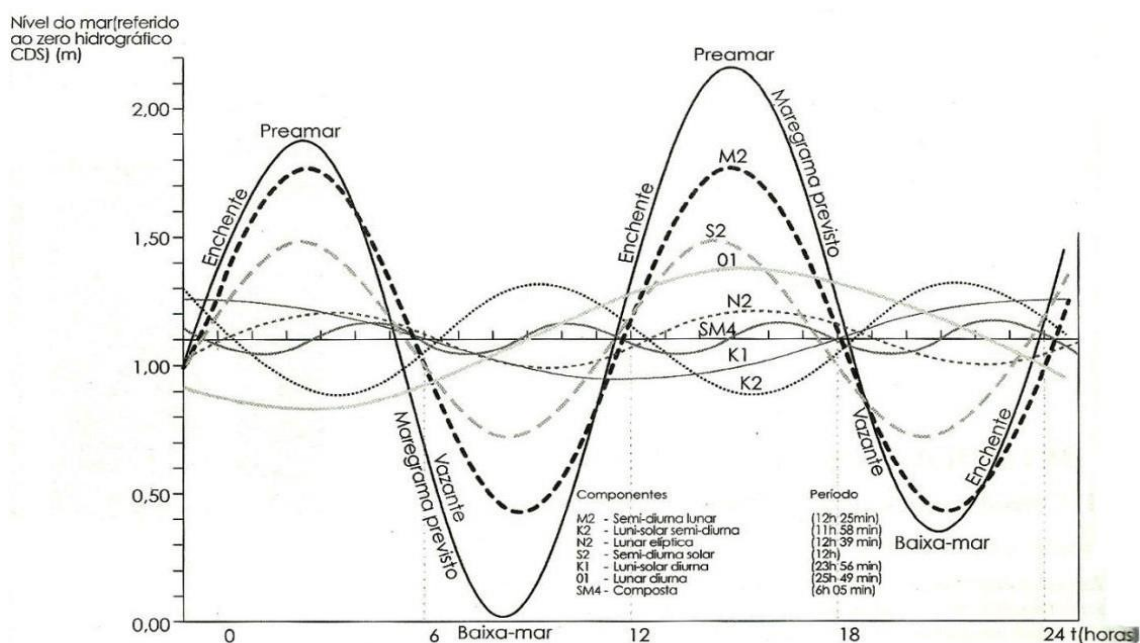


Figura 8 – Constituintes de Maré. Fonte: (ALFREDINI, 2005, p. 76).

3.4.1 Comportamento e Elementos de Marés

Na atualidade diante dos conhecimentos obtidos em função do tempo e dos estudos realizados, o fenômeno das marés é conhecido e possui boas inferências na literatura de autores conceituados. Todavia, antiguidade os navegadores gregos e romanos desconheciam, suas variáveis e imaginavam que detinham de pequenas amplitudes de variação (WEYL, 1970, p. 238).

No decorrer do século XVIII, Laplace trabalhou na Teoria Dinâmica da Maré que tentava explicar como a profundidade e a configuração dos oceanos, a força de Coriolis, a inércia, e as forças de atrito influenciariam o movimento das massas de água devido aos astros (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 67). Neste estudo, as marés não seriam mais bulbos de água assumindo caráter de ondas de marés com período correspondente ao dos seus forçantes (DEFANT, 1958, p. 42). Laplace inferiu que as marés poderiam ser representadas como uma série de oscilações harmônicas (EHRET, 2008, p. 41). Com base neste estudo, Thomson (Lord Kelvin), a partir de 1868, desenvolveu o método da análise harmônica para previsão das marés (DRONKERS, 1964, p. 5).

Em sua dissertação Espindola (2012), afirma que devido a inconsistências em estudos preliminares, Laplace, no século XVIII, desenvolveu a Teoria Dinâmica da Maré. Nessa teoria, as periódicas forças atrativas geraram ondas com intervalos correspondentes as constituintes harmônicas (POND e PICKARD, 1983, p. 261), sendo assim, nessa teoria as marés são vistas como ondas forçadas, as chamadas ondas de maré e, possuem características de onda de água rasa, pois seu período de aproximadamente 20.000 km (aproximadamente meia circunferência da Terra) é muito maior que a profundidade média dos oceanos, 4 km. Portanto, tal como qualquer outra onda, ela está sujeita a refletir, refratar, interferir com outras ondas, sentir o fundo, desacelerar, se elevar e até quebrar (SATO, 2010, p. 86).

Pela Teoria Dinâmica a análise e inferência do fenômeno em determinada região necessita-se verificar a profundidade local, a configuração da bacia oceânica, a força de Coriolis, a força de inércia e as forças friccionais, estas variáveis influenciam diretamente no comportamento do fluido (PASSOS, 2008, p. 23).

Diante do seu comportamento semelhante ao de uma onda, a maré é uma função periódica do tempo e pode ser interpretada diante de dois eixos ortogonais, onde o eixo vertical indica a altura da maré (h) e o eixo horizontal o instante (t) em que essa altura acontece (MINGUENS, 1996, p. 231-232). Conforme o gráfico da figura 9 pode-se caracterizar os seguintes elementos:

- Preamar (PM) – Maior altura que alcançam as águas em uma elevação da maré (Ocorre nos instantes c e i).
- Baixa-Mar (BM) – Menor altura que alcançam as águas em uma declinação da maré (Ocorre no instante e).
- Amplitude da maré – Distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas.
- Nível médio – Valor médio em torno do qual a maré oscila.

Enchente – Intervalo de tempo durante o qual o nível do mar se eleva (Ocorre no intervalo entre e e i).

- Vazante – Intervalo de tempo durante o qual o nível do mar baixa (Ocorre no intervalo entre c e e).
- Nível de redução (NR) – Nível a que são referidas as alturas das águas. O NR adotado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) é normalmente o nível médio das baixa-mares de sizígia (MLWS – *Mean Low Water Spring*).
- Ciclo da maré – Período de tempo entre uma PM e a BM que lhe segue. Altura da maré – Distância vertical entre o nível do mar em um determinado instante e o nível de redução.

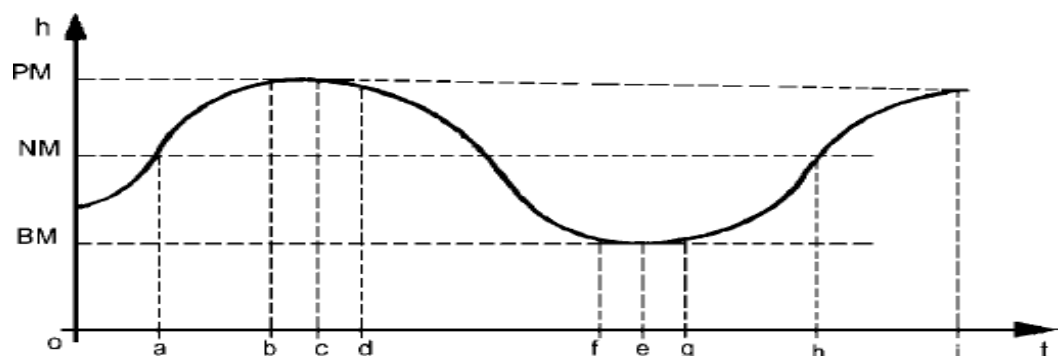


Figura 9 – Elementos de Maré. Fonte: (MINGUENS, 1996).

3.4.2 Tipos de Maré.

Partindo do pressuposto de que a Terra fosse coberta por uma camada uniforme de água teríamos continuamente marés semidiurnas em todas as regiões do planeta. Entretanto, o cenário real é completamente diferente (SATO, 2010, p. 85). Na realidade temos três modelos diferentes de maré: marés semidiurnas, mistas e diurnas (Figura 10). O tipo de maré de uma determinada localidade esta atrelada diretamente ao formato da bacia onde ela se forma (SATO, 2010, p. 83), pois as variações locais afetam as constituintes de maré, conforme exposto previamente.

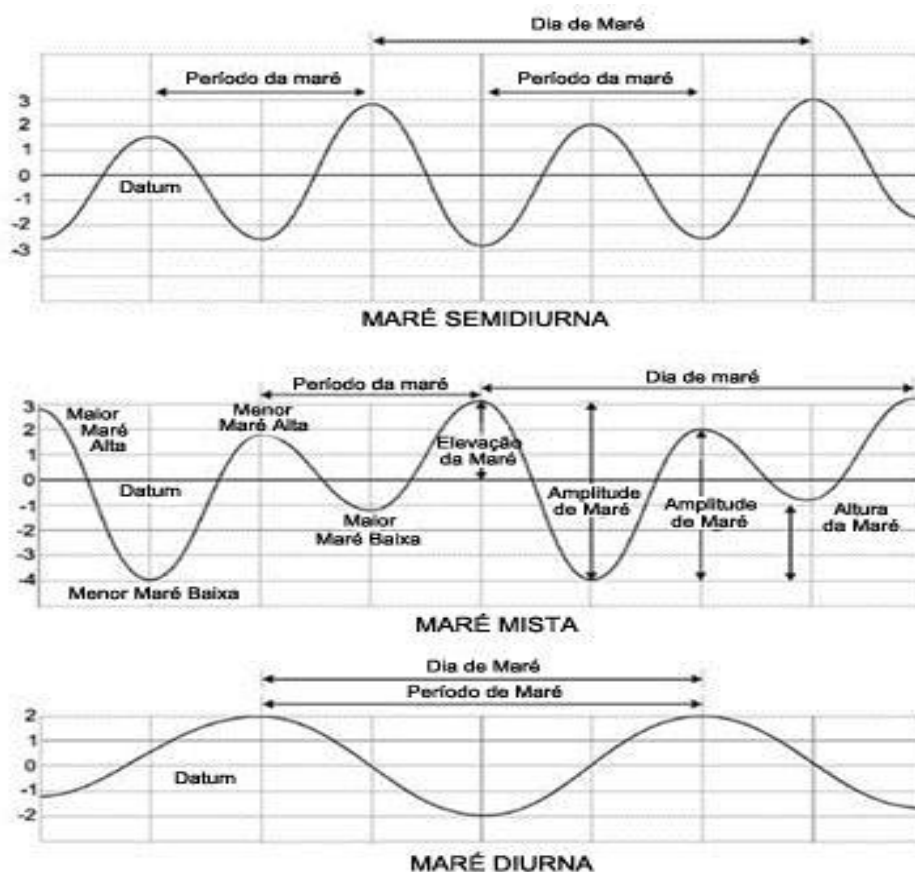


Figura 10 – Tipos de Maré. Fonte: Adaptado de (DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2005).

As Marés Diurnas, caracterizam-se por deter de período igual ao do dia lunar, ou seja, 24h50min. E assim, apresentam apenas uma maré alta e uma maré baixa por dia (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201). Elas estão diretamente relacionadas as

declinações solar e lunar, e estão correlacionadas às desigualdades diurnas provocadas por esses movimentos (PUGH, 1987, p. 81).

As marés Semidiurnas apresentam período de 12h25min, respectivamente a metade das marés Diurnas, detendo de marés altas e marés baixas do mesmo dia apresentam alturas aproximadamente iguais. As constituintes M_2 e S_2 são as mais importantes na formação desse tipo de maré porque controlam o ciclo das marés de sizígia e quadratura (BROWN, COLLING, *et al.*, 1999, p. 72). Marés desse modelo são visualizadas em boa parte das costas banhadas pelo Oceano Atlântico (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201).

As marés mistas normalmente apresentam períodos de 12h25min semelhante as marés semidiurnas. Contudo, ao contrário delas, que apresentam as marés altas e as marés baixas do dia com alturas semelhantes, as marés deste tipo apresentam as duas marés altas e/ou as duas marés baixas diferentes uma da outra (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201). Em alguns lugares, entretanto, durante as marés de quadratura a maré no local se torna diurna. (POND e PICKARD, 1983, p. 266). A figura 11 demonstra a área de aplicação dos modelos de Marés ditos acima (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981, p. 201).



Figura 11 – Modelos de Maré. Fonte: Adaptado de (DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2005).

3.5 Análise de séries temporais

Define-se série temporal como sendo um conjunto de análises ordenadas no tempo, onde não há a obrigatoriedade de ser necessariamente espaçadas, diante de sua configuração caracterizam-se por apresentar dependência serial, isto é, dependência entre instantes de tempo. (PUC, 2012).

3.5.1 Aquisição de dados Pluviométricos

Conforme Collischonn et. al. (2008), a aquisição de dados pluviométricos pode ser realizada em função de quatro métodos distintos (Método tradicional, Uso de radar meteorológico, Uso de satélite, Reanálise).

Segundo Garcez (2002), no Brasil a precipitação é medida normalmente através dos equipamentos: pluviômetros e pluviógrafos. Sendo os primeiros simples receptores de que recolhem água precipitada e armazenando-a convencionalmente para posterior medição volumétrica, através de provetas graduadas. Já os segundos são equipamentos que registram continuamente a chuva recolhida registrando, através de gráficos, os dados obtidos. Com isso é possível a identificação da intensidade da precipitação ao longo do tempo. Na Figura 12 podemos identificar os equipamentos pluviógrafo e pluviômetro, respectivamente.

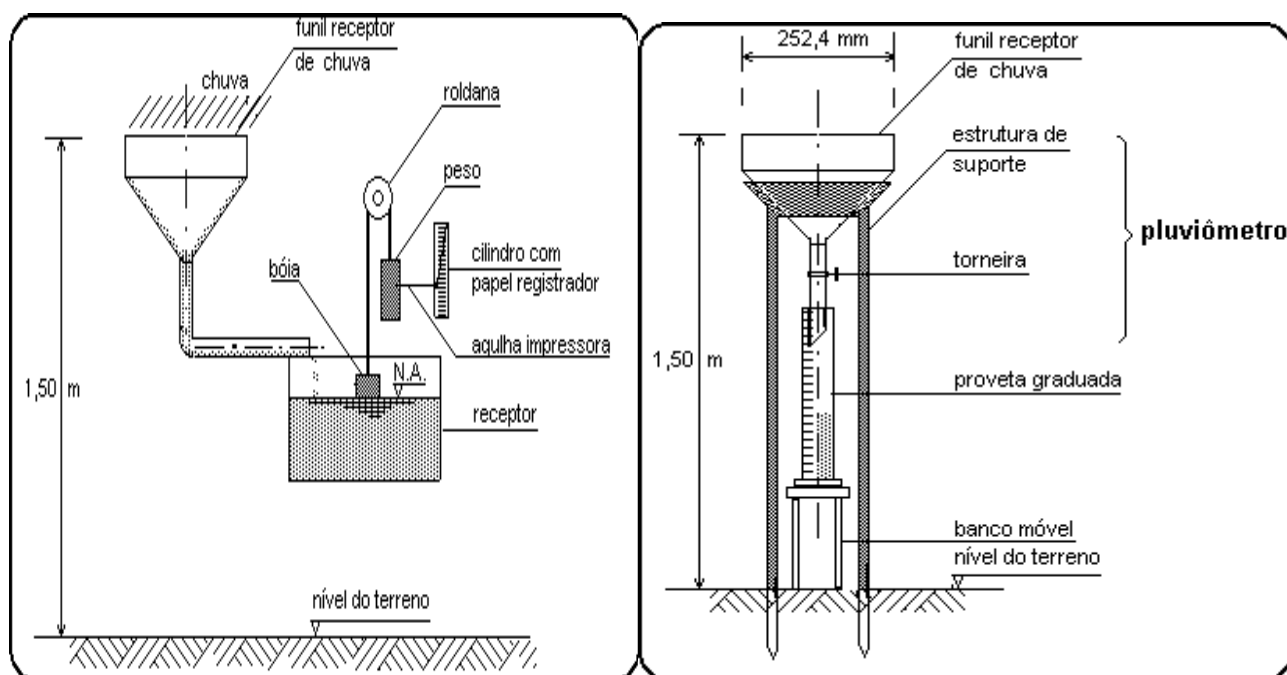


Figura 12 – Exemplificação de Pluviógrafo Fonte: UFCG, 2014..

3.5.2 Aquisição de dados Fluviométricos

A quantificação da vazão efluente nos rios de uma bacia hidrográfica consiste em importante ferramenta para a gestão de recursos hídricos, possibilitando quantificar o consumo, avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos e a partir destas informações, utilizar instrumentos de gestão como a outorga e cobrança pelo uso da água.

Existem duas formas de aquisição de dados fluviométricos, a automática e a convencional.

A primeira é utilizada visando a transmissão de dados em tempo real, onde os dados são coletados por um sistema denominado Telemetria nas estações automáticas, com a utilização de Plataformas de Coletas de Dados (- PCDs) na qual suas transmissões são efetuadas pelos satélites brasileiros (SCD e CBERS), utilizando-se da estrutura do INPE. Já as estações fluviométricas convencionais são compostas por lances de régua limnimétricas, cujos dados podem ser registrados por observadores, em cadernetas específicas, em duas leituras diárias, às 07:00hs e 17:00hs (ANA).

As variáveis hidrológicas são adquiridas por uma diversidade de sensores automáticos e armazenadas “*in loco*” nas PCDs. Os dados são transmitidos remotamente pelos satélites que permitem a obtenção de um número maior de informações por dia aumentando a confiabilidade e permitindo avaliação quase “instantânea” da disponibilidade hídrica. Na figura 13 pode-se identificar uma estação fluviométrica automática.



Figura 13 – Estação Fluviométrica Automática Fonte: ANA, 2012..

3.5.3 Controle de dados

Na produção e verificação de estudos hidrológicos alguns fatores são indispensáveis para que os resultados obtidos alcancem níveis satisfatórios e confiáveis, logo, fatores como: série de boa qualidade e longo período de tempo é de extrema importância para a realização eficaz de trabalhos com séries temporais, diante de sua confiabilidade. (ZANETTI; ET AL., 2006).

Na região amazônica ocorre o impedimento na obtenção de dados de séries temporais satisfatórias, tendo este aspecto como o principal problema, pois em sua maioria as séries não possuem uma consistência temporal satisfatória. (ISHIHARA, ET AL 2014).

Conforme expresso em Tucci (2009), existem erros grosseiros nas observações e coletas dos dados, entre esses os mais comuns são:

- a) preenchimento errado do valor na caderneta de campo;
- b) soma errada do número de provetas, no caso de precipitação alta;
- c) valor estimado pelo observador, por estar ausente do local no dia da amostragem;
- d) crescimento de vegetação ou outra obstrução próxima ao posto de observação;
- e) danificação do aparelho;
- f) problemas mecânicos no registrador gráfico;
- g) urbanização da área onde a estação está localizada.

3.6 Testes de Tendência Não Paramétricos.

Para Siegel e Castellan Jr. (2006) a tendência de uma série indica o seu desempenho “de longo prazo”, isto é, se ela cresce, decresce ou permanece estável, e qual o comportamento temporal destas mudanças.

Hachem (2016), caracteriza a análise de tendência em séries temporais, usualmente por ser realizada através de testes estatísticos não-paramétricos. Estes envolvem a formulação de uma hipótese baseada na declaração do comportamento probabilístico da série da variável hidrológica em estudo. Tipicamente, são definidas duas hipóteses: a hipótese nula, denominada de H_0 , e a hipótese alternativa, descrita por H_1 . A rejeição ou não da hipótese formulada dependerá do tipo de teste e o nível de significância α definido previamente. (LOUREIRO, FERNANDES e ISHIHARA, 2015).

De forma geral, os sistemas ligados ao gerenciamento de recursos hídricos são planejados através da análise de dados hidrológicos. Entretanto, essas análises podem ser realizadas de uma maneira estacionária, ou seja, não considerando possíveis mudanças ambientais, estruturais, entre outras na região. Segundo Yue et al. (2002), os principais testes estatísticos não paramétricos utilizados nos estudos hidrológicos são: Mann Kendall, Kendall Sazonal e Spearman's.

3.7 Curvas IDF- Intensidade, Duração e Frequência.

As chuvas constituem-se na principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, e a sua quantificação, bem como o conhecimento da forma como se distribui temporal e espacialmente são fundamentais em estudos relacionados à necessidade de irrigação, disponibilidade de água para abastecimento doméstico e industrial, erosão do solo, controle de inundações, entre outros. Para a caracterização das precipitações, é necessário conhecer a sua duração, sua intensidade e sua frequência de ocorrência ou período de retorno (T_r). Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade-Duração-Frequência de ocorrência (IDF), sendo uma ferramenta utilizada nos processos de transformação chuva-vazão.

As relações IDF são elementos fundamentais na definição das intensidades de precipitação correlacionadas as frequências de ocorrência, onde serão utilizadas no dimensionamento de diversas estruturas de drenagem pluvial ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Uma das alternativas possíveis é utilizar uma série de dados de precipitação máxima diária anual do local onde será realizado o estudo hidrológico, que seja representativa, estacionária e homogênea (BRUSA, 2004) para, a partir dessa obter alturas de chuva com intervalos de tempo subdiários (DAMÉ, 2001). Obtendo-se dados de precipitação diária, associados aos períodos de retorno de interesse, pode-se utilizar metodologia de desagregação adequada. Assim, a relação entre as alturas de precipitação, em função da duração de desagregação e o período de retorno, originam curvas IDF a partir de registros pluviométricos.

3.8 Inundações e seus Impactos

Segundo Martins (2015), inundações nada mais são do que casos particulares de enchentes naturais. Sendo que quando se desenvolvem em meio urbano ganham aspecto de importância, já que causam prejuízos diretos e indiretos sobre o desenvolvimento socioeconômico da população que está diretamente ou indiretamente dependente da região seja em função de trabalho ou moradia.

Segundo Tucci (2003), o acontecimento de inundações no meio urbano iniciou-se a partir do desenvolvimento das cidades ou de qualquer aglomerado urbano.

Conforme Goerl e Kobiyama (2005), a diferença entre enchente e inundação, está relacionada ao fato que na inundação existe o extravasamento da água que escoa no leito dos rios para as áreas periféricas ao seu curso. Não existem rios sem ocorrência de enchentes, todos possuem sua área natural de inundação e esse fenômeno não está diretamente relacionado a catástrofe. No entanto, o fenômeno de alagamento está confrontado à carência da ordenação de drenagem que provoca o acúmulo de água por determinado período, a Figura 14 ilustra o episódio de tais fenômenos em meio urbano.

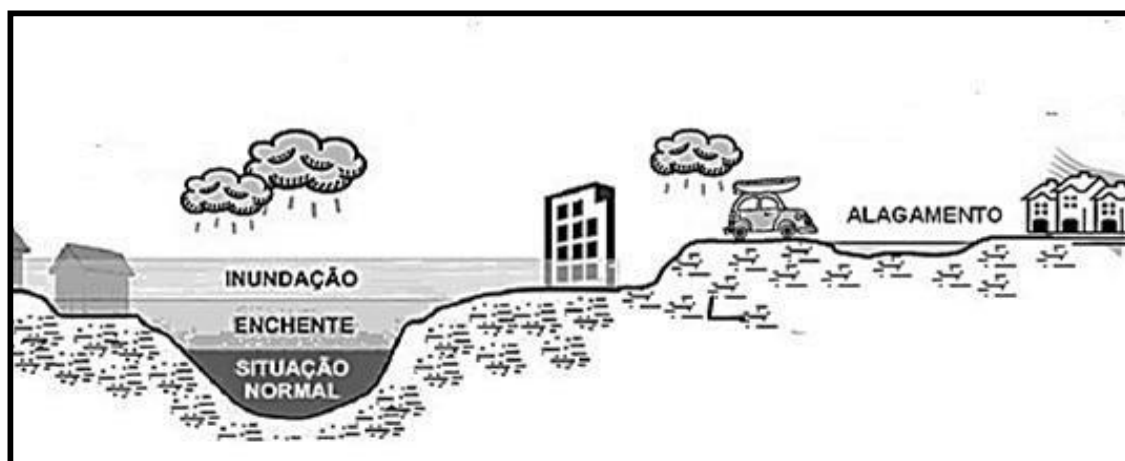


Figura 14 - Demonstração das situações de enchentes, inundação e alagamento. Fonte: Defesa Civil de São Bernardo do Campo - SP, 2015

Porém, quando o homem transcende as fronteiras ligadas as condições naturais do meio em que vive, então as inundações ganham um apelo social, econômico e/ou ambiental. Assim, a mesma torna-se um evento calamitoso quando a extensão inundável apresenta a ocupação imprópria, por exemplo, as construções de edificações zonas situadas as margens dos rios. As

inundações podem ser oriundas devido a abundância de chuvas ou por bloqueio que impossibilitou a passagem da vazão da enchente, ou seja, devido a estruturas como erros ligados a projetos em função de seus arranjos com falhas em seu dimensionamento ou por obstrução (MARTINS, 2015).

Segundo Tucci (2005), as inundações geradas pela urbanização ocorrem conforme o avanço da impermeabilização do solo. A implantação de redes de galerias de micro drenagem e canalização dos rios acarretam a aceleração e aumento do volume de escoamento. O aumento das ocorrências de inundações, antes controladas em definições quantitativas pelo processo natural de infiltração no solo, e em velocidade pelo escoamento natural, têm provocado graves impactos ambientais, com perdas de materiais significativos ao solo do meio ambiente afetado, perdas de vidas humanas e animais, além do impacto socioeconômico envolvido.

As áreas de planície, como as de Belém, são passíveis aos resultados das enchentes e inundações, estas regiões não deveriam ser ocupadas, senão, diversos impactos socioambientais podem acontecer conforme exposto na (Figura 15). Esses fenômenos surgem com periodicidade nos cursos d'água, devido as frequentes chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração (AMARAL; RIBEIRO, 2012).

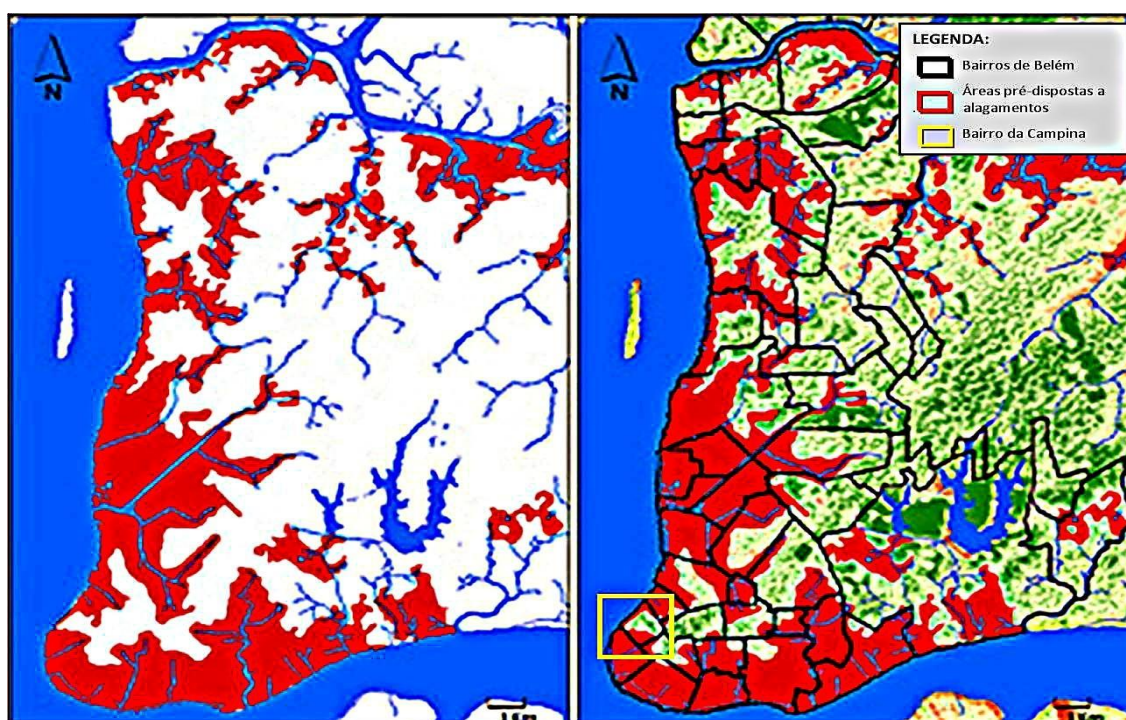


Figura 15 – Áreas de Belém, pré dispostas a alagamentos. Fonte: SADECK et al. 2012.

Quanto aos alagamentos, estes são ditos como fenômenos que além de serem acentuados com a inexistência de infraestrutura conveniente das cidades, do mesmo modo surgem através de ações que não consideram os procedimentos naturais dos processos morfodinâmicos (PEDRO; NUNES, 2012).

Quando se investigam dilemas socioambientais em Belém, é corriqueiro que despontem correlações destes com a infraestrutura urbana da cidade, já que o método de constituição socioespacial da capital paraense foi marcado por segregação e exclusão da população carente, que acabou tendo que residir de forma indevida e sem nenhuma condição estrutural, as áreas de baixadas da cidade (BARBOSA; DUPAS, 2006; TUCCI, 2005). Na contemporaneidade, o panorama urbano de Belém caracteriza-se pela existência de construções em áreas que, em atribuição das condições naturais, não deviam ser ocupadas segundo a lei de terreno de marinha (art. 2º do Decreto-Lei nº 9760, de 05 de Setembro de 1946), o que, por conseguinte, coopera para a degeneração das inundações e alagamentos, visto que os leitos dos rios tornaram-se alvos do derramamento de resíduos sólidos que bloqueiam a drenagem e comprometem as condições ambientais (TUCCI, 2005).

É concludente que a expansão dos centros urbanos apresenta forte influência sobre os episódios relatados, tendo efeitos negativos sobre os recursos hídricos, o ciclo hidrológico, as variações climáticas, as cheias, além do uso e ocupação do solo, no aumento do volume de sedimentos e do escoamento superficial (TUCCI, 2007; MOTA, 2008; JUNIOR; SANTOS, 2013).

Em sua dissertação, Junior; Santos (2013), menciona que a não aplicação de legislações de controle e fiscalização de ocupação de áreas indevidas ou que não considerem as bacias hidrográficas, favorecem o desenvolvimento de práticas danosas ao meio ambiente. Deve-se realizar o levantamento da bacia hidrográfica como critério de alta importância para a definição das medidas a serem realizadas, uma vez que, é ela que determina o regime hidrológico e curso dos escoamentos superficiais e de pequenos cursos d'água. Tucci (2007).

3.8.1 As consequências das inundações locais

O “Pará é o segundo maior estado brasileiro em extensão territorial, dividido em 144 municípios, com a capital Belém, ocupando aproximadamente 1.247.950,003 Km², o que

corresponde a 16,66% do território brasileiro e 26% da Região Amazônica” (IBGE, 2010 apud UFSC, 2011, p.18).

Em consonância com atributos locais, Martins (2015), menciona em sua dissertação que o Estado do Pará se segmenta em seis mesorregiões: Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste, Sudeste e Sudoeste, conforme Figura 16. Não obstante, nesse trabalho a ênfase será na Região Metropolitana de Belém - RMB2, onde se localiza a bacia sugerida para estudo de caso.

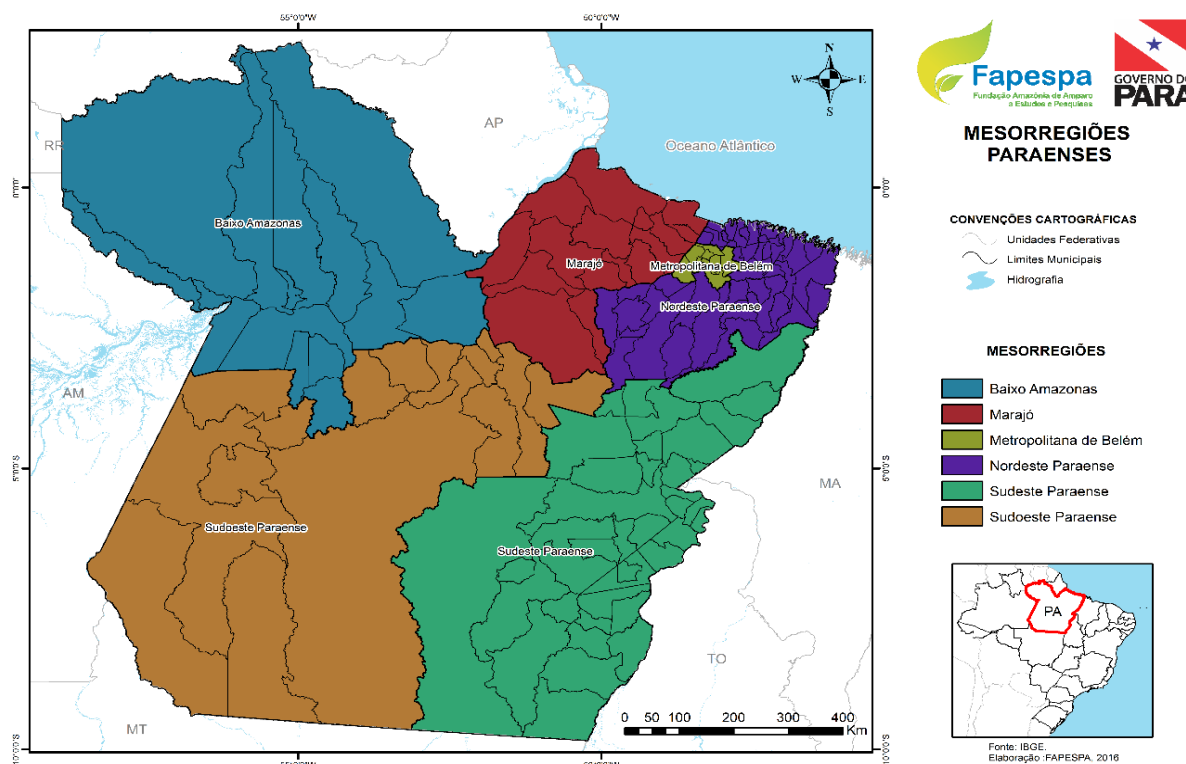


Figura 16 - Regiões Hidrográficas do Estado do Pará. Fonte: FAPESPA (2016).

O Pará segue a tendência nacional relacionada à urbanização, com população estimada de 8.366.628 habitantes e densidade demográfica de 6,07 hab/Km², estimada elevada para região Norte, que possuía densidade demográfica mais baixa do Brasil, com 4,13 hab/Km². Todavia, a região Norte se distingue das outras regiões do país com taxa de crescimento populacional de 22,98%, no intervalo caracterizado entre 2000 e 2013, estando acima até mesmo, da porcentagem nacional de 12,33%. Já a taxa de crescimento do Estado do Pará atingiu 22,54%, entre 2000 a 2010, aproximando-se da taxa regional. A população paraense é

predominantemente urbana, com universo de 65,77%, em contrapartida a taxa de população rural é de 34,23% (IBGE, 2015).

O uso de utensílios de integração e gestão da drenagem urbana, estão relacionados ao acompanhamento das condições meteorológicas e monitoramento do nível dos rios. Quanto a aquisição e monitoramento de dados as capitais da região norte são as que detêm do menor índice de disponibilidade de quantitativos meteorológicos e informações hidrológicas no País. Segundo ANA (2013) – Hidroweb, o Estado do Pará está inserido na bacia do Rio Amazonas que possui a maior bacia hidrográfica do País, no entanto, apresenta a pior relação entre estações pluviométricas e fluviométricas em funcionamento confrontada com a área coberta, considerando sua extensão, magnitude e importância hídrica em relação às demais. Santos (2008) indica que no estado do Pará a rede hidrológica atual é bastante incipiente e reduzida, captando apenas os cursos d'água fundamentais, seu arranjo é bastante homogêneo, confrontando-se ao difícil acesso aos dados dessas estações é um dado que necessita ser avaliado.

As áreas naturalmente suscetíveis à inundação são caracterizadas pelo termo “baixadas”, sendo essas, terrenos com cotas abaixo de 4 m em relação ao nível do mar. Tais áreas chegam a compor 40% do espaço mais valorizado da cidade (RIBEIRO, 2010).

Nas baixadas encontram-se problemas relacionados a elevada densidade demográfica constituída por uma população de baixa renda, habitações subnormais, problemas na implantação de sistemas convencionais de água potável, de esgoto sanitário e de coleta de lixo, assim como de energia elétrica com redes de alta tensão, além da carência de equipamentos urbanos de educação e (LEGISLAÇÃO..., 2015).

Segundo Martins (2015), a topografia local segmenta a cidade em áreas de “terras secas” e “terras inundadas”, partindo de um elevado divisor de águas constituído pelo “espigão” das Avenidas Presidente Vargas, Nazaré, Magalhães Barata, Almirante Barroso e Rodovia BR-316. Os bairros que se deparam ao norte desse “espigão” drenam para baía do Guajará e fazem parte das bacias do Centro Comercial de Belém.

As bacias que se encontram ao sul do “espigão” drenam em confluência ao Rio Guamá, além de outras menores como: as bacias da Estrada Nova e do Tucunduba. Na figura 17 exemplifica-se as bacias constituintes na região metropolitana de Belém.

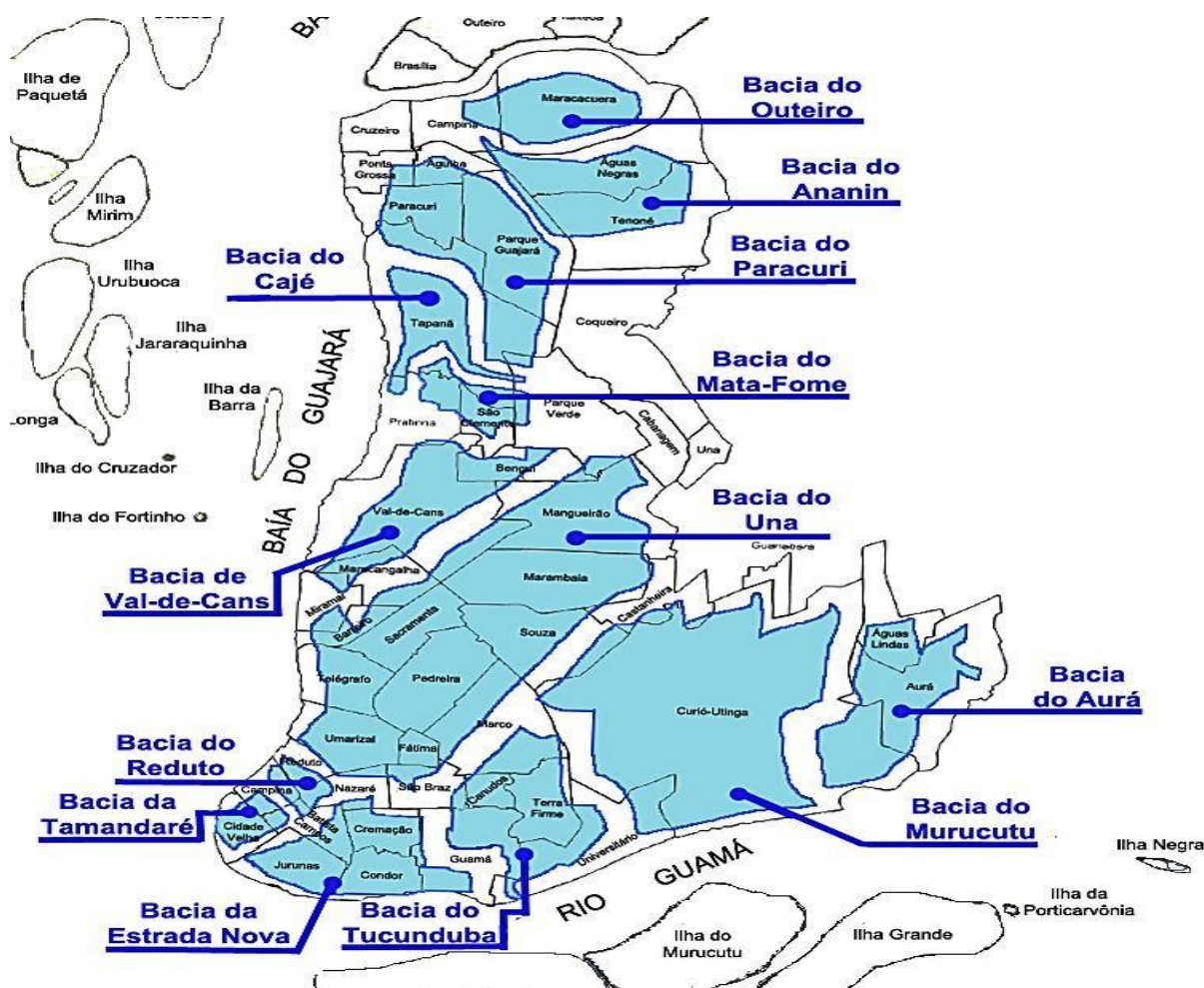


Figura 17 - Mapa de Bacia Hidrográficas de Belém. Fonte: Belém, 2015.

De acordo com Santos (2010), os primeiros registros de inundações e alagamentos considerados de grande magnitude nas bacias de Belém, ocorrem desde o início da década de 70, no momento em que foi intensificado o processo de expansão urbana na capital. Segundo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (CEASA apud SANTOS, 2010), nessa mesma década foram registrados eventos com intensidade de 118,2 mm, 75,6 mm e 22,5 mm nos meses de janeiro, fevereiro e março, suficientes para inundar parte considerável da cidade, tendo como consequência diversos prejuízos à população.

Martins (2015), relata que a intensificação dos eventos está relacionada principalmente aos fenômenos de urbanização e ocupação desordenada e irregular das áreas de várzea. Contudo o município paraense possui agravantes naturais, sendo formado por 39 ilhas que

compõem 65,64% de sua área, a parte continental é entrecortada por uma densa rede hídrica (rios, furos, igarapés, igapós, canais urbanos, etc), possui características de relevo predominantemente plano, dificultando o escoamento das águas, além dos altos índices pluviométricos registrados anualmente. Tendo a baixa declividade da rede hídrica agravada pela influência do regime de marés, que quando elevados esses níveis, causam a paralisação do sistema de escoamento da cidade, acarretando consequências mais críticas quando ocorre a coincidência com o período de precipitações intensas (LEGISLAÇÃO..., 2015).

No intuito de atingir soluções para os dilemas enfrentados em consonância com as inundações, necessita-se considerar questões atreladas a caráter técnico de engenharia, em conjunto a variáveis políticas e sociais. Com o foco de estabelecer o fortalecimento da causa em função do bem da sociedade. A figura 18 evidencia a população em dificuldades na cidade ao longo do tempo.



Figura 18 – Ocorrência de inundações em Belém. Fonte: Autor, 2018.

Kobiyama et al. (2006), relata que no cenário nacional, a temática ligada a desastres naturais ainda é observada de maneira partilhada pelo poder público. Atualmente, evidencia-se de maneira direta os prejuízos causados por esses fenômenos devido à ausência de planejamento urbano. O risco de inundação constituído na cidade fundamenta-se na forma e grau de ocupação de áreas ribeirinhas e das frequências de ocorrências dessas cheias. Em Belém, houve o aumento dos pontos de alagamentos e de pessoas diretamente afetadas pelas sistemáticas associadas, mesmo que durante eventos pluviais não tão extremos, o que revela a elevada vulnerabilidade da população.

O processo de urbanização das regiões metropolitanas deixou de crescer no centro passando para a periferia, justamente onde se concentram os mananciais, agravando este problema. Isso evidencia que a vulnerabilidade aos desastres naturais está associada não só aos aspectos relacionados ao meio físico (Monteiro, 1991). A figura 19 exemplifica a área de concentração da pesquisa que é formada pela bacia hidrográfica da Estrada Nova.

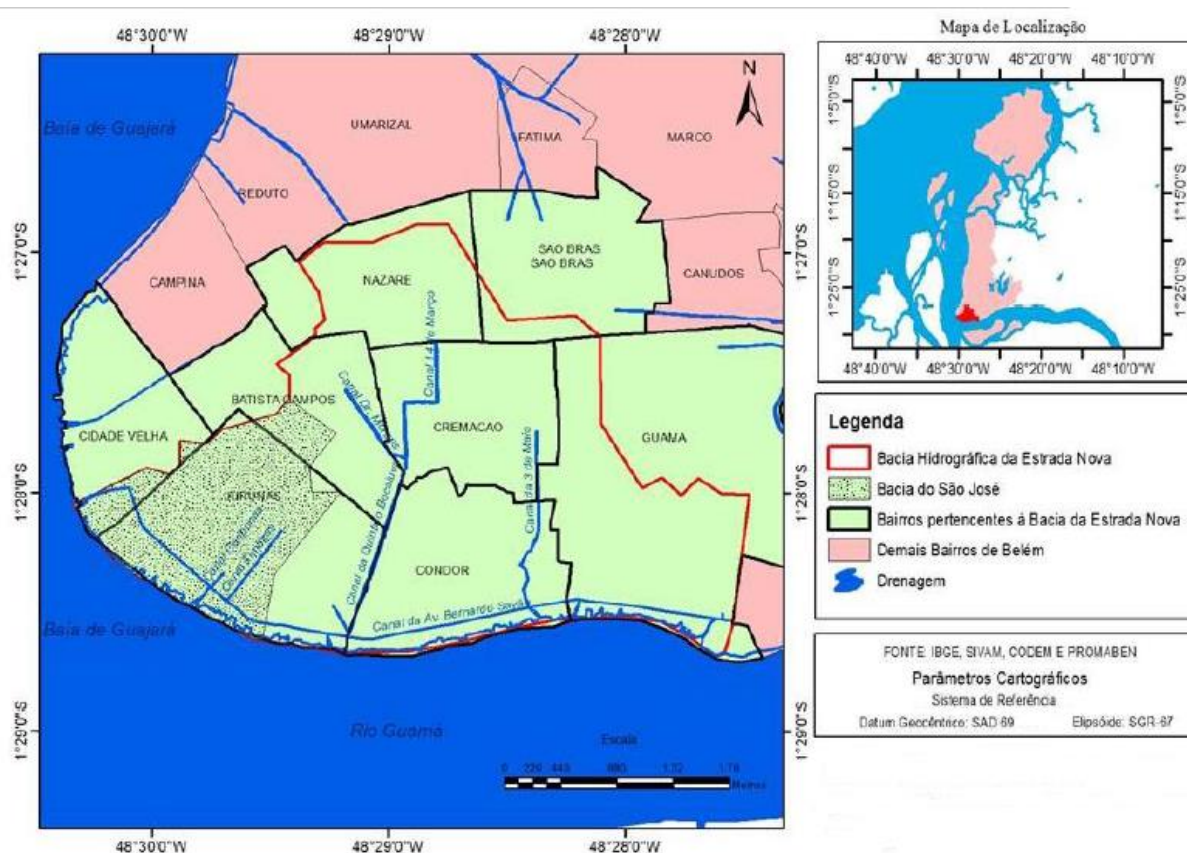


Figura 19 – Localização da região de estudo na região metropolitana de Belém

Fonte: Belém, 2012.

Observa-se que os bairros situados na bacia, possuem características naturais ligadas ao curso d'água. As demais, estão com alto grau de impermeabilização. Ao que tange a área, existem oito bairros de grande concentração populacional, influenciando diretamente na escolha espacial da área. Tendo a escolha da área de ação ligada diretamente a maior concentração de alagamentos na capital paraense, diante da base de informações pesquisadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Procedimentos Metodológicos

A motivação para o cumprimento da pesquisa, surgiu diante da identificação dos problemas ligados ao sistema de drenagem na região metropolitana de Belém, atrelados aos casos de inundações e alagamentos que são eventos constantes em especial em áreas mais baixas da bacia, tendo conjuntura alarmante quando comparado com seu histórico. O cenário torna-se preocupante, já que no decorrer dos anos tem provocado prejuízos à população que vive essa realidade.

Diante da situação, a pesquisa propõe analisar a existência de relação entre variáveis correspondentes, com o uso de simulações hidrológicas nas áreas pertinentes de análise. No intuito de gerar resultados consolidados com a realidade, a pesquisa fundamentou-se em métodos em conjunto com variáveis quantitativas. Assumindo caráter de interdependência entre as condicionantes. Justificando, a importância da aplicação lógica de informações e suas devidas etapas. Objetivando gerar construção do conhecimento interdisciplinar, correlacionando casos específicos existentes durante séries históricas, com as variáveis atreladas ao meio ambiente e suas alterações, em benefício do conhecimento científico e melhorias de vida para a população que convive frequentemente com as adversidades localizadas no ambiente.

A composição da metodologia de pesquisa foi efetivada em sete etapas. A primeira fase condiz à pesquisa bibliográfica, para caracterização dos aspectos gerais das bacias. O segundo e terceiro estágio referem-se a coleta e parametrização das variáveis construíram a modelagem hidrológica, no intuito de gerar a apresentação dos hidrogramas que irão compor modelo hidrológico. A quarta etapa refere-se a junção de informações obtidas dos dados contidos no hidrogramas com os dados de maré para que exista compatibilidade dos picos de vazão e maré. A quinta fase refere-se à aplicação da modelagem nas bacias propostas no trabalho. A sexta etapa está ligada à análise dos resultados obtidos com a aplicação das variáveis. A sétima etapa apresenta sugestões para a contenção de inundações, no intuito de promover a eficiência do sistema de macrodrenagem.

Na figura 20 pode-se observar o detalhamento das fases interativas e as sequências que foram utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

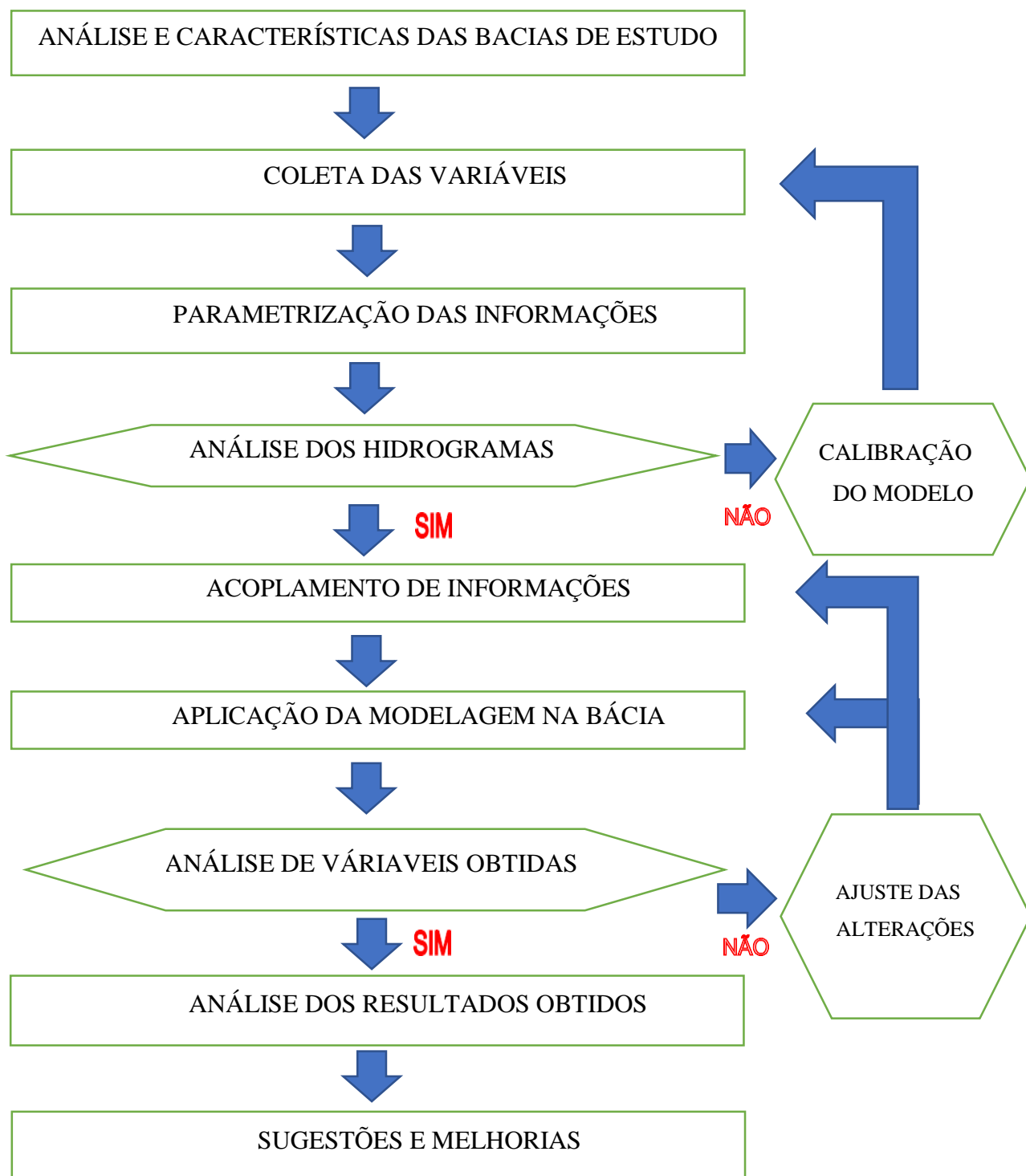


Figura 20 – Esquema de análise e desenvolvimento da pesquisa; Fonte: Autor, 2018.

4.2 Coleta de dados

Neste processo, foi efetuado o levantamento de dados, utilizando a ferramenta do Hidroweb (sistema de dados oficiais da ANA), das estações pluviométricas e fluviométricas existentes nas proximidades da área da bacia de aplicação da pesquisa e seus entornos, ambas localizadas no estado do Pará.

Após esta análise o foram definidas as estações para o tratamento dos dados, atribuindo como fatores de estudo: a série temporal, e a distribuição espacial das estações. Destaca-se o período de análise da série temporal de 34 anos (1985 – 2018) para a análise de dados ligados a precipitação e vazão. Já em relação aos dados de Maré, a pesquisa esta fundamentada no período de 23 anos, (1995 – 2017). Ressalta-se que foi analisada a periodicidade de dados e para realizar a correlação os períodos de análise foram igualados entre 1995 e 2017. Tendo como referência este período para examinar o comportamento e a relação dos dados.

4.3 Precipitação

Os dados pluviométricos, foram coletados em 06 estações que fazem parte da rede pluviométrica de Belém. Em todas as estações existe a presença de falhas no preenchimento de dados, em diversas oportunidades, evidencia-se ausência de dados por anos consecutivos. Esta característica ocasiona ações erradas que influenciam para a confecção de projetos que certamente podem não atender com eficácia a sua proposta. Com o objetivo de realizar uma análise precisa, após a aquisição dos dados pluviométricos para aplicação na área da pesquisa, estes, foram relacionados entre si, no intuito de analisar se houve alguma disparidade nos dados motivados por erros de leitura ou falha de preenchimento, objetivando uma observação cautelosa para não comprometer a análise do trabalho. Posteriormente, onde existiam falhas no preenchimento diário, foram usados métodos estatísticos que serão expressos no decorrer do trabalho, com o cunho de retratar os dados e dar um caráter representativo para a pesquisa.

Fundamentada na verificação de dados estatísticos retratada pelo levantamento e tabulação de dados do INMET, CPRM, EMBRAPA. A pesquisa adotou os cenários que evidenciam períodos acima ou abaixo da média de precipitação anuais., evidenciando que a verificação dos índices pluviométricos apresenta boa correlação, se comparados a eventos de chuvas observados em Belém para os Tempos de Retorno (TR's). Porém, ao se tratar de um

estudo de inundação na região metropolitana e seus devidos canais de macrodrenagem, a pesquisa utilizou prioritariamente os hietogramas para os TR' 25 e 50 anos. De acordo com Santiago (2011) e Tavares (2008), os temporais no município possuem duração comumente menor que 12 horas. Diante das considerações para a determinação da duração de ciclos de tormentas, Santiago (2011) e Tavares (2008), afirmam que historicamente eventos de longa duração são substanciais para o incidente de inundações em Belém. Diante da sua representatividade os dados de chuva serão uma das variáveis de entrada (input) do modelo hidrológico. A figura 21 demonstra a localização das estações que foram utilizadas na execução do trabalho.

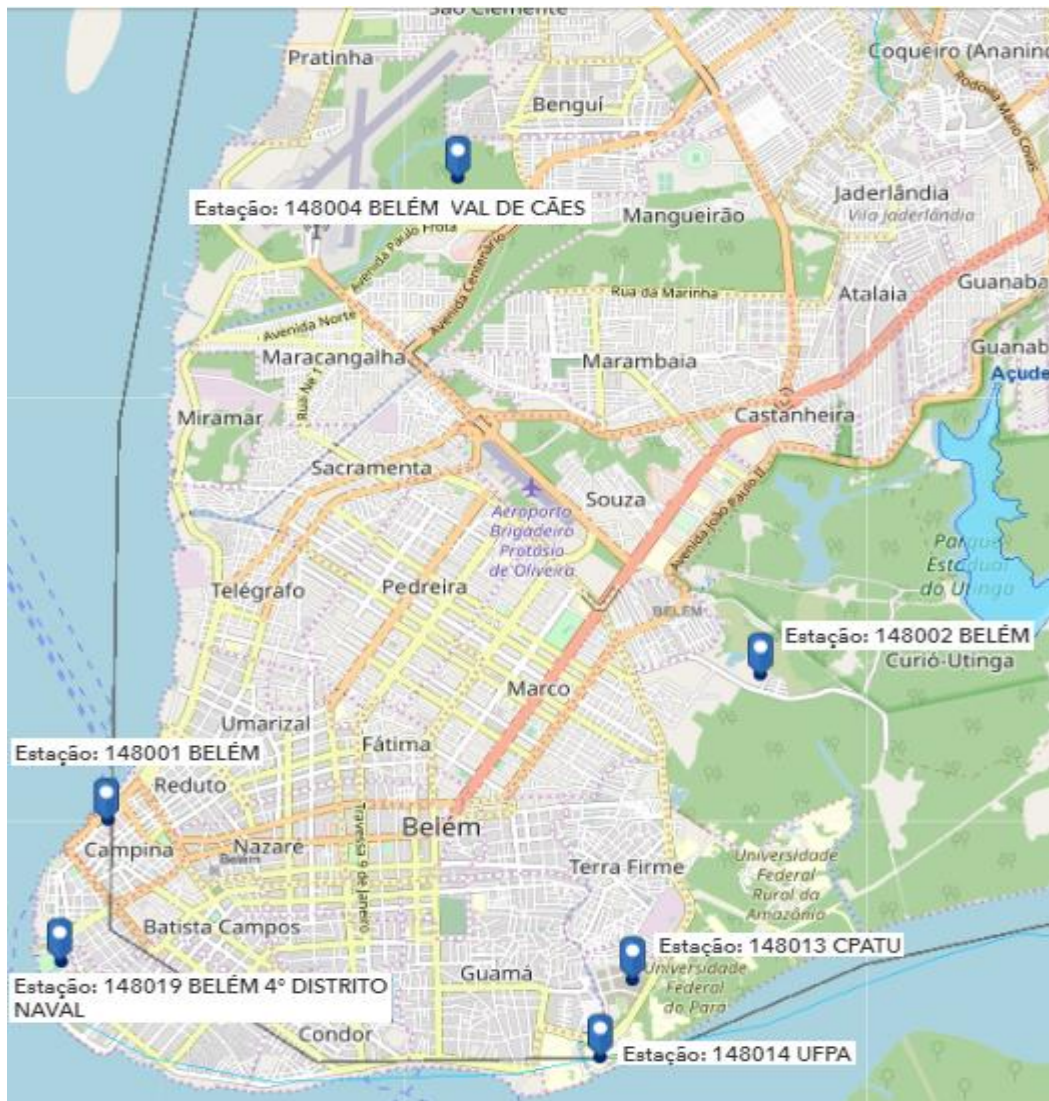


Figura 21 – Mapa de coleta de dados pluviométricos; Fonte: Autor, 2018.

4.4 Maré

A analogia das estações chuvosas com o período de cheia do Rio Guamá, tem levado ao cenário de criticidade das inundações ao longo do Igarapé Tucunduba em função do remanso ocasionado pela entrada das águas de maré altas no canal. Diante da importância, o estudo das marés é uma variável indispensável para a pesquisa. Sendo assim investigou-se os dados históricos de marés do Rio Guamá, com o cunho de resumir e criar um evento que represente dois cenários médios, maré alta e maré baixa do Rio Guamá. Para isto, foram utilizadas Previsões/cálculos (astronômicos) de marés altas e baixas entre 2005 e 2017 no porto de Belém (marinha do Brasil). Os dados de maré serão manuseados como condição de contorno a jusante (inputs) para o modelo hidrodinâmico.

Os dados relacionados a maré, foram coletados em estações que fazem parte da rede operada pela Marinha do Brasil (Figura 22). Em ambas existem algumas inconsistências nos dados, principalmente em datas anteriores ao ano de 2000. Esta característica se não for tratada, ocasiona inconsistência nos dados e contribui para a tomada de decisões inconsistentes, podendo prejudicar na confecção e operação de projetos. Com o cunho de realizar uma análise precisa, após a aquisição dos dados vinculados a maré para aplicação na área da pesquisa. Foi realizada a análise de diária dos níveis de maré e relacionados com os períodos mensais. No intuito, de se verificar o seu comportamento ao longo de um ciclo hidrológico. Após a verificação durante o ciclo hidrológico, realizou-se a comparação durante todos os anos de análise. Onde existiam falhas no preenchimento diário, foram usados métodos estatísticos que serão expressos no decorrer do trabalho, com o cunho de retratar os dados e dar um caráter representativo de qualidade para a pesquisa.

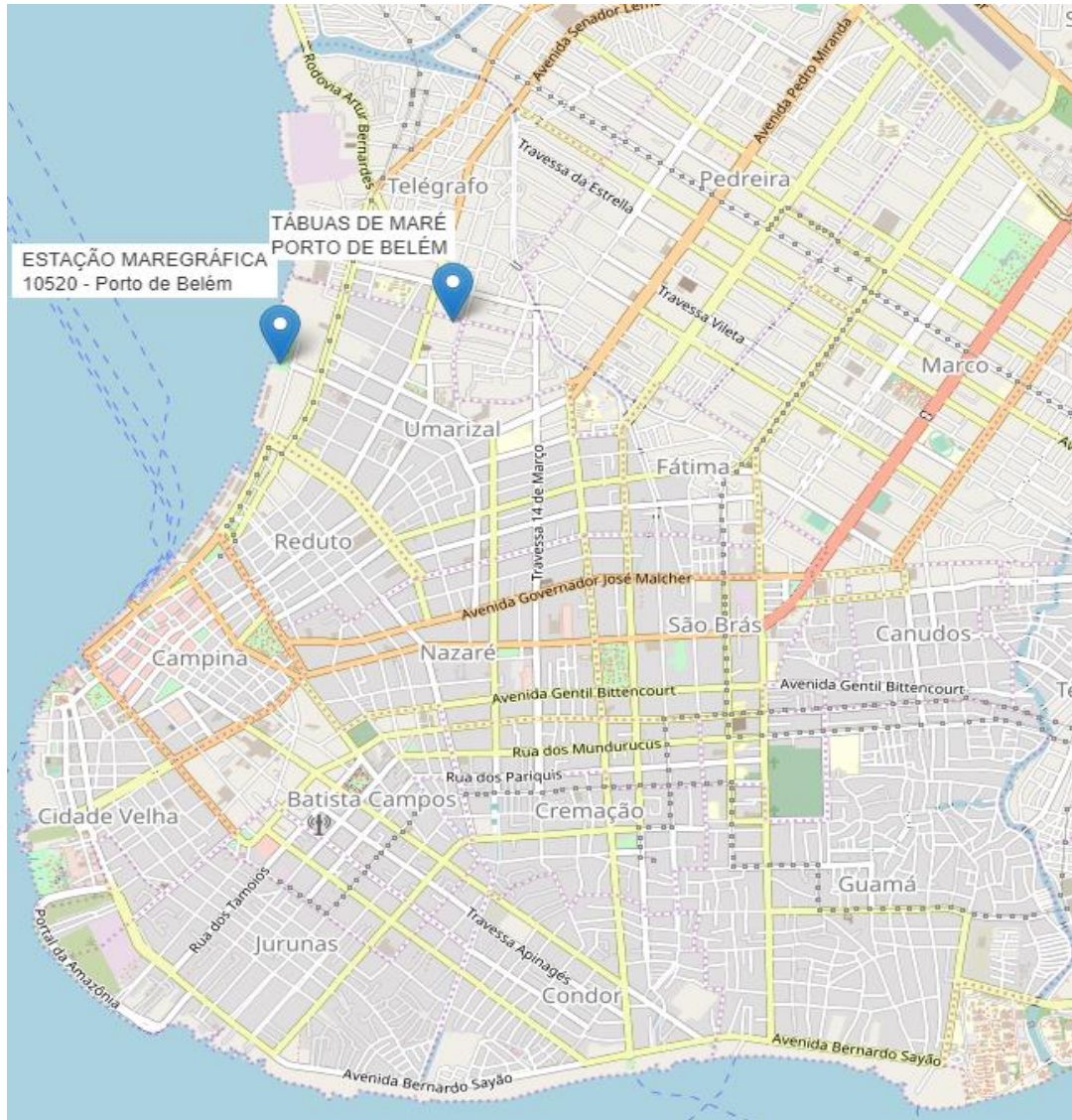


Figura 22 – Mapa de coleta de dados de maré; Fonte: Autor, 2018.

4.5 Calibração do Modelo

Elaborado pelo United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1972), o método curva número (CN) permite, com base no parâmetro curva número, identificar características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies (PICKBRENNER; PEDROLLO; RISSO, 2005). Segundo Tucci (1998), é o método de separação do escoamento mais conhecido e empregado em todo o mundo, por conta da sua fácil utilização e do reduzido número de parâmetros. Além disso, outro fator

preponderante para sua escolha é a relação direta entre os parâmetros e as características da bacia.

A variável CN é elencada como variável de calibração do modelo, por simbolizar a possibilidade de infiltração do solo e interferir na determinação do volume de escoamento superficial. O valor de CN é considerado com base em dados apresentados nos manuais e tabelas do SCS, realizados para situações de solos americanos e europeus. Conforme exposto por Germano e Tucci (1995), Tassi et al. (2006), Sartori et al. (2005) e Silveira (2010), o uso dos CN's encontrados na literatura em condições Brasileiras, costumam superestimar, a vazão de pico em 30 a 40%, quando comparada a outros métodos.

Os hidrogramas de saída do modelo foram confrontados com vazões apresentadas nos estudos hidrológicos dos projetos de macrodrenagem. Martins (2015), afirma que as vazões dos projetos foram consideradas como paramétricas, devido à similaridade morfológica entre as bacias da Estrada Nova, e a diferença entre os modelos hidrológicos.

4.6 Relação do modelo Hidrológico com a Maré

Diante da dificuldade e imprecisões do momento exato de ocorrência do pico de maré compatibilizando com o pico dos hidrogramas, duas combinações extremas serão aplicadas ao modelo:

Uma maré de sizígia alta, ocorrendo em conjunto com o pico de vazões. A maré de sizígia é caracterizada pelos extremos detendo no seu apice as marés altas mais altas e no seu declínio as marés baixas mais baixas. Essa situação com a sincronia dos níveis de água altos a jusante e o pico de vazão a montante, pode gerar os níveis de água mais altos na bacia da Estrada Nova. Essa situação recebeu a caracterização de “**maré alta**”.

Uma maré de quadratura normal, com o pico das vazões acontecendo no instante da maré mais baixa. Essa situação poderá conceber os níveis de água mais baixos, e denomina-se como situação de referência para avaliar a influência da maré sobre os resultados para os diferentes TR's. Essa situação foi denominada “**maré baixa**”.

4.7 Seleção do Modelo Numérico e Aplicação

Dentre os modelos numéricos analisados na execução do trabalho, optou-se pela utilização do HEC-RAS, por deter de aplicação comum em ambos os assuntos, detendo de embasamento acadêmico e aplicações em diversos estudos publicados relacionados à simulação de ondas de inundação. Além disso, é um software de uso livre que possui uma coleção de manuais de referência com exemplos aplicados. O suporte lógico, foi selecionado por estar apto a simular além de escoamentos unidimensionais permanentes, escoamentos variáveis unidimensionais. O componente escoamento variável foi desenvolvido a princípio para apuração de escoamentos em regime lento. Todavia, com a evolução do software o modelo ganhou base numérica para a aplicação de escoamentos em regime misto.

Os dados aplicados na realização do trabalho foram tomados como base na definição de condições primordiais para a realização da análise. Sendo assim, os dados necessários para utilizar o HEC-RAS foram divididos em dados geométricos, hidráulicos e de escoamento.

Dados geométricos: Fundamenta-se na instauração do sistema topológico do rio, com introdução dos dados das seções transversais, comprimento dos espaços, de acordo com o especificado na caracterização da bacia. Além disso, os coeficientes de perda de energia (perdas por atrito, contração e expansão), indicados nos manuais do HEC-RAS aderem a análise. Dados das Estruturas hidráulicas e geométricos são agrupados nessa fase do projeto. Detendo do sistema esquemático do rio, geometria das seções transversais e comprimento dos trechos e comportas.

Dados hidráulicos: Agrupamento dos coeficientes de perda de energia e coeficiente de rugosidade de Manning (n). Os movimentos dos rios, são fortemente influenciados pela rugosidade do solo e pela fricção de suas margens e fundo.

Dados de escoamento: Em relação aos dados de escoamento, possuem caracterização fundamental para possibilitar o cálculo dos níveis da água. Constituem em condição de contorno à montante. Foi acoplada base de dados em níveis cronológicos de níveis d'água, onde obteve-se como condição de contorno à jusante.

4.8 Análise de Tendência das Séries

4.8.1 Testes de Tendências

No intuito de gerar análises temporais ao longo do tempo, foram utilizados os testes de tendência de Kendall e Spearman, para verificação do comportamento das séries temporais estudadas, com o auxílio dos softwares estatísticos como Bioestat 5.0, minitab, no intuito de gerar cenários que retratem a condição do local.

4.8.2 Mann Kendall

O Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um método vigoroso, sequencial e não paramétrico aplicado para determinar se estipulada série de dados possui tendência temporal de variação estatisticamente significativa. Diante de ser um método não paramétrico, ele não necessita de distribuição normal dos dados (Yue et al., 2002). Outro ganho para a aplicação do método está ligado ao fato de ser minimamente influenciado por transformações abruptas ou séries não homogêneas (Zhang et al., 2009). Contudo, esta teoria, necessita que os dados sejam independentes e aleatórios (Neeti & Eastman, 2011).

O método demonstra como principal benefício para a utilização o comportamento e a caracterização dos dados, por não necessitarem de compatibilidade com qualquer distribuição particular. Para Gibbons e Coleman (2001) Mann Kendall é extremamente viável para a análise de tendências em séries temporais hidrológicas, já que se trata de um teste que relaciona cada valor de uma série temporal com os demais valores restantes, sempre em ordem sequencial, o teste é baseado na estatística “S” definida pela Equação 01.

$$S = \sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \quad (01)$$

Em que R_j e R_i representam a ordem relativa de cada elemento da série temporal. As diferenças $(R_j - R_i)$ recebem valor zero (0) se $(R_j - R_i) = 0$, valor -1 se $(R_j - R_i) < 0$ e 1 se $(R_j - R_i) > 0$.

Sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, “S” apresenta uma distribuição aproximadamente normal com média zero e variância dada pela Equação 02:

$$\text{VAR} (S) = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5)}{18} \quad (02)$$

A estatística do teste Z é dada pela equação 03:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ se } S > 0 \\ \text{ou} \\ 0 \text{ se } S = 0 \\ \text{ou} \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \text{ se } S < 0 \end{array} \right\} \quad (03)$$

A hipótese nula de ausência de tendência (H_0), é rejeitada sempre que $|Z| > Z_{\alpha/2}$, em que α é o nível de significância adotado e $Z_{\alpha/2}$ é a variável normal restrita para a função de seriação normal padrão. O sinal da estatística Z apontara se a tendência é positiva ($Z > 0$) ou negativa ($Z < 0$). (MENEZES, 2013).

O acompanhamento estatístico de tendência é constatado utilizando o valor de Z da tabela padrão normal para o nível de significância de 5%. A estatística é usada para experimentar a hipótese nula de que não há propensão. O valor de Z caracteriza crescimento de tendência quando é positivo e seu valor é maior que o nível de significância. No caso do valor de decréscimo de tendência, o valor de Z é negativo e menor que o nível de relevância. Se o valor de Z estiver dentro no nível de significância não há evidência de inclinação.

4.8.3 Spearman

Conforme exposto por Gauthier (2001) é um teste não-paramétrico caracterizado para verificação de tendência em séries. As hipóteses a serem manipuladas são H_0 (série sem tendência), considerada como hipótese nula e H_1 (série com tendência), considerada a hipótese alternativa.

A estatística do teste de Spearman é dada pela Equação 04:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N} \quad (04)$$

Onde:

$d_i = X_i - Y_i$: Diferença nos postos sobre as duas variáveis;

N: Número de pares da amostra.

Para amostras com elevado número de componentes ($n > 20$) a estatística do teste t, aplicada para testar a hipótese nula, segue aproximadamente a distribuição t de student adquirida pela Equação 05, (GAUTHIER, 2001):

$$T = N \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \quad (05)$$

Para testar se há tendência significativa na série de dados analisados, a estatística t será comparada com os percentis superior e inferior da distribuição t de Student.

4.8.4 Análise da Correlação entre Precipitação e Vazão nas Regiões

Após o tratamento dos dados obtidos, obteve-se os gráficos gerados pelas variáveis precipitação- tempo e vazão- tempo. Para correlacionar as variáveis em questão, foi utilizada a correlação linear de Pearson.

4.8.5 Pearson

De acordo com Figueiredo e Silva (2012) é uma grandeza de associação bivariada entre o grau de relacionamento de duas variáveis. A correlação verifica a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas o coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida para congregar linear entre variáveis, conforme a Equação 06:

$$R = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{Xi-X}{Sx} \right) \left(\frac{Yi-Y}{Sy} \right) \quad (06)$$

Em condições estatísticas, duas variáveis se congregam quando elas detém características semelhantes na distribuição dos seus escores. Elas podem rigorosamente, se agrupar a partir da distribuição das frequências ou pela coparticipação de variância. Nesse caso da correlação de Pearson (r) vale esse último parâmetro, ou seja, ele é uma grandeza da variância distribuída entre duas variáveis. Por outro lado, o modelo linear caracteriza que o aumento ou decréscimo de uma unidade na variável X gera o mesmo impacto em Y. Por conseguinte, a correlação de Pearson (r) exige uma participação de variância e que essa variação seja distribuída linearmente (MOORE, 2007).

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o comportamento de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. (FIGUEIREDO E SILVA, 2012).

Entretanto, como valores extremos (0 ou 1) dificilmente são encontrados na prática. Para Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey e Reidy (2006) apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

Para análise de correlação entre precipitação e vazão foi escolhida uma estação fluviométrica e uma pluviométrica. Ressalta-se que a escolha foi baseada na distribuição espacial das estações, logo foram escolhidas as estações mais próximas entre si, dentro da região.

4.8.6 Avaliação das condições Regionais na área de estudo

A análise dos estudos experimentais em bacias, são aplicados para avaliar o impacto das suas alterações físicas, podem ser realizados a partir de estudos práticos compares de bacias. Onde, ocorre a seleção de áreas com características semelhantes. Sendo aplicada, a validação através da aplicação da primeira bacia a alteração do uso do solo, denominada de experimental e outra é conservada preservada sendo caracterizada como bacia de controle. (McCulloch e Robinson, 1993).

Foi constatada uma análise das características elementares ambientais da região. Para isso, julgou-se as variáveis: físicas, pluviométricas, e a ação antrópica vigente em cada região.

As observações pluviométricas e de ação antrópica procederam a partir de estudos existentes referentes ao assunto. Em relação as condicionantes físicas, sabe-se que as mesmas constituem elementos de elevada função para o julgamento de seu comportamento hidrológico, visto que, ao se determinar familiaridade e comparações entre elas e os dados hidrológicos conhecidos, é capaz de determinar, indiretamente, os padrões das propriedades físicas em ambientes em que esses dados não são conhecidos. (VILLELA e MATOS, 1975). Os autores,

destacam, os fatores que contribuem de maneira mais significativa para caracterizar uma bacia hidrográfica:

4.8.6.1 Área de Drenagem

Conforme exposto em Hachem (2016), a área de drenagem de uma sub-bacia refere-se a projeção horizontal, até mesmo entre seus divisores topográficos. Ela é normalmente determinada por planimetria em mapas com escalas razoavelmente grandes e expressa em Km² ou Hectares.

4.8.6.2 Coeficiente de Compacidade (K_c)

O coeficiente de compacidade (K_c) é a associação entre o perímetro da bacia e a circunferência do círculo, onde a área é igual à da área de drenagem da sub-bacia. Este índice, por conseguinte, concatena a bacia a um círculo.

O coeficiente é um algarismo adimensional que sofre variação de acordo com a configuração da bacia, desassociado ao seu tamanho. De forma que, irá seguir comportamento diretamente relacionado ao parâmetro da bacia. Onde, quanto maior a descontinuação da bacia, seu coeficiente de compacidade também irá variar seguindo o mesmo comportamento. Como o coeficiente de compacidade é igual à unidade corresponde a uma bacia circular, ele proporciona a nomeação de maior ou menor ocorrência de cheias à medida que se aproxima ou afasta da unidade. A determinação do K_c pode ser feita por meio da Equação 07:

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (07)$$

Onde:

K_c = Coeficiente de compacidade adimensional;

P = Perímetro da bacia em km;

A = Área da bacia em km².

4.8.6.3 Fator de Forma (F)

Associa o aspecto da bacia com um retângulo, confrontando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia da foz em direção ao ponto mais distante do espigão. Em

virtude desta ação, observa-se que quanto menor o fator de forma, a bacia possui menor riscos ligados a um cenário de enchentes. Para determinar o fator de forma utiliza-se a Equação 08:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (08)$$

Onde:

F = Fator de forma, adimensional;

A = Área da bacia em km²;

L = comprimento axial da bacia em km.

4.8.6.4 Índice de circulação (IC)

Esta variável agrupa a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Este valor inclina-se para unidade à proporção que a bacia tende a forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais distendida.

Para se determinar o índice de circularidade utiliza-se a Equação 09:

$$IC = \frac{12,57 \times A}{p^2} \quad (09)$$

Onde:

IC = Índice de Circularidade, adimensional;

A = Área da bacia em km²;

P = Perímetro da bacia em km.

4.9 Estudos Hidrológicos

São realizados objetivando a confecção de diagnóstico de macrodrenagem existente nas áreas de aplicação, em relação a bacia da estrada nova, foi aplicado nas quatro sub-bacias, as quais tem se mostrado ineficientes não só no que se refere ao transporte de vazões decorrentes de chuvas intensas, mas também em relação a capacidade de absorção aos efeitos dos remansos das águas do rio Guamá, oriundo do evento de subida das marés. Além disso, tem a intenção de fornecer subsídios para a realização de um estudo de alternativas, que possuem como característica a adequação do sistema de macrodrenagem das referidas sub-bacias.

4.9.1 Chuvas Intensas

Os Estudos Hidrológicos foram realizados utilizando-se precipitações (chuvas) com 25 e 50 anos de tempo de retorno (TR). Os quantis de precipitações foram extraídos do Relatório de Chuvas Intensas e são apresentados na Tabela 01.

TR (ANOS)	Período da Precipitação (horas)											
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	18	24
25	78	98	111	121	128	134	143	150	157	162	170	182
50	84	107	121	132	140	146	156	164	171	177	185	198

Tabela 01: Quantis de Precipitação (mm); Fonte: Autor, 2018.

Verifica-se que conforme o aumento do tempo de retorno e o período de precipitação, os quantis de precipitação sofrem aumento. Este comportamento é normal e aceitável diante das condicionantes de tempo relacionadas. Além disso, é importante mencionar que as chuvas de diversas durações foram testadas nas 04 sub-bacias hidrográficas, no intuito de determinar a que terá duração de chuva capaz de gerar a maior vazão de pico no hidrograma resultante, recebendo como denominação “duração crítica”.

4.9.2 Curva IDF

Para a análise e caracterização ao longo do período de aplicação, utilizou-se a equação IDF estabelecida para o município de Belém, tendo a obtenção de diversos registros de precipitações diárias máximas ao longo do período hidrológico. Trabalhou-se ao longo da pesquisa com dados da estação pluviométrica de Belém, códigos 00148002 (ANA) e 82191 (INMET), operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A metodologia para a definição da equação por desagregação das precipitações diárias está embasada em Pinto (2013). Foi aplicada a série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (01/outubro a 31/setembro). A distribuição de frequência ajustada aos dados diários foi a Gumbel, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos.

A desagregação dos quantis diários em outras durações foi analisada conforme as relações entre alturas de chuvas de diferentes durações obtidas com as relações IDF estabelecidas por Pfafstetter (1982), embasadas na estação Belém.

A equação adotada para representar a família de curvas é:

$$I = \{[(aLn(T) + b). Ln(t + (\delta/60))] + cLn (T) + d\}/t \quad (10)$$

Onde:

I é a intensidade da chuva (mm/h)

T é o tempo de retorno (anos)

T é a duração das precipitações (horas)

a,b,c,d, δ são parâmetros da equação.

Fundamentado no caso de Belém, para durações entre 05 minutos e 60 minutos, aplica-se como parâmetros da equação as seguintes condicionantes:

Variáveis e seus valores de aplicação	
A	6,1835
B	21,4656
C	9,8566
D	34,1727
δ	14

Tabela 02: Análise de indicadores com períodos entre 05 minutos e 60 minutos; Fonte: Autor, 2018.

$$I = \{[(6,1835Ln(T) + 21,4656). Ln(t + (14/60))] + 9,8566Ln (T) + 34,1727\}/t \quad (11)$$

Levando-se em consideração durações superiores a 60 minutos até 1440 minutos, os parâmetros da equação mudam. Ganhando como caracterização o seguinte modelo:

Variáveis e seus valores de aplicação	
A	5,0329
B	17,4568
C	10,2614
D	35,5694

δ	12,6
----------	------

Tabela 03: Análise de indicadores com períodos entre 60 minutos e 1440 minutos; Fonte:

Autor, 2018.

$$I = \{[(5,0329Ln(T) + 17,4568).Ln(t + (12,6/60))]\} + 10,2614Ln(T) + 35,5694\}/t \quad (12)$$

4.9.3 Geração dos Hietogramas de Precipitação Efetiva

Os hietogramas totais foram transformados em efetivos. Nesse sentido, foi mapeada a condição atual de uso e ocupação do solo nos terrenos das 04 sub-bacias, permitindo a adequada determinação dos parâmetros do modelo SCS – United States Soil Conservation Service. Ressalta-se que, diante do grau de impermeabilização do solo, característico da ocupação urbana, as condições mapeadas foram também adotadas para o cenário futuro, corresponde à situação imediatamente subsequente à implantação das intervenções a serem propostas no estudo.

4.9.4 Transformação Chuva-Vazão

O cálculo de hidrogramas de escoamento superficial foi ajustado por meio da convolação dos hietogramas de precipitação efetiva, utilizando os conceitos de Hidrograma unitário, fundamentando nas características geomorfológicas das 04 sub-bacias em análise, por exemplo, a área de Drenagem. Essas condicionantes não sofreram alterações para o cenário futuro. Além disso, é importante mencionar que o escoamento de base foi desconsiderado na presente análise.

4.10 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica da Estrada Nova é a 5ª maior bacia da cidade, com uma população estimada em 220.150 habitantes (IBGE, Censo de 2000) e densidade demográfica de 23.502 habitantes/ km². Possui aproximadamente 9,37 km², dos quais grande parte está sujeita a alagamentos, devido à sua localização em cotas altimétricas iguais ou inferiores a 4,0 metros. Atualmente, em virtude de algumas modificações (por exemplo: aterros, canalizações, entre

outros), as áreas em cotas propícias a alagamentos são as próximas dos canais de drenagem e de uma das principais vias da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova: a Avenida Bernardo Sayão, além dos pontos baixos na malha viária da bacia hidrográfica em estudo. Localizando-se entre as bacias do UNA, Tamandaré e Tucunduba e o Rio Guamá, a saber.

A área espacial da Bacia Hidrográfica da Estrada Nova foi dividida em 04 (quatro) sub-bacias hidrográficas conforme tabela 04. A figura 23 demonstra a divisão das sub-bacias. A Sub-Bacia 02, está localizada na parte central da bacia principal, com uma população estimada em 91.887 habitantes (IBGE, Censo de 2000), densidade demográfica de 22.747 habitantes/km² e área de drenagem de 4,04 km².

Áreas de Abrangência				População		Densidade	
Sub-Bacia	m²	km²	%	hab.	%	hab./m²	hab./ km²
Sub-Bacia 01	1.854.138	1,85	20	42.961	20	0,023	23.170
Sub-Bacia 02	4.039.596	4,04	43	91.887	42	0,023	22.747
Sub-Bacia 03	2.212.356	2,21	24	53.226	24	0,024	24.058
Sub-Bacia 04	1.261.281	1,26	13	32.076	15	0,025	25.431
Total	9.367.371	9,37	100	220.150	100	0,024	23.502

Tabela 04: Principais características físicas das sub-bacia; Fonte: Autor, adaptado de Prefeitura de Belém.

A área de abrangência da Sub-Bacia 02 limita-se com os bairros Jurunas, Batista Campos, Nazaré, Cremação e Condor e com o Rio Guamá. É uma região com elevada ocupação urbana, edificações de médio a pequeno porte, sistema viário parcialmente articulado e uma economia voltada para pequenos comércios e mercados informais na parte sul da sub-bacia hidrográfica, já na parte norte a ocupação urbana é mais ordenada, caracterizada por edificações unifamiliares e multifamiliares e por comércios.

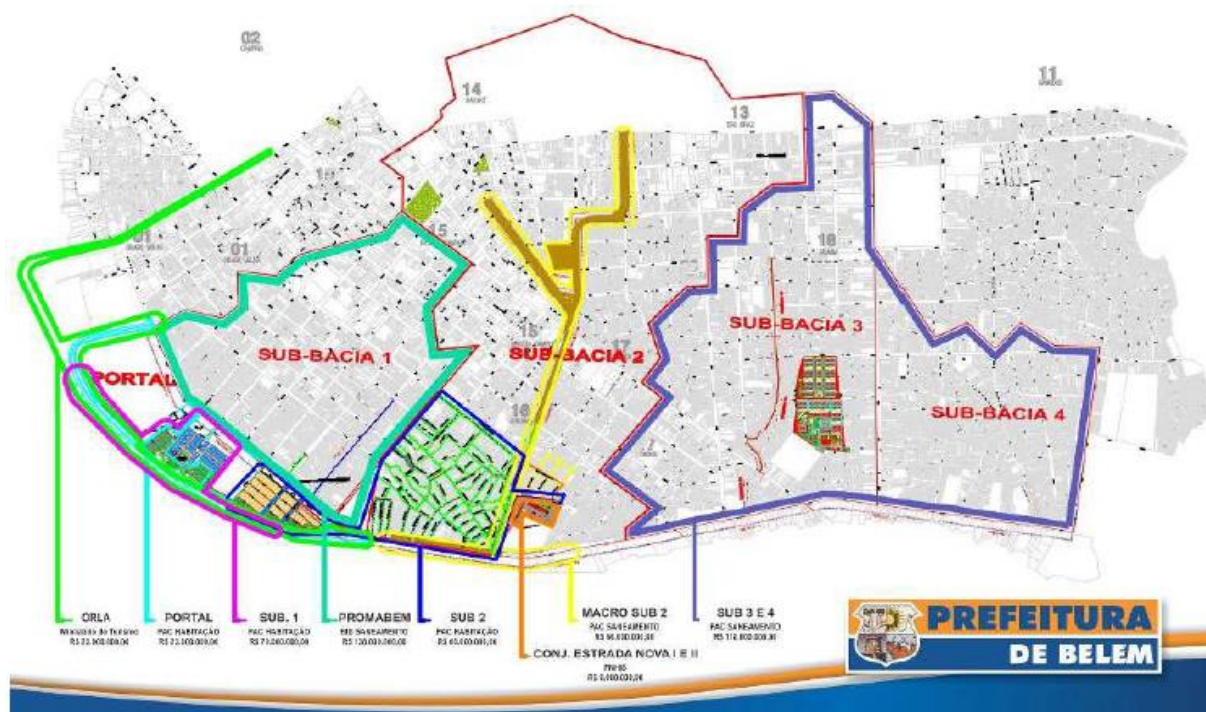


Figura 23 – Delimitação da área trabalhada na bacia da estrada nova; Fonte: Prefeitura de Belém, 2014.

O relevo da região, bem como a conformação da área caracteriza-se como uma grande planície, com baixas declividades e pouca variação de cotas altimétricas. Este é um fator que coligado às condições de ocupação da sub-bacia hidrográfica contribui para a deficiência do sistema de drenagem urbana.

O espaço físico da Sub-Bacia 02 possui uso predominantemente urbano, com uma ocupação bastante heterogênea e podendo ser dividida em duas grandes áreas, uma área nobre ao norte onde as elevações estão acima da cota altimétrica +5,00 m e outra de baixa renda ao sul, delimitada pelas cotas inferiores a cota +5,00 m. O processo de uso e ocupação do solo ocorreu de forma desordenada, refletindo diretamente nos padrões de ocupação verificados nas proximidades dos canais responsáveis pela drenagem da Sub-Bacia 02: edificações de famílias de baixa renda excessivamente próximas ao curso d'água.

No cenário atual, quando da subida das marés (máxima de +4,60 metros e mínima de +1,00 metro), ocorre o avanço das águas do Rio Guamá para o interior dos canais de drenagem da Sub-Bacia 02. Em virtude da baixa declividade da sub-bacia hidrográfica (cotas altimétricas iguais ou inferiores a +4,00 metros) e dos canais de drenagem, e do efeito predominante da elevação do nível d'água (NA) em relação à carga cinética, quando da ocorrência conjunta de

precipitações intensas e do remanso das águas do Rio Guamá, oriundo da oscilação das marés, o sistema de macrodrenagem apresenta um funcionamento hidráulico similar ao de um reservatório, que tanto conduz como recebe água do Rio Guamá.

O Sistema de Macrodrenagem Atual da Sub-Bacia 02 é ainda composto por um dispositivo de saída (dispositivo de descarga) localizado na confluência da Travessa Quintino Bocaiúva com a Avenida Bernardo Sayão, controlado também precariamente por comportas manuais, que lançam o escoamento pluvial no Rio Guamá.

4.10.1 Geologia da região

As características geológicas da área de influência direta são os principais entraves na reestruturação das vias projetadas para o programa. Típica de várzeas, estas áreas apresentam sedimentos flúvio-lagunares e de baía constituídos por sedimentos argilosos, com intercalações arenosas e muita matéria orgânica, terrenos baixos com declividade inferior a 5%, sedimentos argilosos ocorrendo em geral até uma profundidade de 20 metros, podendo também aflorar na superfície, nível d'água próximo à superfície, em determinado momento podendo ser aflorante, podendo resultar em áreas encharcadas, terrenos baixos e planos sujeitos a ciclos diários de inundação, dependentes da variação das marés, sedimentos lamínosos, apresentando matéria orgânica, com intercalações de areia fina.

Considera-se que o relevo da região seja caracterizado por uma topografia plana denominada de Planície Amazônica. Essa região engloba inúmeras formas de relevo, classificadas como Pediplano Pliocênico; Pediplano Neo-Pleistocênico e Planície de Inundação. Tais formas de relevo encontram forte relacionamento geológico, definido as unidades litológicas típicas da região. Esse modelamento caracteriza como afirmamos acima, os Sistemas Naturais, expressos pelas regiões de Terra Firme e Várzeas que desempenham um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico da região.

Estas unidades estão repousadas sobre uma unidade basal do Fanerozóico, representada pela sequência carbonática não aflorante, denominada de Formação Pirabas. Tal formação foi caracterizada pelo conhecimento adquirido por meios de poços perfurados. O mapa geológico da área de estudo é apresentado conforme figura 24:

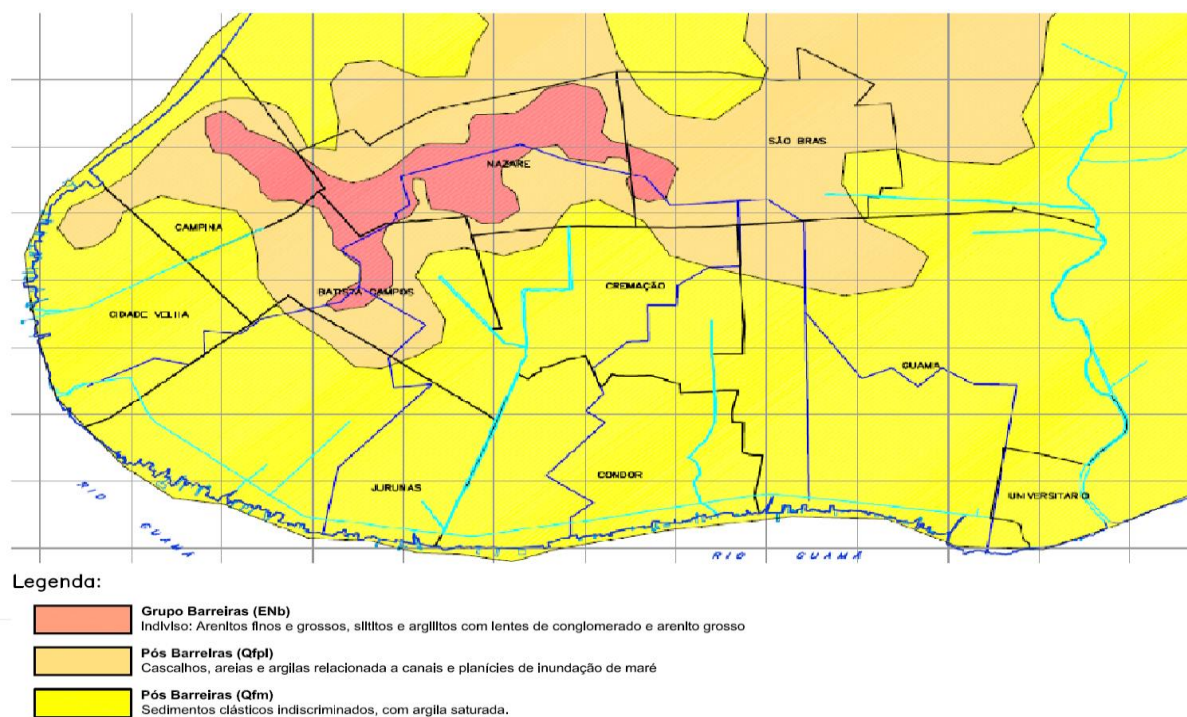


Figura 24 – Mapa Geológico da região; Fonte Autor, 2018.

4.10.2 Caracterização Geomorfológica das sub-bacias Hidrográficas

É válido mencionar que, com base na magnitude da sua área de drenagem e a maior complexidade do sistema de macrodrenagem, a Sub-Bacia 02 foi dividida em 03 unidades enxutas conforme exposto na tabela 05. Estas caracterizações constituem as seguintes sub-bacias hidrográficas de contribuição:

Montante Dr. Moraes: correspondente à área de drenagem situada a montante da confluência entre os canais de drenagem das ruas Quintino Bocaiúva e Dr. Moraes, que concentra o escoamento no canal da Rua Dr. Moraes;

Montante Quintino Bocaiúva: correspondente à área de drenagem situada a montante da confluência entre os canais de drenagem das ruas Quintino Bocaiúva e Dr. Moraes, que concentra o escoamento no trecho de montante do canal da Rua Quintino Bocaiúva; e

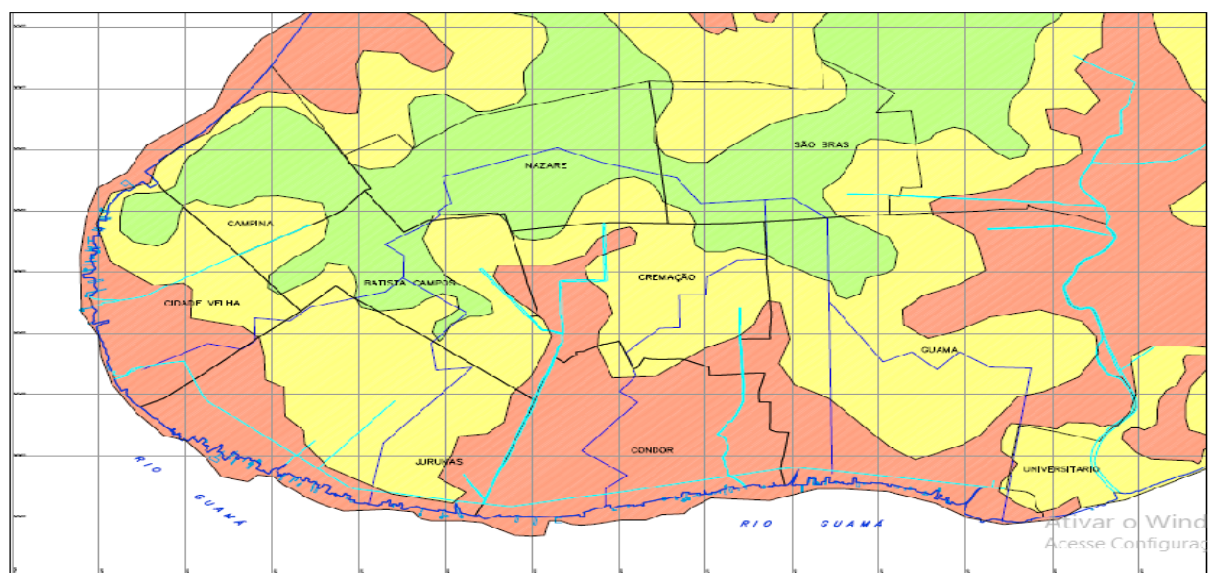
Jusante Quintino Bocaiúva: correspondente à área de drenagem incremental situada a jusante da confluência entre os canais de drenagem das ruas Quintino Bocaiúva e Dr. Moraes até a Avenida Bernardo Sayão, que tem como percurso principal do escoamento superficial o trecho de jusante do canal da Rua Quintino Bocaiúva.

Características Geomorfológicas	Sub-Bacia Hidrográfica					
	01	02			03	04
		Montante Dr Moraes	Montante Quintino Bocaiúva	Jusante Quintino Bocaiúva		
Área de Drenagem (Km ²)	1,846	0,991	1,386	1,663	2,226	1,251
Percurso do Escoamento (m)	2,120	1,565	2,060	1,820	2,670	1,260
Uso e Ocupação	Taxa de variação esta entre 85% a 95% de áreas urbanizadas					

Tabela 05: Principais características Geomorfológicas das sub-bacias Hidrográficas;

Fonte: Prefeitura de Belém.

Considera-se que o relevo da região seja caracterizado por uma topografia plana denominada de Planície Amazônica. Essa região engloba inúmeras formas de relevo, classificadas como Pediplano Pliocênico; Pediplano Neo-Pleistocênico e Planície de Inundação. Tais formas de relevo, cada qual com suas peculiaridades, encontram forte relacionamento geológico (conforme figura 25) e a Planície de Inundação que por si só já define as faixas mais rebaixadas ou àquelas que margeiam os cursos de água. A Figura 26 retrata o mapa de Hipsometria da Bacia da estrada nova e suas delimitações espaciais.



Legenda:

- Terra firme** - áreas de sedimentos consolidados a semi-consolidados, com estabilidade geomorfológica, sem problemas com movimentos de massa.
- Varzea semi estabilizada** - região de varzea, sujeita a movimentação de massa e a processos erosivos de carreamento incipientes a moderados
- Varzea Instável** - região de varzea com solo muito instável e hidrológicamente saturado, bastante susceptível a problemas de inundação, movimento de massa, deslocamento e carreamento.

Figura 25 – Geomorfologia da Região; Fonte Autor, 2018.

Número da Curva índice (CN / SCS)	85	85	85	85	85	85
Intervalo de Tempo da Simulação (t) (mm)	20	10	10	10	20	20
Lagtime ou tempo de retardo (SCS) (min)	90	90	72	60	108	72
Tempo de Concentração (min)	150	150	120	100	180	120

Tabela 06: Parâmetros de modelagem das Sub-bacias Hidrográficas; Fonte: Autor, 2018

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão evidenciados os resultados da pesquisa com análise gráfica e geração de gráficos que demonstram a caracterização da precipitação, Maré, assim como Hidrogramas e Hietogramas pertinentes a bacia da Estrada Nova divididos em sub-bacias que vão de 01 a 04. Serão evidenciados mapas de Geologia da região, Geomorfologia e análise das curvas IDF para o município. Por fim, serão apresentados mapas de inundação da bacia da estrada nova. Correlacionando os aspectos teóricos com a problemáticas apresentadas durante a pesquisa, levando-se em conta a delimitação dos aspectos básicos sobre o método aplicável assim como os seus modelos aplicáveis.

5.1.1 Relação de Curvas IDF

Pode-se inferir que as curvas de Intensidade, Duração e frequência, possuem relação direta na caracterização e análise de estudos de uma bacia. Este perfil, necessita de entendimento em relação parâmetros como área, população, período de retorno entre outras variáveis.

Os dados obtidos e caracterizados na figura 27, são válidos para tempos de retorno de até 100 anos. A tabela 07 demonstra as intensidades, tendo como unidade mm/h, provisionadas para diversas durações e diferentes períodos de tempos de retorno. Já a tabela 08, evidencia as respectivas alturas de chuva, considerando como unidade milímetro, para as mesmas durações e períodos de tempo de retorno provisionados na tabela 07.

Tempo de retorno Tr (anos)	Duração da Precipitação em minutos																
	05 minutos	10 minutos	20 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	120 minutos	180 minutos	240 minutos	300 minutos	360 minutos	420 minutos	480 minutos	720 minutos	840 minutos	1200 minutos	1440 minutos
02	136,7	104,5	79,1	66,0	54,1	46,4	29,6	22,4	18,2	15,5	13,5	12,0	10,8	07,9	07,0	05,3	04,6
05	166,9	127,5	96,6	80,6	66,0	56,6	36,2	27,3	22,2	18,9	16,5	14,7	13,2	9,7	8,6	6,4	5,6
10	189,8	144,9	109,8	91,6	75,0	64,4	41,1	31,0	25,2	21,4	18,7	16,7	15,0	11,0	09,7	07,3	06,3
15	203,1	155,1	117,5	98,0	80,3	68,9	44,0	33,2	27,0	22,9	20,0	17,8	16,1	11,8	10,4	07,8	06,8
20	212,6	162,3	123,0	102,6	84,0	72,1	46,1	34,8	28,3	24,0	21,0	18,7	16,9	12,3	10,9	08,2	07,1
25	219,9	168,0	127,2	106,1	86,9	74,6	47,6	36,0	29,2	24,8	21,7	19,3	17,4	12,7	11,3	08,5	07,3
30	226,0	172,5	130,7	109,0	89,3	76,6	48,9	36,9	30,0	25,5	22,3	19,8	17,9	13,1	11,6	08,7	07,5
40	235,4	179,8	136,2	113,6	93,1	79,8	51,0	38,5	31,3	26,6	23,2	20,7	18,7	13,6	12,1	09,1	07,8
50	242,8	185,4	140,4	117,1	96,0	82,3	52,6	39,7	32,3	27,4	23,9	21,3	19,2	14,1	12,4	09,4	08,1
60	248,8	190,0	143,9	120,0	98,3	84,3	53,9	40,7	33,1	28,1	24,5	21,8	19,7	14,4	12,8	09,6	08,3
70	253,9	193,8	146,8	122,5	100,3	86,1	55,0	41,5	33,7	28,7	25,0	22,3	20,1	14,7	13,0	09,8	08,5
75	256,1	195,6	148,1	123,6	101,2	86,8	55,5	41,9	34,1	28,9	25,2	22,5	20,3	14,8	13,1	09,9	08,5
100	265,8	202,8	153,6	128,1	105,0	90,0	57,5	43,4	35,3	30,0	26,2	23,3	21,0	15,4	13,6	10,2	08,8

Tabela 07: Intensidade da precipitação; Fonte: Autor, 2018.

Tempo de retorno Tr (anos)	Duração da Chuva em minutos																
	05 minutos	10 minutos	20 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos	120 minutos	180 minutos	240 minutos	300 minutos	360 minutos	420 minutos	480 minutos	720 minutos	840 minutos	1200 minutos	1440 minutos
02	11,4	17,4	26,4	33,0	40,6	46,4	59,3	67,1	72,8	77,3	80,9	84,1	86,8	95,1	98,3	105,6	109,4
05	13,9	21,2	32,2	40,3	49,5	56,6	72,4	81,9	88,8	94,3	98,8	102,6	105,9	116,0	119,9	128,9	133,5
10	15,8	24,2	36,6	45,8	56,3	64,4	82,2	93,1	100,9	107,1	112,2	116,6	120,3	131,9	136,3	146,5	151,8
15	16,9	25,9	39,2	49,0	60,2	68,9	88,0	99,6	108,0	114,7	120,1	124,8	128,8	141,1	145,9	156,8	162,4
20	17,7	27,1	41,0	51,3	63,0	72,1	92,1	104,3	113,1	120,0	125,7	130,6	134,8	147,7	152,7	164,1	170,0

25	18,3	28,0	42,4	53,1	65,2	74,6	95,3	107,9	117,0	124,2	130,1	135,1	139,5	152,8	157,9	169,8	175,9
30	18,8	28,8	43,6	54,5	67,0	76,6	97,9	110,8	120,2	127,5	133,6	138,8	143,3	157,0	162,2	174,4	180,7
40	19,6	30,0	45,4	56,8	69,8	79,8	102,0	115,4	125,2	132,9	139,2	144,6	149,3	163,6	169,0	181,7	188,2
50	20,2	30,9	46,8	58,6	72,0	82,3	105,2	119,0	129,1	137,0	143,5	149,1	153,9	168,7	174,3	187,4	194,1
60	20,7	31,7	48,0	60,0	73,7	84,3	107,8	122,0	132,3	140,4	147,1	152,8	157,7	172,8	178,6	192,0	198,9
70	21,2	32,3	48,9	61,2	75,2	86,1	110,0	124,5	135,0	143,3	150,1	155,9	160,9	176,4	182,2	195,9	202,9
75	21,3	32,6	49,4	61,8	75,9	86,8	110,9	125,6	136,2	144,6	151,4	157,3	162,4	177,9	183,9	197,7	204,8
100	22,1	33,8	51,2	64,1	78,7	90,0	115,0	130,2	141,2	149,9	157,0	163,1	168,4	184,5	190,7	205,0	212,3

Tabela 08: Altura da precipitação; Fonte: Autor, 2018.

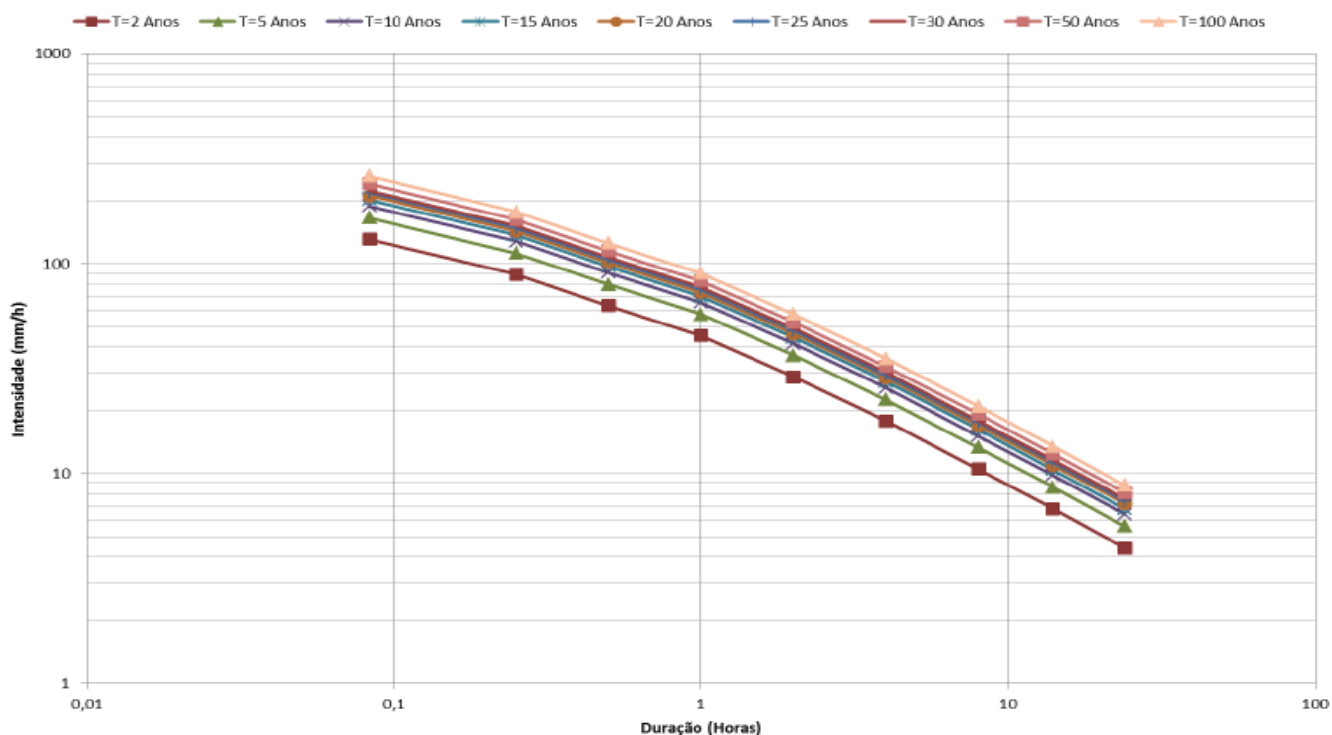


Figura 27 – Curva IDF para o município de Belém/PA; Fonte Autor, adaptado de SESAN em 2018.

Analisando a figura 27, pode-se inferir que a região possui elevados índices de pluviométricos, com a necessidade de entendimento das bacias. Verifica-se que quanto maior for a precipitação e sua duração concentrada em um curto período de tempo, maior será a possibilidade de problemas ligados a alagamentos região. Contudo, outras variáveis merecem ser consideradas para a análise mais precisa, tendo como possibilidades de verificação a altura das marés, temperatura e influência

dos efeitos ENOS. No entanto, ainda que com algumas condicionantes que promovem situações de risco tem-se o planejamento público e políticas de incentivo e educação como as principais aliadas no combate aos alagamentos na região.

5.1.2 Hietograma de precipitação total e efetiva

Para a análise dos gráficos, foram aplicados condicionantes relacionadas a duração crítica em horas (hrs), vazão em metros cúbicos por segundo (m^3/s), tempo de pico em minutos (min) e o volume do hidrograma em metros cúbicos (m^3). Estas condicionantes foram aplicadas aos estudos hidrológicos embasados em Tr de 25 anos e 50 anos conforme exposto nas tabelas 09 e 10.

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	PRINCIPAIS RESULTADOS			
	Duração Crítica (hrs)	Vazão de Pico (m^3/s)	Tempo de Pico (min)	Volume do Hidrograma (1.000 m^3)
01	04	14,42	200	147,380
JUSANTE QUINTINO BOCAIÚVA	04	13,45	200	132,770
MONTANTE QUINTINO BOCAIÚVA	04	12,67	180	110,658
MONTANTE DR MORAES	03	09,99	140	70,259
03	04	15,54	220	177,695
04	04	10,99	180	99,876

Tabela 09: Principais parâmetros adquiridos nas análises hidrológicas para TR = 25 anos;

Fonte: Autor 2018.

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	PRINCIPAIS RESULTADOS			
	Duração Crítica (hrs)	Vazão de Pico (m^3/s)	Tempo de Pico (min)	Volume do Hidrograma (1.000 m^3)
01	04	16,24	200	166,068

JUSANTE QUINTINO BOCAIÚVA	04	15,14	200	149,604
MONTANTE QUINTINO BOCAIÚVA	04	14,25	180	124,685
MONTANTE DR MORAES	03	11,21	140	78,849
03	04	17,50	220	200,224
04	04	12,37	180	112,541

Tabela 10: Principais parâmetros adquiridos nas análises hidrológicas para TR = 50 anos;

Fonte: Autor, 2018.

Fundamentado nos resultados expostos nas tabelas referentes aos parâmetros de análise e as respectivas sub-bacias, infere-se que as vazões de pico para diferentes períodos de retorno apresentam pequenas variações, isso pode-se explicar pela proximidade dos quantis de precipitação correspondentes.

Ainda com base nas tabelas, afirma-se com base no comportamento dos dados que os volumes do hidrograma sofrem variações com percentuais médios de 12,68% em comparação com o período de TR = 50 anos e Tr = 25 anos.

Os Hietogramas de precipitação efetiva e total, assim como seus parâmetros de análise estão fundamentados nos critérios já mencionados neste trabalho. Para a análise dos Hietogramas, utilizou-se dados referentes a precipitação com variações entre 0 milímetros e 30 milímetros. Em relação ao tempo, adotou-se períodos entre 0 minutos e 600 minutos. Já para a Vazão, aplicou-se no trecho entre 0 m³/s e 30 m³/s. Os dados dos Hietogramas foram confrontados com as análises dos Hidrogramas em cada uma das sub-bacias para os períodos de tempo de retorno em 25 anos e 50 anos. Os gráficos estão descritos a partir da figura 28 até a figura 39.

Analisando a figura 28, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 01 para o Tr fundamentado em 25 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 11 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 12 milímetros e 12,5 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 12,5 milímetros para 0 milímetros. Já

em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 40 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 4,8 milímetros. Atingem o seu ápice entre 40 e 50 minutos com precipitação de aproximadamente 05 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 50 minutos e 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 60 minutos e 200 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

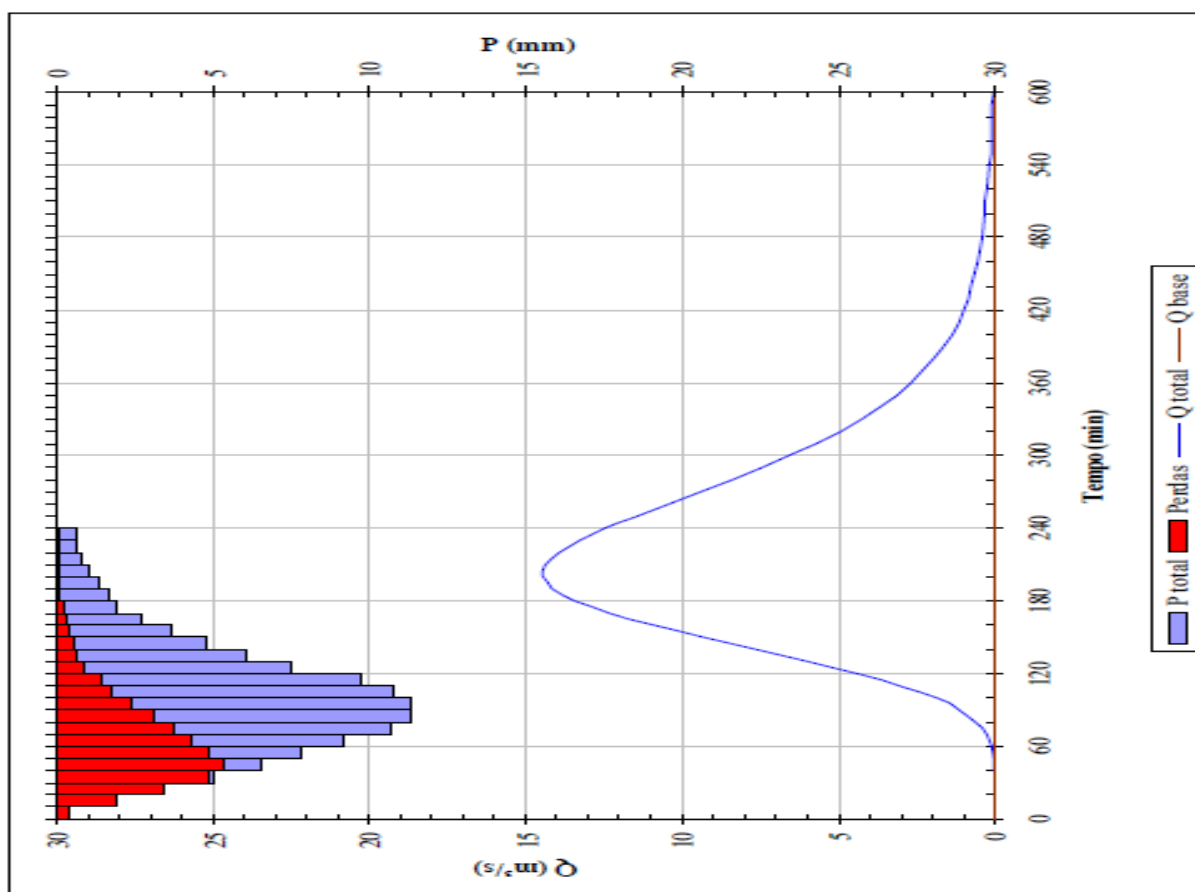


Figura 28 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 01 para período de retorno crítico $T_r = 25$ anos ; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 29, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 01 para o T_r fundamentado em 50 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 12 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 12 milímetros e 13 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100

minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 13 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 40 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 5,2 milímetros. Atingem o seu ápice entre 40 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 06 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 60 minutos e 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 06 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 60 minutos e 200 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

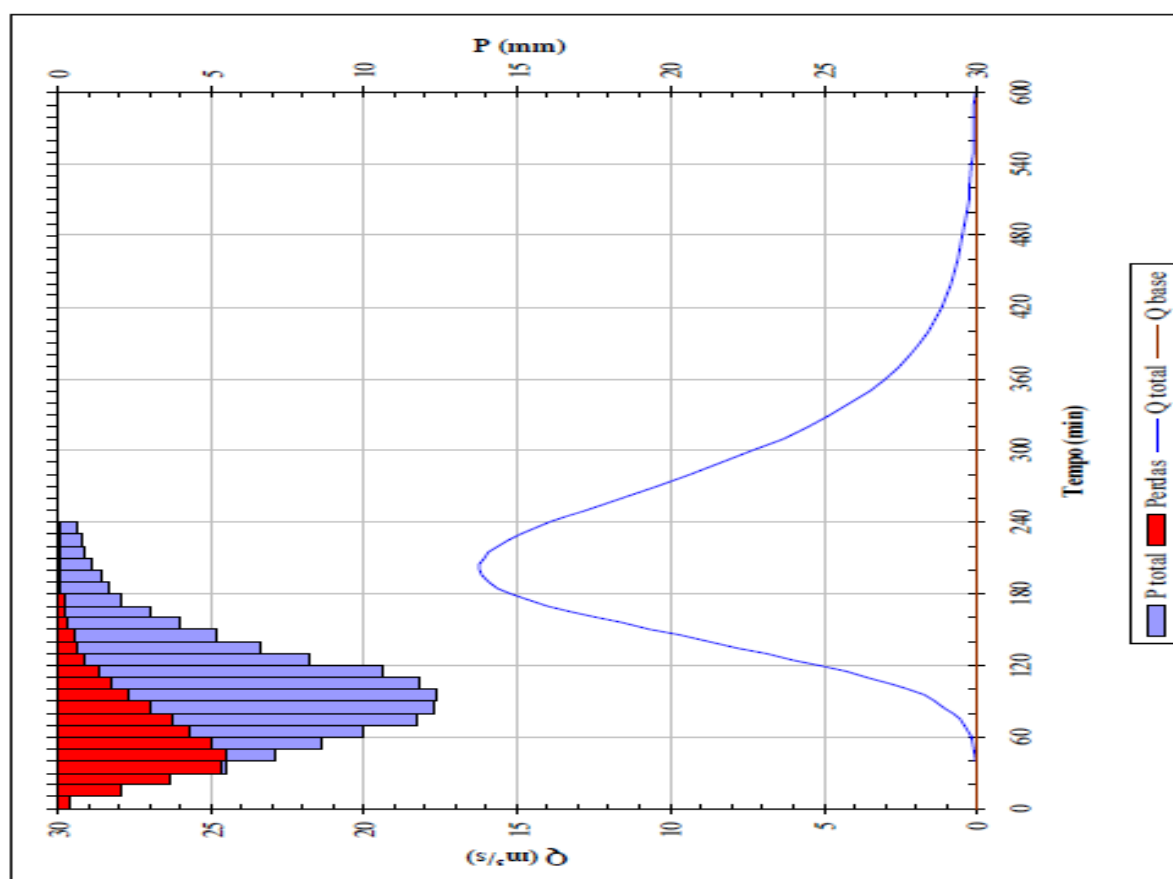


Figura 29 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 01 para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos ; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 30, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 02 Montante Dr Moraes para o Tr fundamentado em 25 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 60 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 13 milímetros. Atinge seu pico no período entre 60 e 80 minutos, com precipitação entre 13 milímetros e 14 milímetros. Após esta fase

sofre declínio entre 80 minutos e 180 minutos, variando a sua precipitação de 13 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 25 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 6,5 milímetros. Atingem o seu ápice entre 25 e 45 minutos com precipitação de aproximadamente 07 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 45 minutos e 160 minutos. Tendo variação de precipitação entre 07 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 0 minutos e 150 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

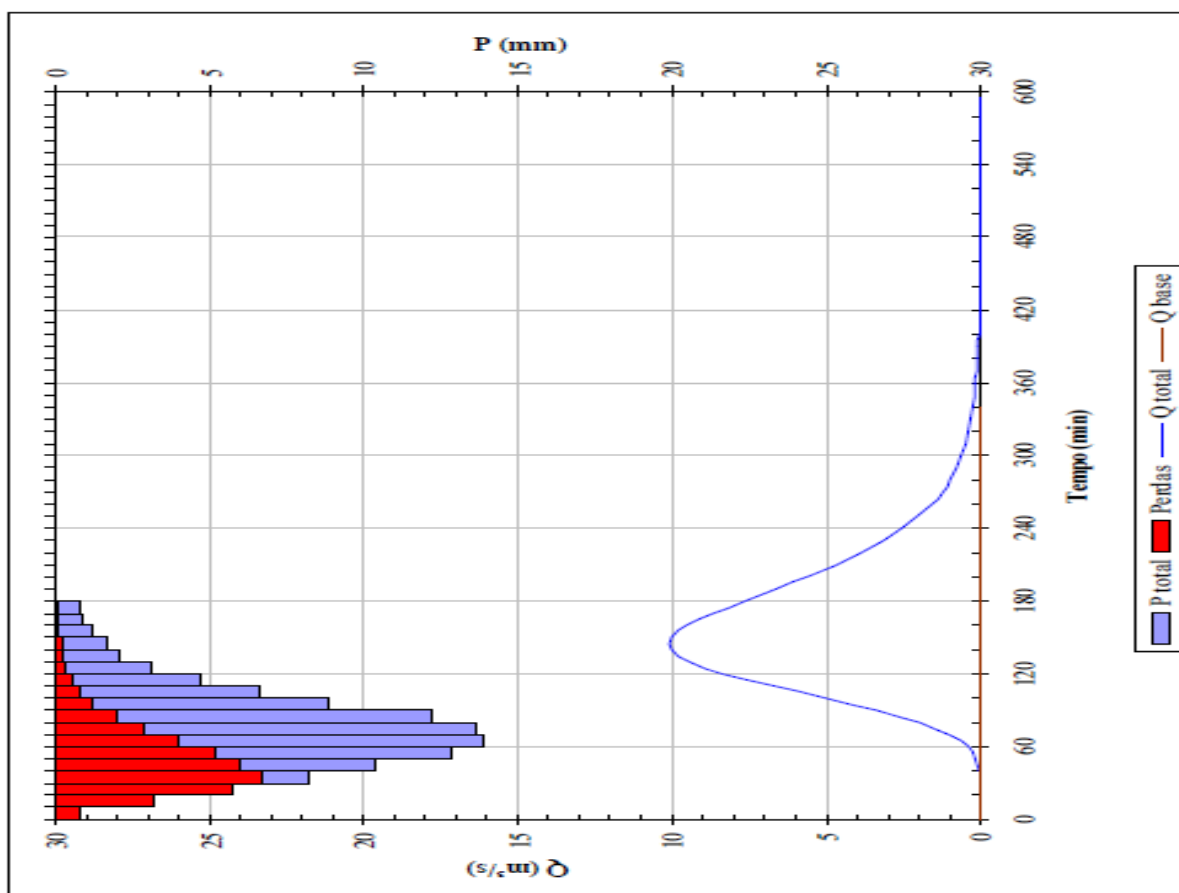


Figura 30 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 02 Montante Dr Moraes para período de retorno crítico $T_r = 25$ anos; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 31, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 02 Montante Dr Moraes para o T_r fundamentado em 50 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 60 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 15 milímetros. Atinge seu pico no período entre 60 e 80 minutos, com precipitação entre 15 milímetros e 16 milímetros. Após esta fase

sofre declínio entre 80 minutos e 180 minutos, variando a sua precipitação de 16 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 40 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 07 milímetros. Atingem o seu ápice entre 20 e 40 minutos com precipitação de aproximadamente 07 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 40 minutos e 150 minutos. Tendo variação de precipitação entre 07 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 0 minutos e 150 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

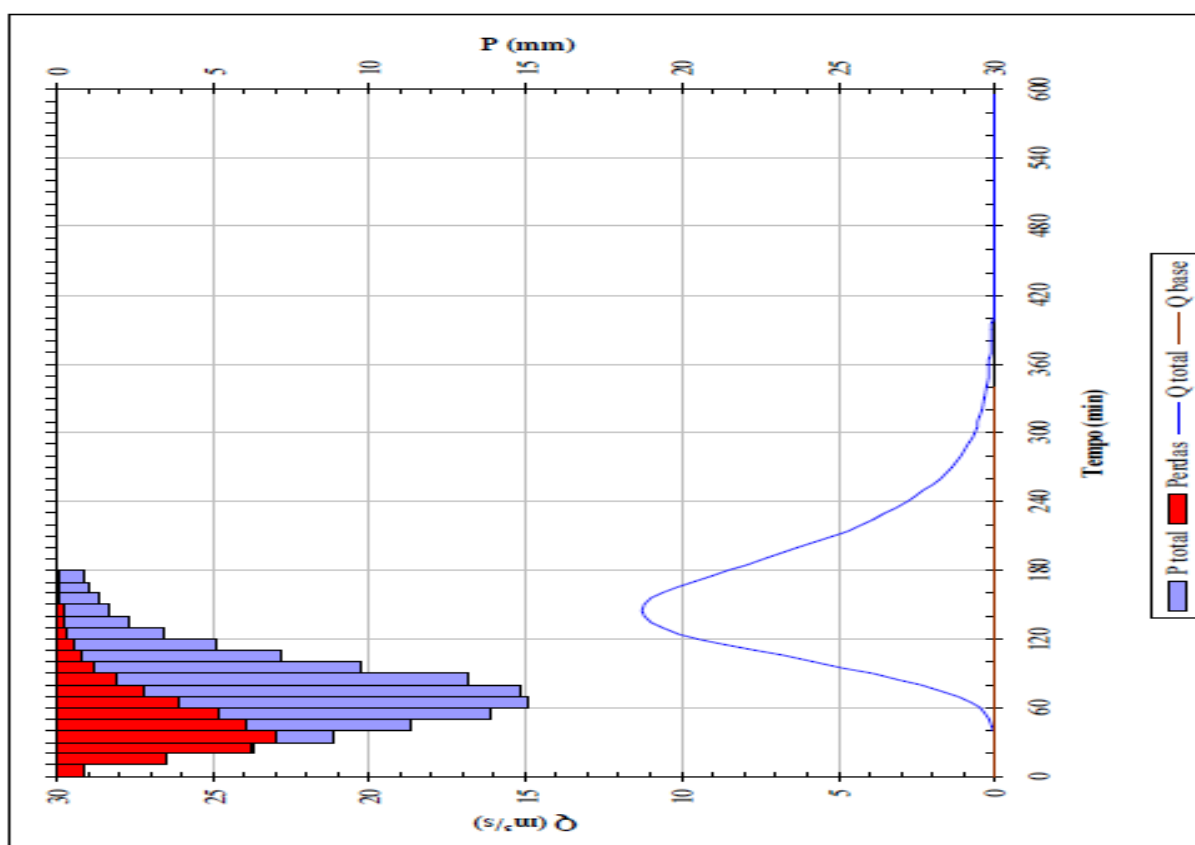


Figura 31 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 02 Montante Dr Moraes para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos ; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 32, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva para o Tr fundamentado em 25 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 11 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 11 milímetros e 11,5 milímetros. Após

esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 11,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 40 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 06 milímetros. Atingem o seu ápice entre 40 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,8 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 60 minutos e 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,8 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 180 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

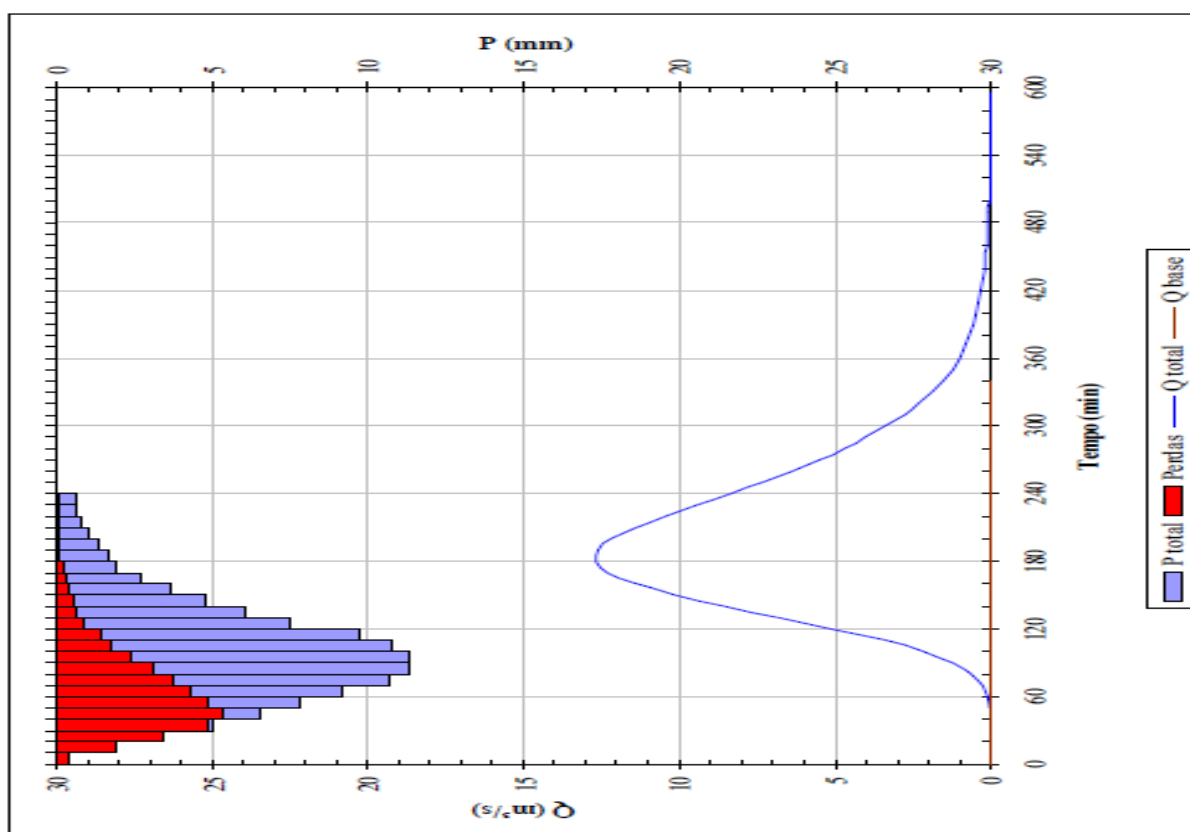


Figura 32 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos ; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 33, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva para o Tr fundamentado em 50 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 12 milímetros. Atinge seu pico no

período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 12 milímetros e 12,5 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 12,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 40 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05 milímetros. Atingem o seu ápice entre 40 e 50 minutos com precipitação de aproximadamente 05,6 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 50 minutos e 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,6 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 180 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

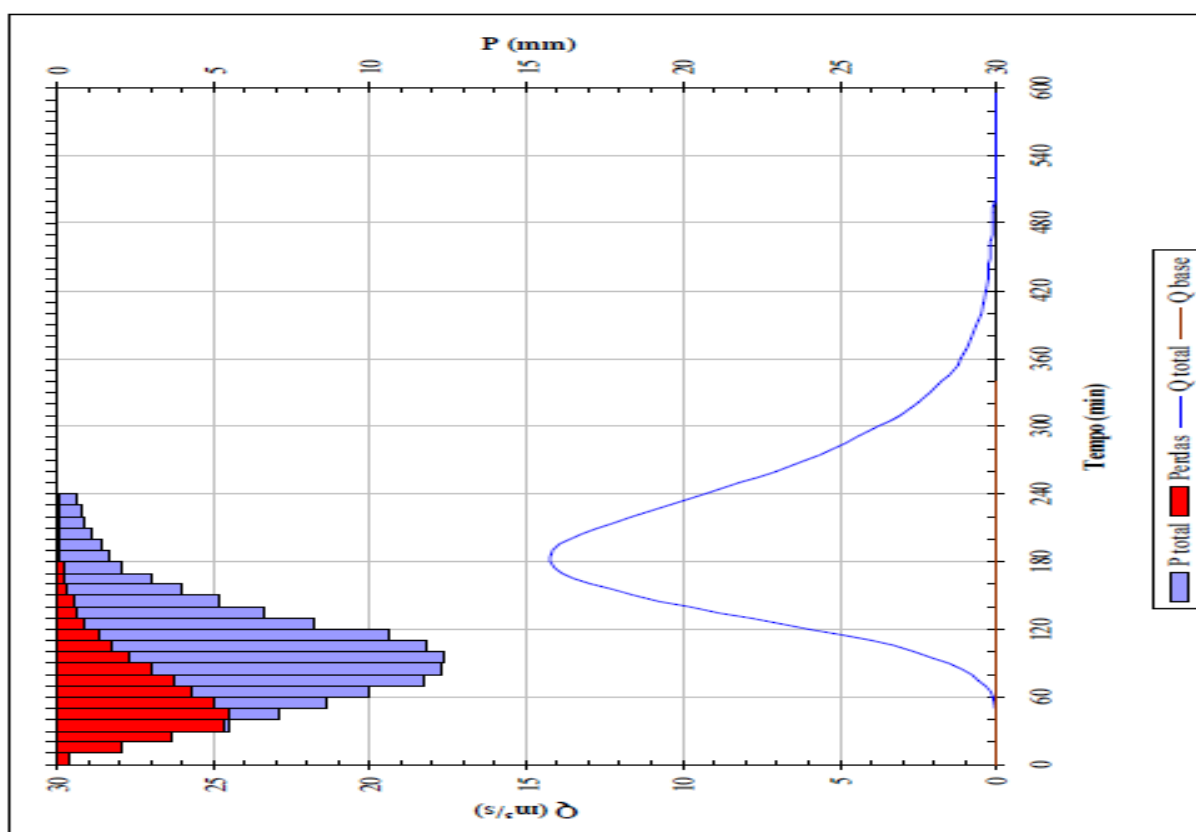


Figura 33 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos ; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 34, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva para o Tr fundamentado em 25 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80

minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 11 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 11 milímetros e 11,5 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 11,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 40 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05 milímetros. Atingem o seu ápice entre 40 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,5 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 60 minutos e 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,5 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 200 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

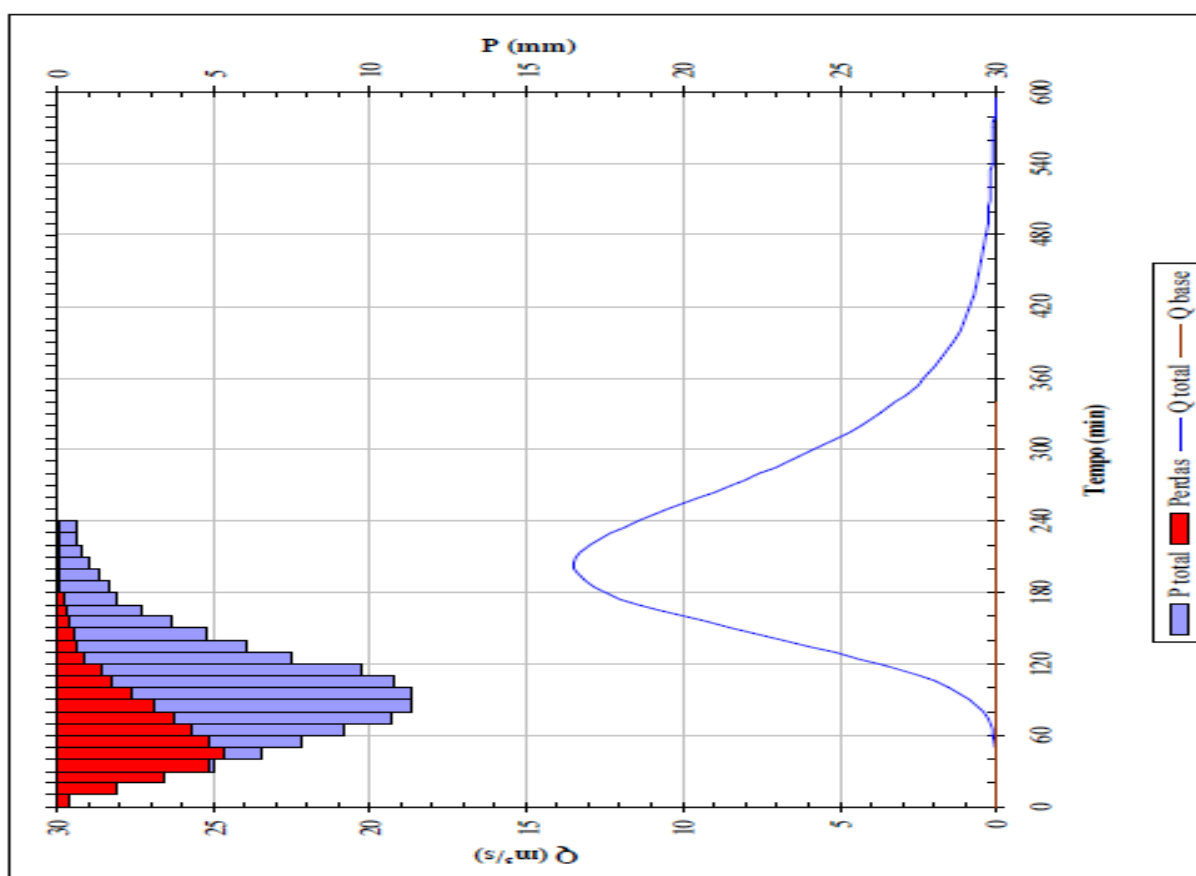


Figura 34 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $T_r = 25$ anos; Fonte: Autor, 2018. Analisando a figura 35, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva para o T_r fundamentado em 50 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80

minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 12,5 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 12,5 milímetros e 13 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 12,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 50 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05,5 milímetros. Atingem o seu ápice entre 50 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,80 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento entre 60 minutos até 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,8 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 210 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até a fase final de 600 minutos.

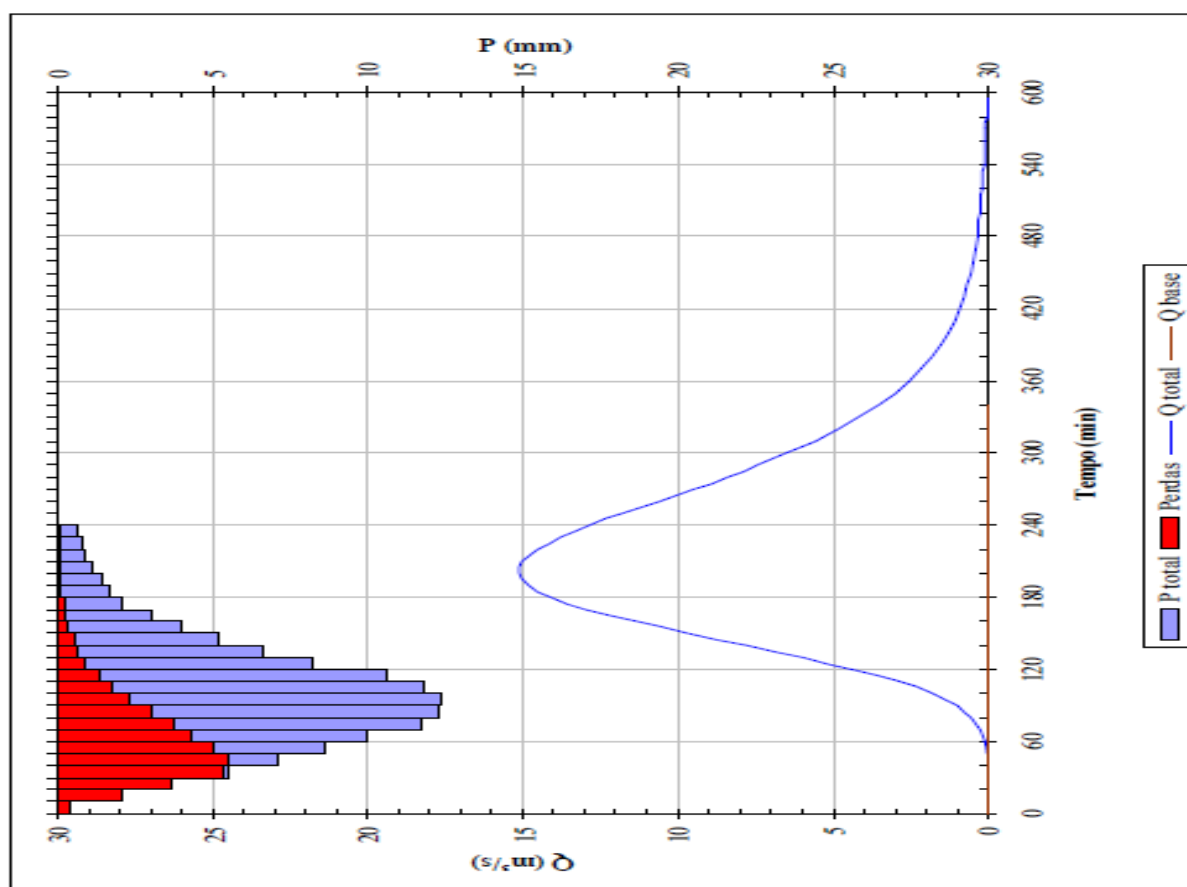


Figura 35 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos; Fonte: Autor, 2018. Analisando a figura 36, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 03 para o Tr fundamentado em 25 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo

variação de 0 milímetros a 11,5 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 11,5 milímetros e 12,5 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 12,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 50 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05,3 milímetros. Atingem o seu ápice entre 50 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,30 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento até 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,3 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 220 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio.

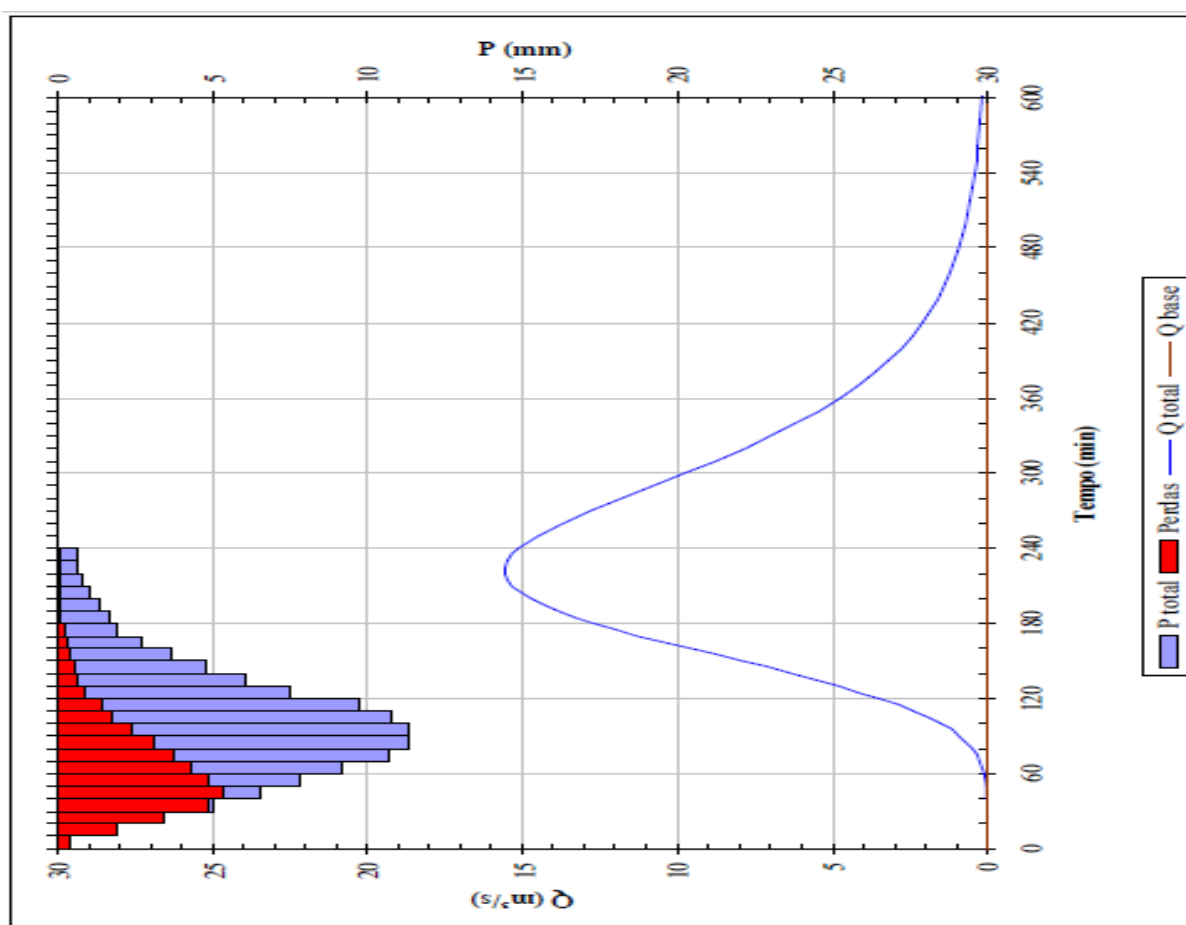


Figura 36 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 03 para período de retorno crítico $T_r = 25$ anos; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 37, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 03 para o Tr fundamentado em 50 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 12,5 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 12,5 milímetros e 13 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 13 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 50 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05 milímetros. Atingem o seu ápice entre 50 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,50 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento até 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,5 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 220 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio

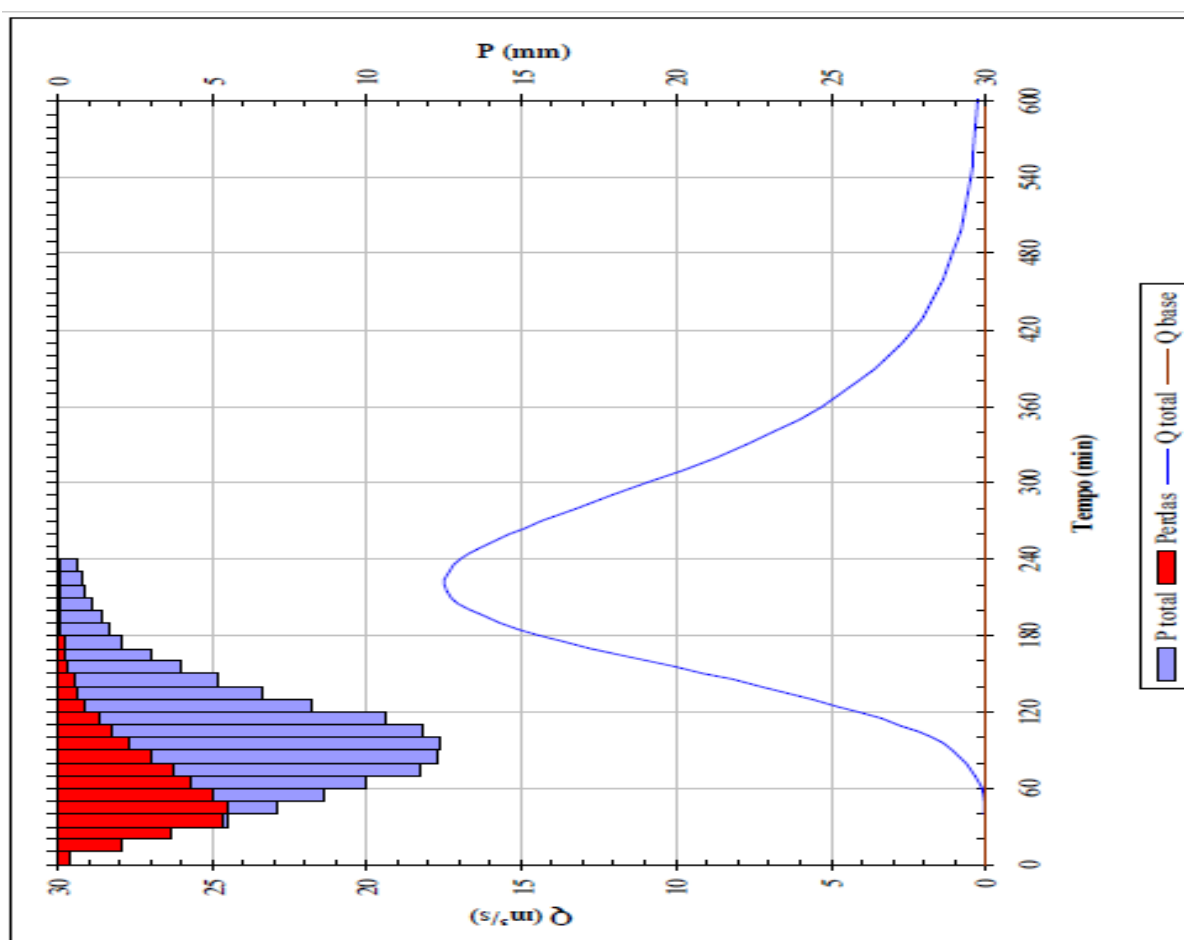


Figura 37 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial na sub-bacia 03 para período de retorno crítico $T_r = 50$ anos; Fonte: Autor, 2018.

. Analisando a figura 38, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 04 para o Tr fundamentado em 25 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 11,0 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 11,0 milímetros e 11,5 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 11,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 50 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05,5 milímetros. Atingem o seu ápice entre 50 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,50 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento até 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,5 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 40 minutos e 180 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até 520 minutos.

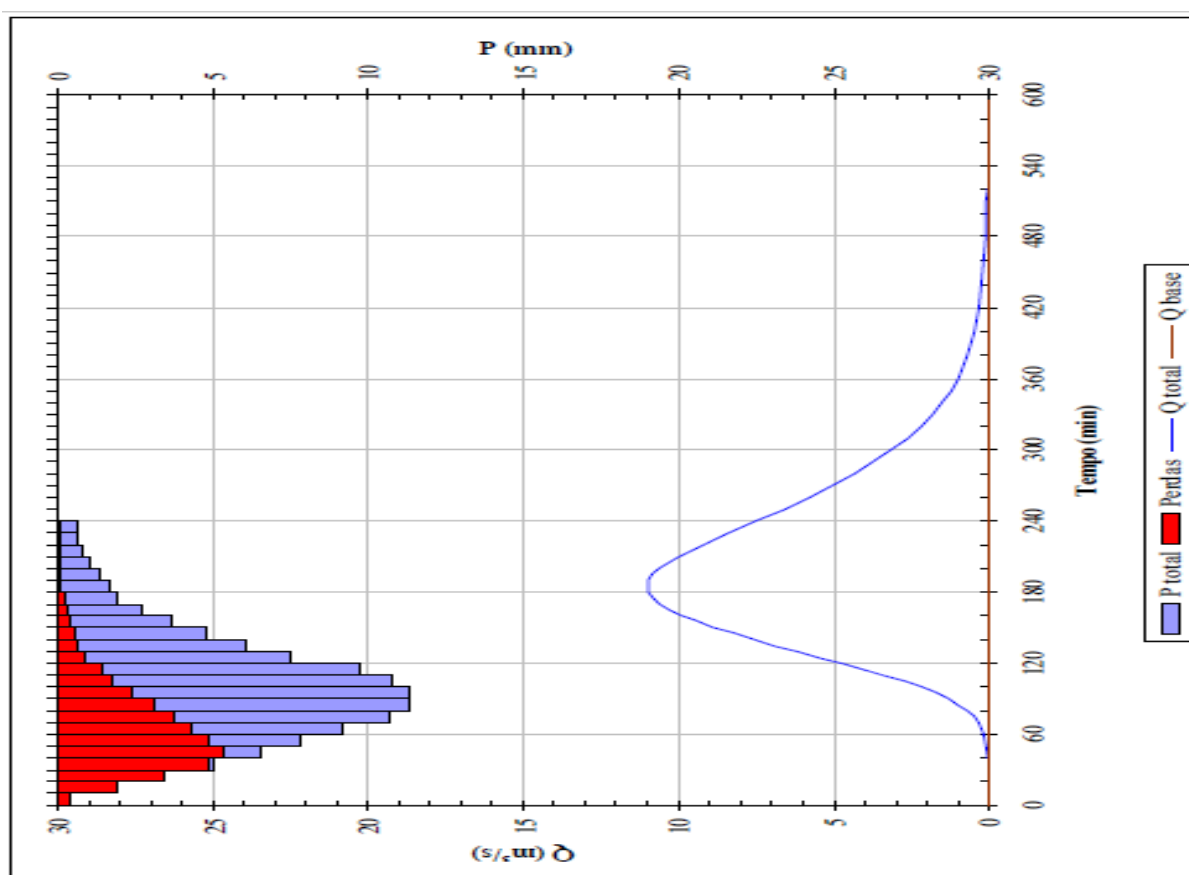


Figura 38 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 04 para período de retorno crítico $Tr = 25$ anos; Fonte: Autor, 2018.

Analisando a figura 39, pode-se inferir que a precipitação total na sub-bacia 04 para o Tr fundamentado em 50 anos, possui período ascendente entre 0 minutos e 80 minutos, sofrendo variação de 0 milímetros a 12,5 milímetros. Atinge seu pico no período entre 80 e 100 minutos, com precipitação entre 12,0 milímetros e 12,5 milímetros. Após esta fase sofre declínio entre 100 minutos e 240 minutos, variando a sua precipitação de 12,5 milímetros para 0 milímetros. Já em relação as perdas, possuem período de ascendência entre 0 minutos e 50 minutos, sofrendo neste intervalo variação na precipitação de 0 milímetros a 05,5 milímetros. Atingem o seu ápice entre 50 e 60 minutos com precipitação de aproximadamente 05,5 milímetros. Após esta etapa caracteriza-se a faixa de decrescimento até 180 minutos. Tendo variação de precipitação entre 05,5 milímetros e 0 milímetros nesta fase. Enquanto que a vazão possui período de ascendência entre 50 minutos e 180 minutos. Nesta fase atinge seu ápice e depois evidencia-se um declínio até 520 minutos.

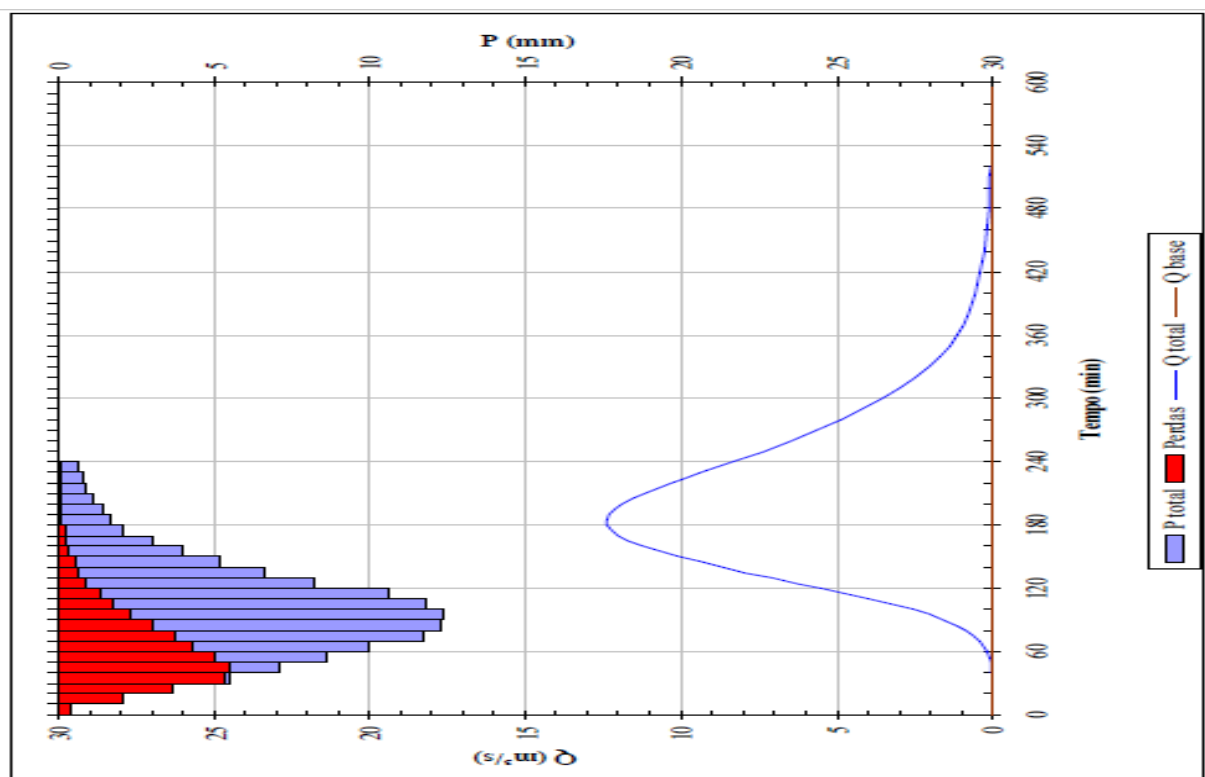


Figura 39 – Hietograma de precipitação total / efetiva e hidrograma de escoamento superficial obtidos na sub-bacia 04 para período de retorno crítico $Tr = 50$ anos; Fonte: Autor, 2018.

Fundamentado nos valores, verifica-se que em diversas etapas existem semelhanças entre os períodos de tempo de retorno e as sub-bacias. Evidenciando uma similaridade na bacia da estrada nova para o período aplicado em estudo. A tabela 11 demonstra o resumo dos comportamentos verificados no estudo.

Resumo de Hietogramas Variações em Sub-bacias Unidade: Minutos		SUB BACIAS E TRECHOS								
		PRECIPITAÇÃO TOTAL			PRECIPITAÇÃO PERDAS			VAZÃO		
		Ascendência	Pico	Declínio	Ascendência	Pico	Declínio	Ascendência	Pico	Declínio
TR = 25 ANOS	Sub Bacia 01	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 40	40 a 50	50 a 180	60 a 200	200	200 a 600
	Sub Bacia 02 Montante Dr Moraes	0 a 60	60 a 80	80 a 180	0 a 25	25 a 45	45 a 160	0 a 150	150	150 a 600
	Sub Bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 40	40 a 60	60 a 180	50 a 180	180	180 a 600
	Sub Bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 40	40 a 60	60 a 180	50 a 200	200	200 a 600
	Sub Bacia 03	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 50	50 a 60	60 a 180	50 a 220	220	220 a 600
	Sub Bacia 04	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 50	50 a 60	60 a 180	40 a 180	180	180 a 520

Resumo de Hietogramas Variações em Sub-bacias Unidade: Minutos		SUB BACIAS E TRECHOS								
		PRECIPITAÇÃO TOTAL			PRECIPITAÇÃO PERDAS			VAZÃO		
		Ascendência	Pico	Declínio	Ascendência	Pico	Declínio	Ascendência	Pico	Declínio
TR = 50 ANOS	Sub Bacia 01	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 40	40 a 60	60 a 180	60 a 200	200	200 a 600
	Sub Bacia 02 Montante Dr Moraes	0 a 60	60 a 80	80 a 180	0 a 40	20 a 40	40 a 150	0 a 150	150	150 a 600
	Sub Bacia 02 Montante Quintino Bocaiúva	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 40	40 a 50	50 a 180	50 a 180	180	180 a 600
	Sub Bacia 02 Jusante Quintino Bocaiúva	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 50	50 a 60	60 a 180	50 a 210	210	210 a 600
	Sub Bacia 03	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 50	50 a 60	60 a 180	50 a 220	220	220 a 600

Sub Bacia 04	0 a 80	80 a 100	100 a 240	0 a 50	50 a 60	60 a 180	50 a 180	180	180 a 520
--------------	--------	----------	-----------	--------	---------	----------	----------	-----	-----------

Tabela 11: Resumo de informações dos Hietogramas; Fonte: Autor, 2018.

5.1.3 Hidrogramas de Escoamento Superficial

Durante a análise e geração dos hidrogramas, considerou-se como evento crítico aquele que a duração da precipitação gerou a maior vazão de pico ao hidrograma resultante. Para isso, gerou-se diferentes tempos de precipitação, tendo como base valores em 120 minutos, 180 minutos, 240 minutos, 300 minutos, 360 minutos e considerou-se diferentes valores múltiplos de 2 para a vazão entre 0 (m³/s) e 20 (m³/s).

Para os gráficos da figura 40 a 51, evidencia-se que existem cenários de ascendência onde ocorre o crescimento nos valores de vazão, chegando até o ápice de cada período de precipitação, onde alcançam valores máximos no gráfico. Após o alcance do período de ápice de crescimento, evidencia-se que segue um período de decrescimento com a diminuição continua da vazão até atingir valor 0. Esta operação, foi realizada para as 04 sub-bacias hidrográficas, considerou-se como tempo de retorno de 25 e 50 anos.

A figura 40, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 01 para tempo de retorno de 25 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascendência de 40 minutos até 150 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 12,7 (m³/s). Alcançando a crista com 150 minutos e valores de vazão em 12,7 (m³/s). Posteriormente, apresenta decrescimento entre 150 minutos e 500 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 12,5 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 50 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 180 minutos com valores de vazão alcançando 14 (m³/s). Adiante, nota-se o decrescimento entre 180 minutos e 500 minutos, com trechos de vazão que alteram de 14 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 210 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0

(m^3/s) e $14,5$ (m^3/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 210 minutos com valores de vazão calculados em $14,5$ (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo, evidenciado no intervalo entre 210 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de $14,5$ (m^3/s) até 0 (m^3/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 70 minutos até 220 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e $14,5$ (m^3/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 220 minutos com valores de vazão calculados em $14,5$ (m^3/s). Seguidamente, observa-se decrescimento no intervalo, no intervalo entre 220 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de $14,5$ (m^3/s) até 0 (m^3/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 260 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 14 (m^3/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 260 minutos com vazão calculada em 14 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo é evidenciado no intervalo entre 260 minutos e 600 minutos, sofrendo variação na vazão de 14 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

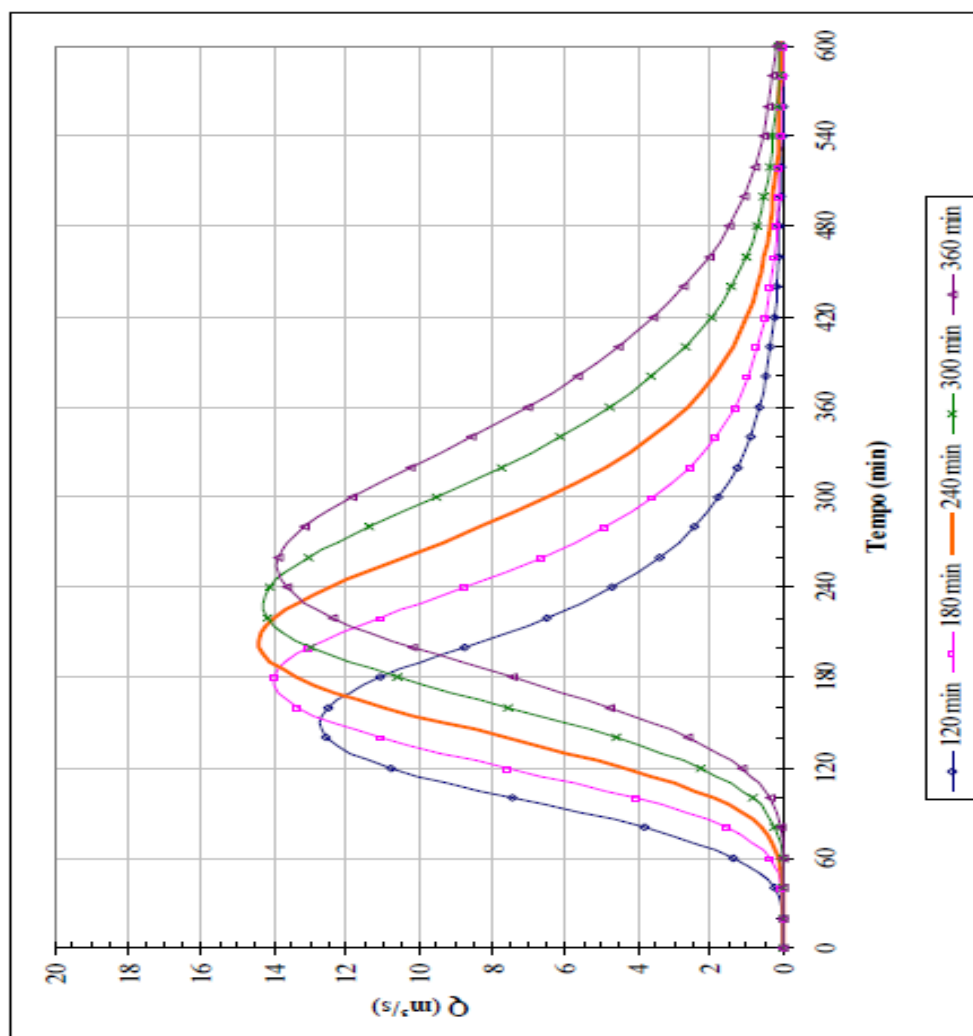


Figura 40 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 01 tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 41, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 01 para tempo de retorno de 50 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascensão de 30 minutos até 140 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m^3/s) a 12,2 (m^3/s). Alcançando a crista com 140 minutos e valores de vazão em 12,2 (m^3/s). Posteriormente, apresenta decrescimento entre 140 minutos e 480 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 12,2 (m^3/s) a 0 (m^3/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 50 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s)

e 14 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 180 minutos com valores de vazão alcançando 14 (m³/s). Adiante, nota-se o decrescimento entre 180 minutos e 500 minutos, com trechos de vazão que alteram de 14 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 210 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 15,8 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 210 minutos com valores de vazão calculados em 15,8 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo, evidenciado no intervalo entre 210 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de 15,8 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 70 minutos até 220 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 16 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 220 minutos com valores de vazão calculados em 16 (m³/s). Seguidamente, observa-se decrescimento no intervalo, no intervalo entre 220 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de 16 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 260 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 15,8 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 260 minutos com vazão calculada em 15,8 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo é evidenciado no intervalo entre 260 minutos e 600 minutos, sofrendo variação na vazão de 15,8 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

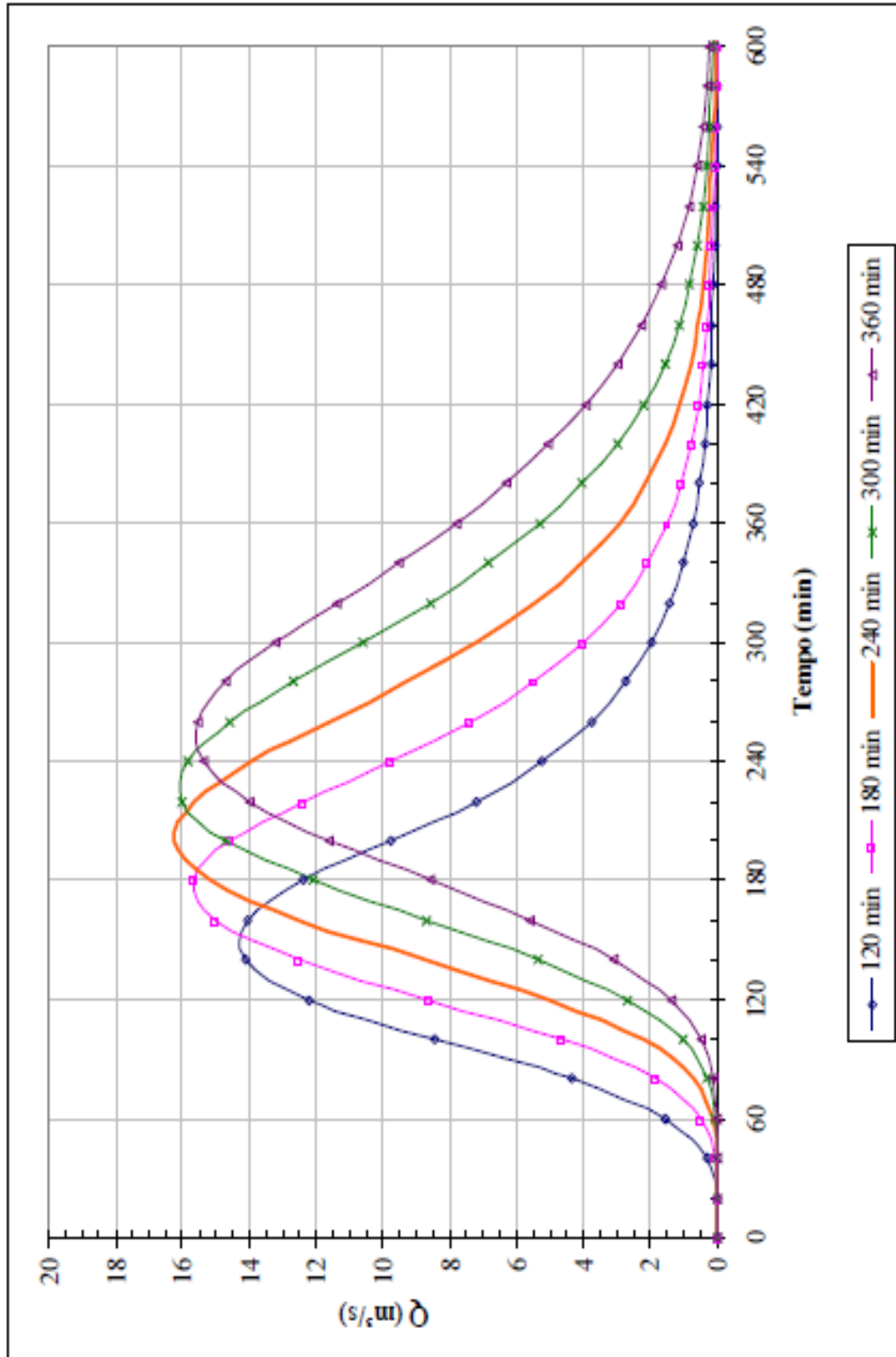


Figura 41 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 01 tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 42, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 02 trecho montante Dr Moraes para tempo de retorno de 25 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 60 minutos, possui período de ascensão de 20 minutos até 90 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 7,50 (m³/s). Alcançando a crista com 90 minutos e valores de vazão em 7,50 (m³/s). Posteriormente, apresenta decréscimo entre 90 minutos e 280 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 7,50 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 120 minutos, possui período de elevação de 40 minutos até 120 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 9,80 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 120 minutos com valores de vazão alcançando 9,80 (m³/s). Adiante, nota-se o decréscimo entre 120 minutos e 300 minutos, com trechos de vazão que alteram de 9,80 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 180 minutos, possui período de elevação de 50 minutos até 140 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 10,0 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 140 minutos com valores de vazão calculados em 10,0 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo, evidenciado no intervalo entre 140 minutos e 380 minutos, sofrendo variação na vazão de 10,0 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, obtendo período de elevação de 60 minutos até 160 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 10 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 160 minutos com valores de vazão calculados em 10 (m³/s). Seguidamente, observa-se decréscimo no intervalo, no intervalo entre 160 minutos e 400 minutos, sofrendo variação na vazão de 10 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 60 minutos até 200 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 9,50 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 200 minutos com vazão calculada em 9,50 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo é evidenciado no intervalo entre 200 minutos e 440 minutos, sofrendo variação na vazão de 9,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

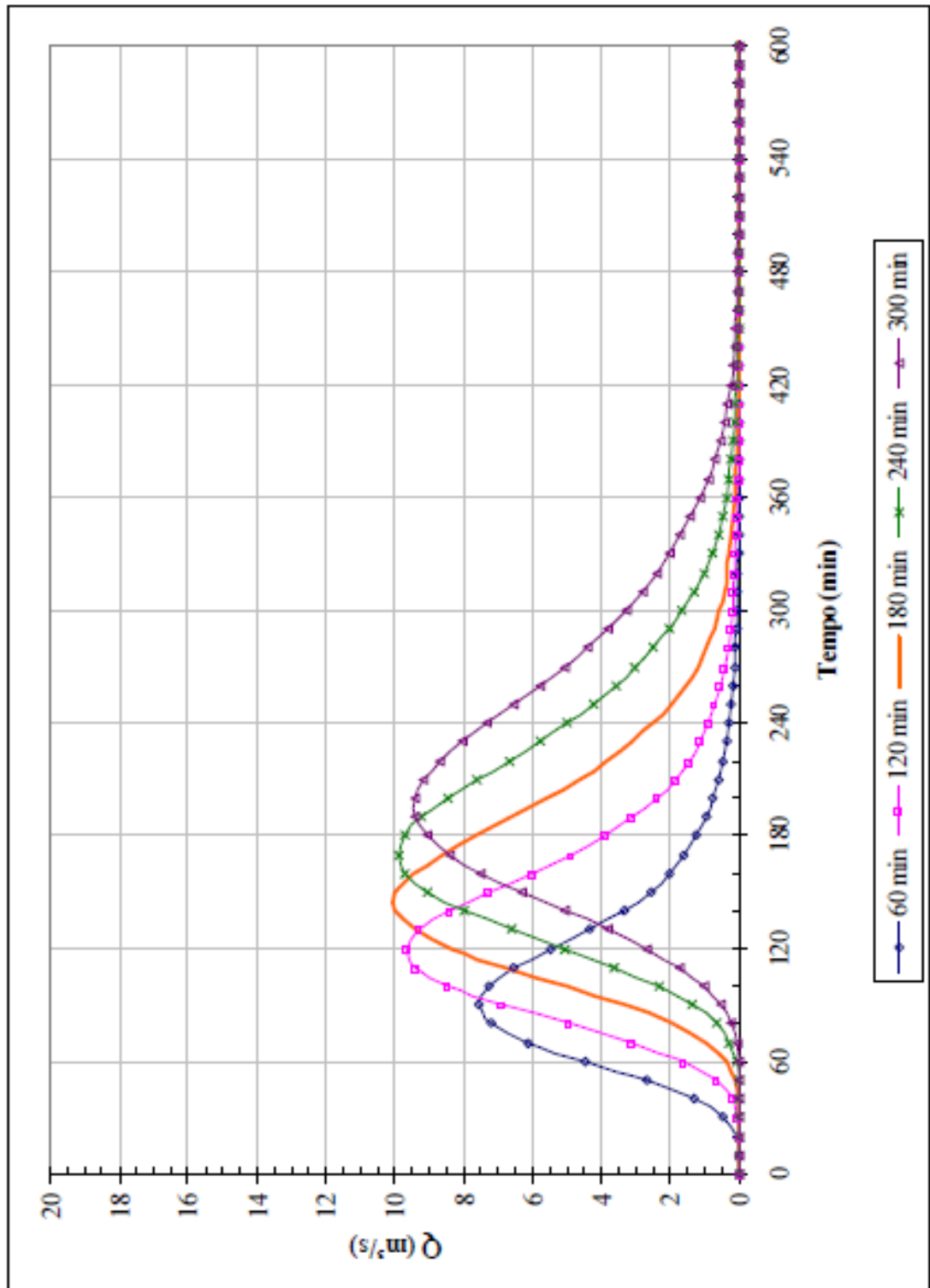


Figura 42 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Dr. Moraes), tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 43, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 02 trecho montante Dr Moraes para tempo de retorno de 50 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 60 minutos, possui período de ascensão de 20 minutos até 80 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 8,50 (m³/s). Alcançando a crista com 80 minutos e valores de vazão em 8,50 (m³/s). Posteriormente, apresenta decréscimo entre 80 minutos e 280 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 8,50 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 120 minutos, possui período de elevação de 40 minutos até 120 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 10,80 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 120 minutos com valores de vazão alcançando 10,80 (m³/s). Adiante, nota-se o decréscimo entre 120 minutos e 320 minutos, com trechos de vazão que alteram de 10,80 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 180 minutos, possui período de elevação de 50 minutos até 140 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 11,2 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 140 minutos com valores de vazão calculados em 11,2 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo, evidenciado no intervalo entre 140 minutos e 340 minutos, sofrendo variação na vazão de 11,2 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, obtendo período de elevação de 60 minutos até 170 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 11 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 170 minutos com valores de vazão calculados em 11 (m³/s). Seguidamente, observa-se decréscimo no intervalo, no intervalo entre 170 minutos e 400 minutos, sofrendo variação na vazão de 11 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 70 minutos até 200 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 10,50 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 200 minutos com vazão calculada em 10,50 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo é evidenciado no intervalo entre 200 minutos e 440 minutos, sofrendo variação na vazão de 10,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

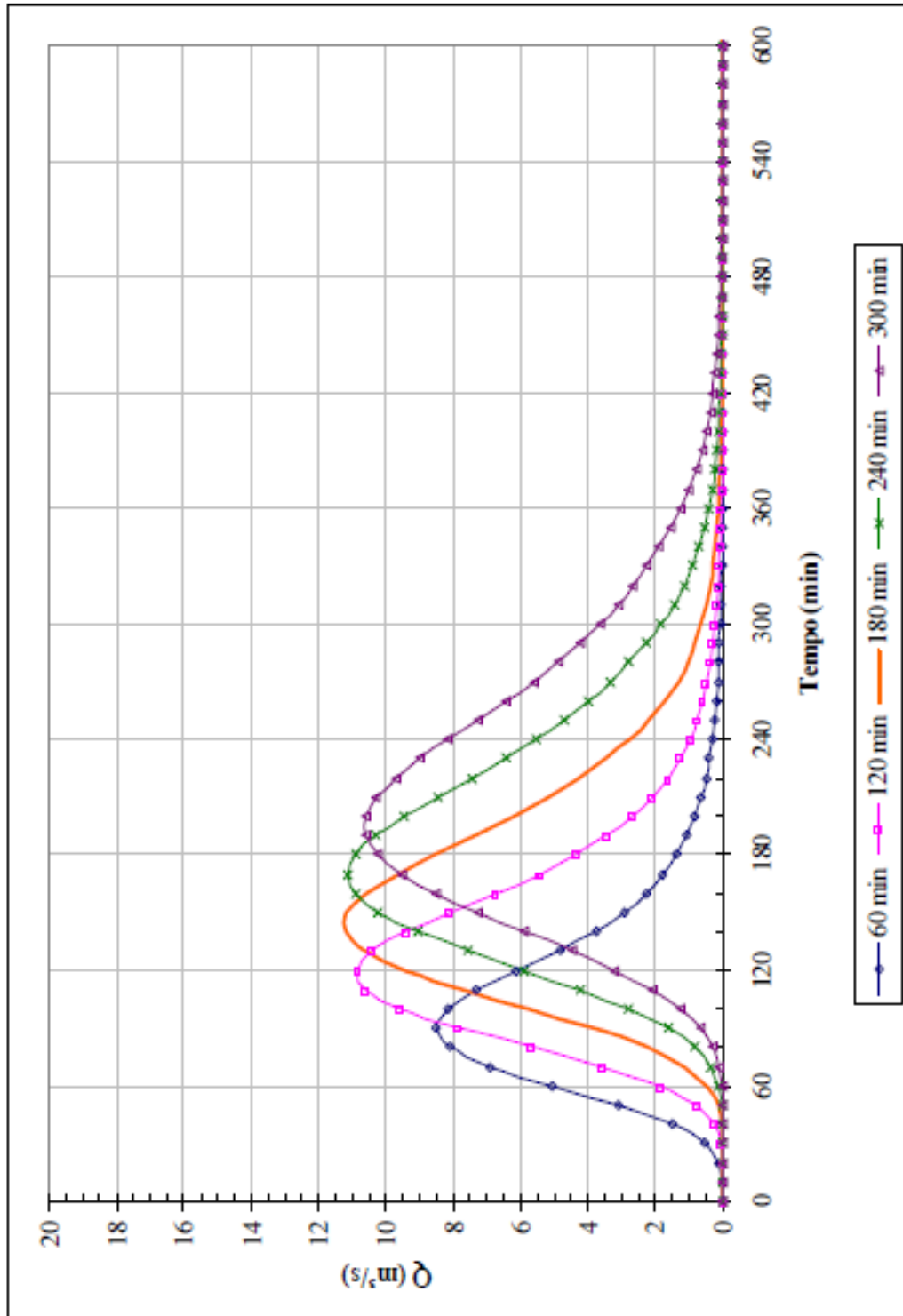


Figura 43 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Dr. Moraes), tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 44, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 02 trecho montante Quintino Bocaiúva tempo de retorno de 25 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascendência de 40 minutos até 130 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 12,0 (m³/s). Alcançando a crista com 130 minutos e valores de vazão em 12,0 (m³/s). Posteriormente, apresenta decrescimento entre 130 minutos e 380 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 12,0 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 50 minutos até 150 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 12,50 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 150 minutos com valores de vazão alcançando 12,50 (m³/s). Adiante, nota-se o decrescimento entre 150 minutos e 400 minutos, com trechos de vazão que alteram de 12,50 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 12,5 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 180 minutos com valores de vazão calculados em 12,5 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo, evidenciado no intervalo entre 180 minutos e 440 minutos, sofrendo variação na vazão de 12,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 200 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 12,2 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 200 minutos com valores de vazão calculados em 12,2 (m³/s). Seguidamente, observa-se decrescimento no intervalo, no intervalo entre 200 minutos e 480 minutos, sofrendo variação na vazão de 12,2 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 240 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 11,80 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 240 minutos com vazão calculada em 11,80 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo é evidenciado no intervalo entre 240 minutos e 520 minutos, sofrendo variação na vazão de 11,8 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

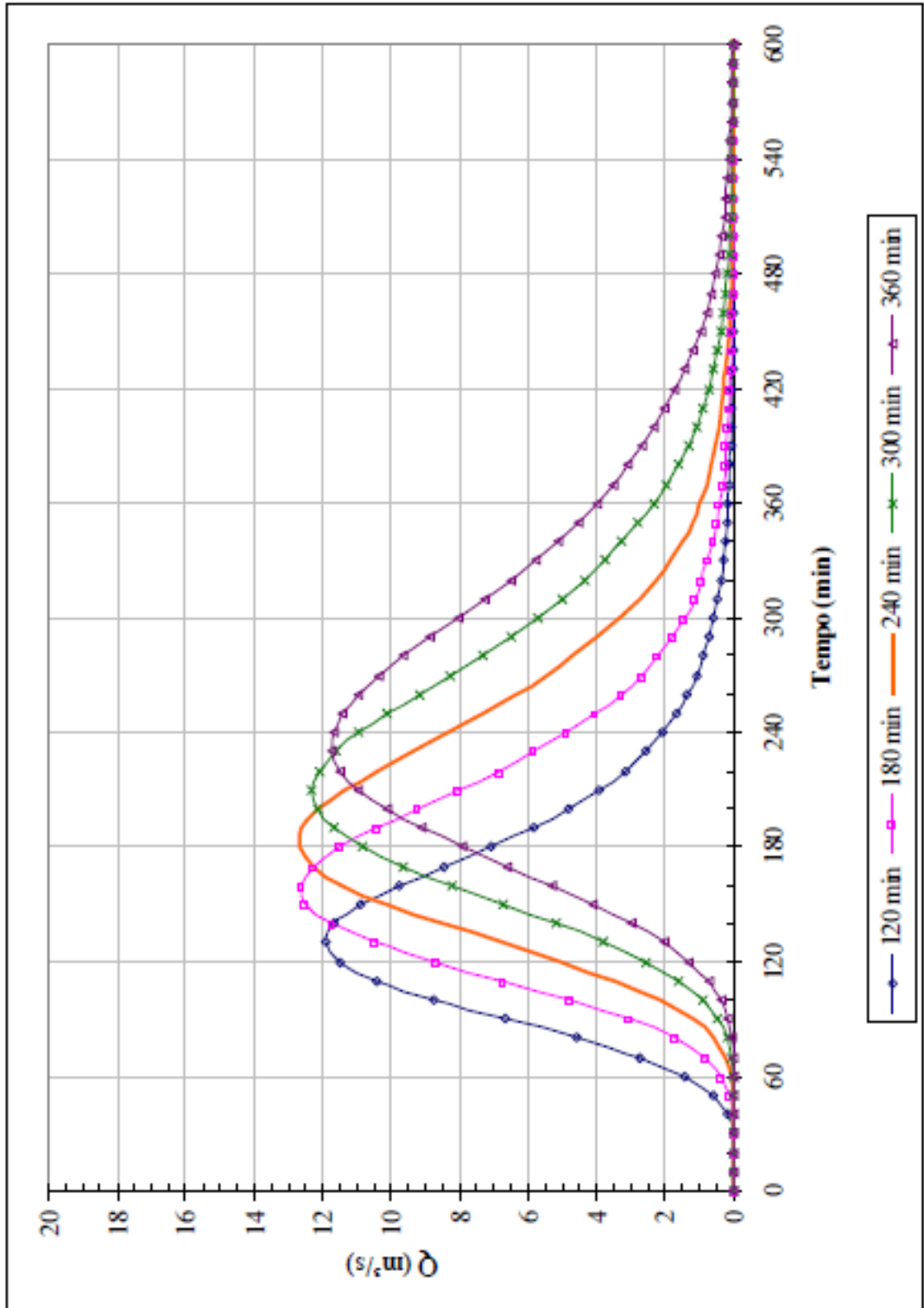


Figura 44 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 45, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 02 trecho montante Quintino Bocaiúva tempo de retorno de 50 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascendência de 40 minutos até 140 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 13,5 (m³/s). Alcançando a crista com 140 minutos e valores de vazão em 13,5 (m³/s). Posteriormente, apresenta decrescimento entre 140 minutos e 380 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 13,5 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 40 minutos até 150 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,0 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 150 minutos com valores de vazão alcançando 14,0 (m³/s). Adiante, nota-se o decrescimento entre 150 minutos e 400 minutos, com trechos de vazão que alteram de 14,0 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,0 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 180 minutos com valores de vazão calculados em 14,0 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo, evidenciado no intervalo entre 180 minutos e 440 minutos, sofrendo variação na vazão de 14,0 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 210 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,0 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 210 minutos com valores de vazão calculados em 14,0 (m³/s). Seguidamente, observa-se decrescimento no intervalo, no intervalo entre 210 minutos e 460 minutos, sofrendo variação na vazão de 14,0 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 90 minutos até 240 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 13,0 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 240 minutos com vazão calculada em 13,0 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo é evidenciado no intervalo entre 240 minutos e 520 minutos, sofrendo variação na vazão de 13,0 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

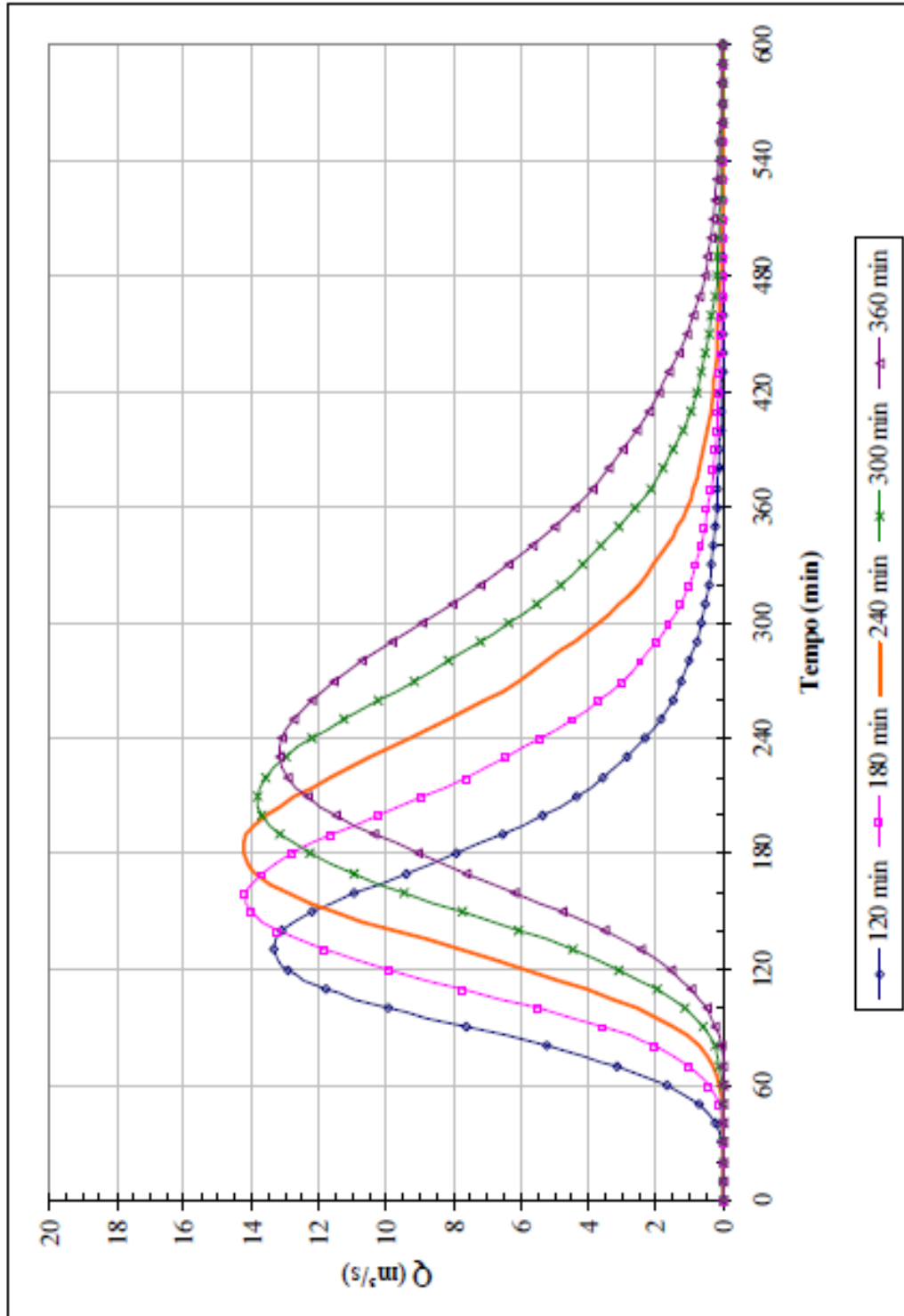


Figura 45 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Montante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 46, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 02 trecho Jusante Quintino Bocaiúva tempo de retorno de 25 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascendência de 40 minutos até 150 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 12,0 (m³/s). Alcançando a crista com 150 minutos e valores de vazão em 12,0 (m³/s). Posteriormente, apresenta decrescimento entre 150 minutos e 440 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 12,0 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 13,0 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 180 minutos com valores de vazão alcançando 13,0 (m³/s). Adiante, nota-se o decrescimento entre 180 minutos e 440 minutos, com trechos de vazão que alteram de 13,0 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 80 minutos até 200 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 13,5 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 200 minutos com valores de vazão calculados em 13,5 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo, evidenciado no intervalo entre 200 minutos e 500 minutos, sofrendo variação na vazão de 13,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 70 minutos até 230 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 13,2 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 230 minutos com valores de vazão calculados em 13,2 (m³/s). Seguidamente, observa-se decrescimento no intervalo, no intervalo entre 230 minutos e 500 minutos, sofrendo variação na vazão de 13,2 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 100 minutos até 260 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 12,50 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 260 minutos com vazão calculada em 12,50 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo é evidenciado no intervalo entre 260 minutos e 560 minutos, sofrendo variação na vazão de 12,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

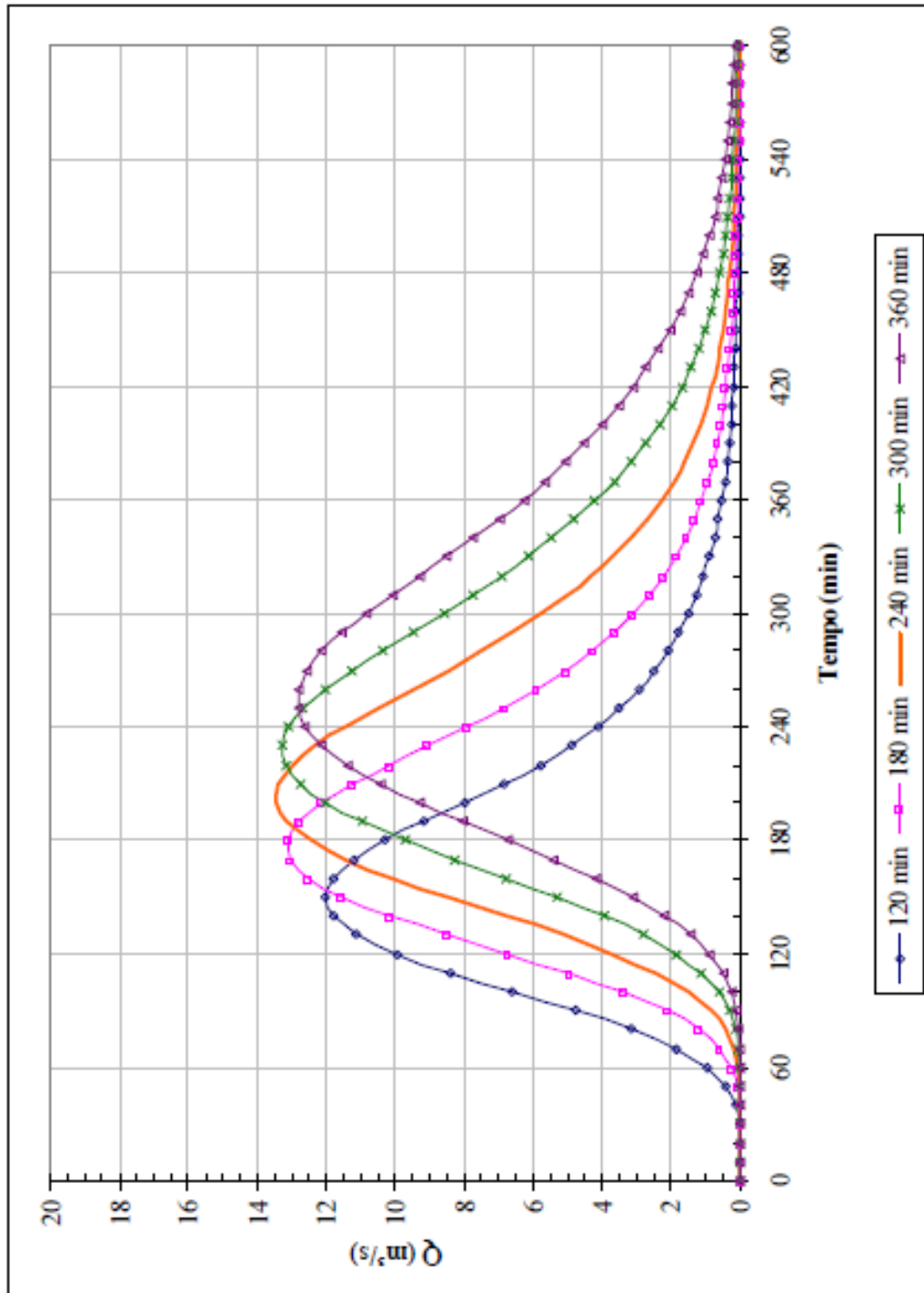


Figura 46 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Jusante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 47, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 02 trecho Jusante Quintino Bocaiúva tempo de retorno de 50 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascensão de 40 minutos até 140 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 13,5 (m³/s). Alcançando a crista com 140 minutos e valores de vazão em 13,5 (m³/s). Posteriormente, apresenta decréscimo entre 140 minutos e 440 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 13,5 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 40 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,6 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 180 minutos com valores de vazão alcançando 14,6 (m³/s). Adiante, nota-se o decréscimo entre 180 minutos e 460 minutos, com trechos de vazão que alteram de 14,6 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 210 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 15,0 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 210 minutos com valores de vazão calculados em 15,0 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo, evidenciado no intervalo entre 210 minutos e 480 minutos, sofrendo variação na vazão de 15,0 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 220 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,8 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 220 minutos com valores de vazão calculados em 14,8 (m³/s). Seguidamente, observa-se decréscimo no intervalo, no intervalo entre 220 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de 14,8 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 260 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,50 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 260 minutos com vazão calculada em 14,50 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo é evidenciado no intervalo entre 260 minutos e 580 minutos, sofrendo variação na vazão de 14,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

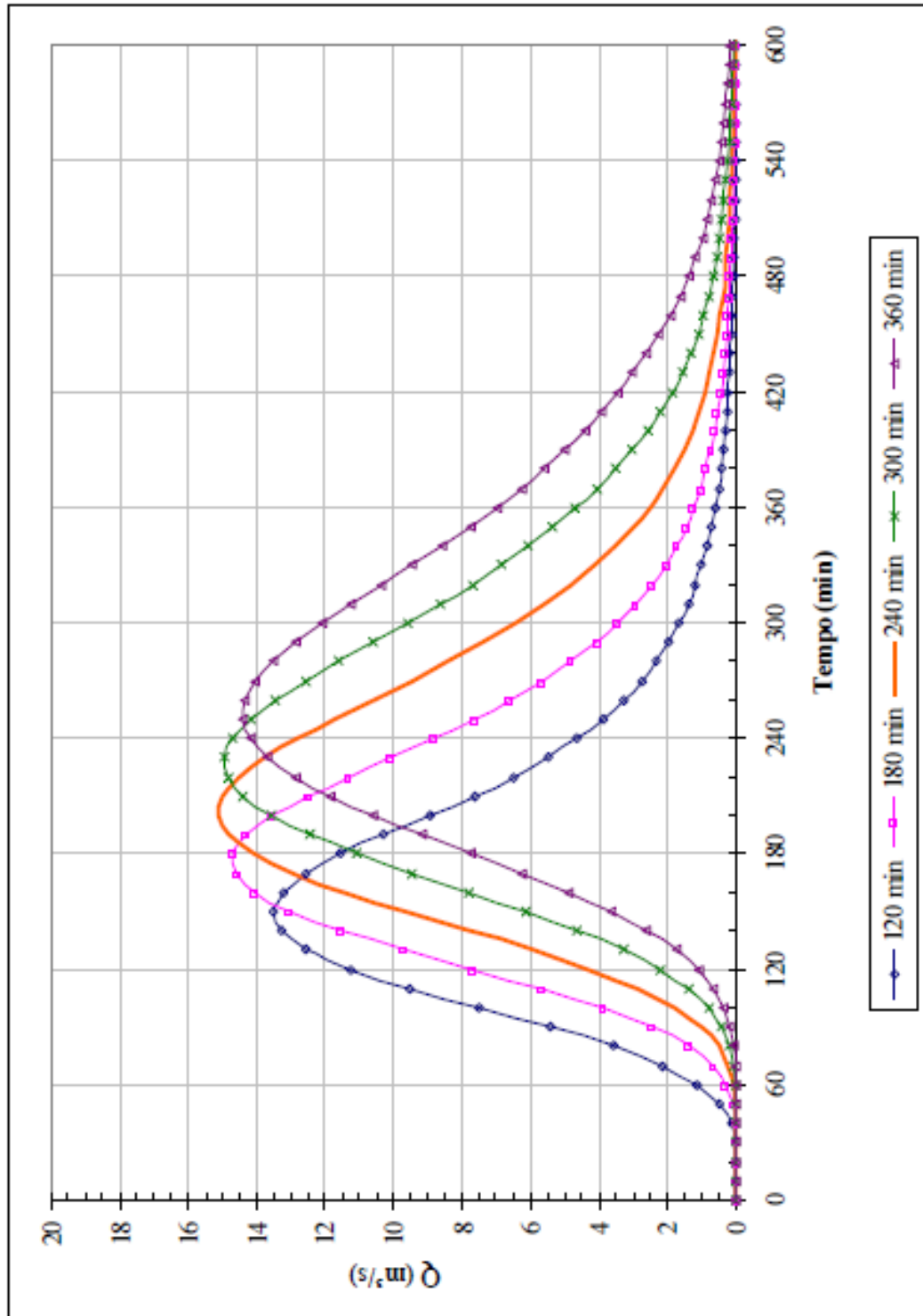


Figura 47 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 02 (trecho Jusante Quintino Bocaiúva), tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 48, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 03 tempo de retorno de 25 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascensão de 40 minutos até 160 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m³/s) a 13,0 (m³/s). Alcançando a crista com 160 minutos e valores de vazão em 13,0 (m³/s). Posteriormente, apresenta decréscimo entre 160 minutos e 540 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 13,0 (m³/s) a 0 (m³/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 200 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 14,7 (m³/s). Chegando ao ápice na faixa de 200 minutos com valores de vazão alcançando 14,7 (m³/s). Adiante, nota-se o decréscimo entre 200 minutos e 540 minutos, com trechos de vazão que alteram de 14,7 (m³/s) a 0 (m³/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 220 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 15,5 (m³/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 220 minutos com valores de vazão calculados em 15,5 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo, evidenciado no intervalo entre 220 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de 15,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 250 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 15,5 (m³/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 250 minutos com valores de vazão calculados em 15,5 (m³/s). Seguidamente, observa-se decréscimo no intervalo, no intervalo entre 250 minutos e 580 minutos, sofrendo variação na vazão de 15,5 (m³/s) até 0 (m³/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 250 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m³/s) e 15,0 (m³/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 250 minutos com vazão calculada em 15,0 (m³/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo é evidenciado no intervalo entre 250 minutos e 600 minutos, sofrendo variação na vazão de 15,0 (m³/s) até 0 (m³/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

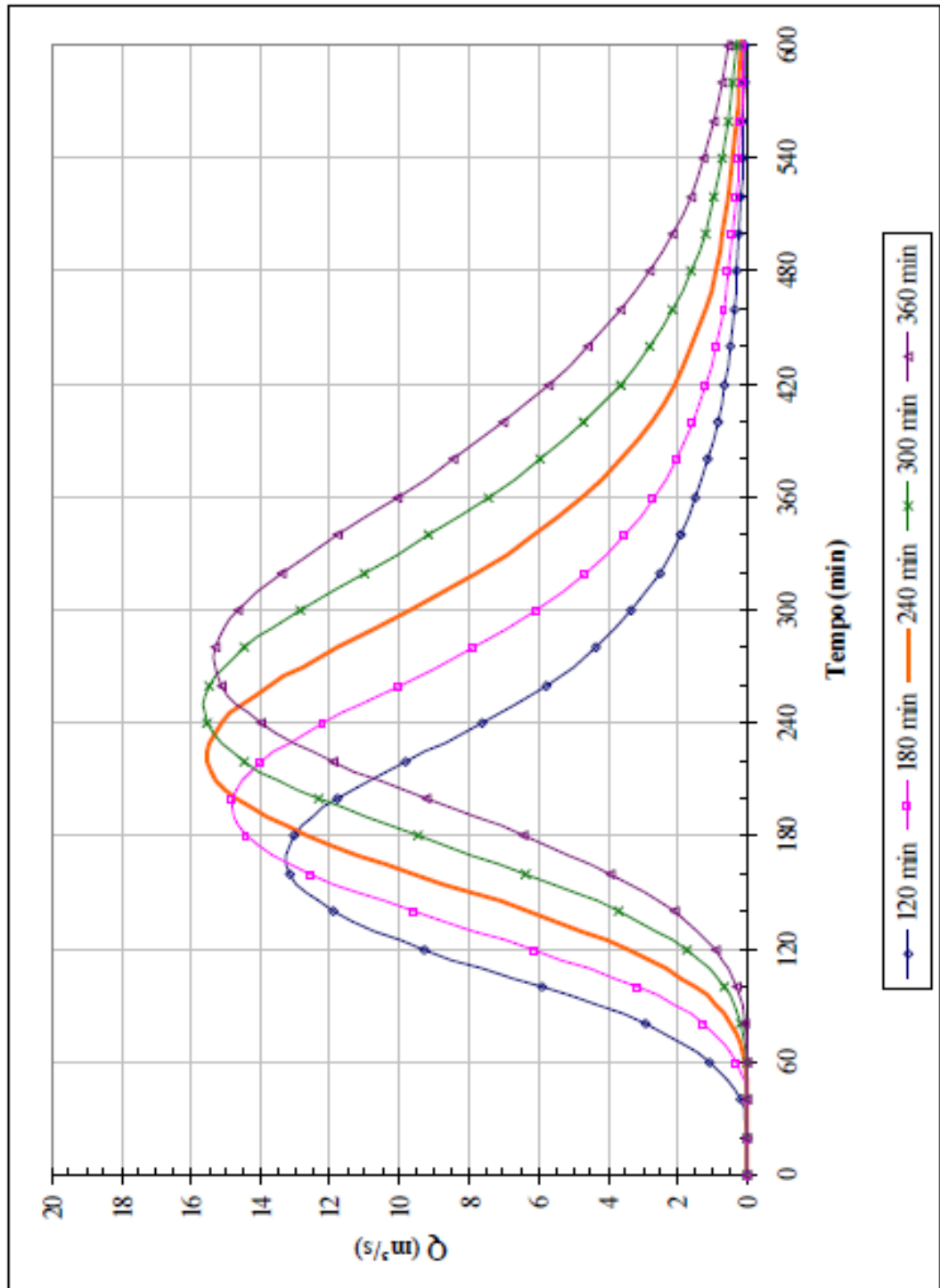


Figura 48 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 03, tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 49, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 03 tempo de retorno de 50 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascendência de 40 minutos até 160 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m^3/s) a 14,8 (m^3/s). Alcançando a crista com 160 minutos e valores de vazão em 14,8 (m^3/s). Posteriormente, apresenta decrescimento entre 160 minutos e 520 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 14,8 (m^3/s) a 0 (m^3/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 50 minutos até 200 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 16,5 (m^3/s). Chegando ao ápice na faixa de 200 minutos com valores de vazão alcançando 16,5 (m^3/s). Adiante, nota-se o decrescimento entre 200 minutos e 540 minutos, com trechos de vazão que alteram de 16,5 (m^3/s) a 0 (m^3/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 220 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 17,5 (m^3/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 220 minutos com valores de vazão calculados em 17,5 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo, evidenciado no intervalo entre 220 minutos e 560 minutos, sofrendo variação na vazão de 17,5 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 250 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 17,3 (m^3/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 220 minutos com valores de vazão calculados em 17,3 (m^3/s). Seguidamente, observa-se decrescimento no intervalo, no intervalo entre 250 minutos e 580 minutos, sofrendo variação na vazão de 17,3 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 260 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 17,0 (m^3/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 260 minutos com vazão calculada em 17,0 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decrescimento no intervalo é evidenciado no intervalo entre 260 minutos e 600 minutos, sofrendo variação na vazão de 17,0 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

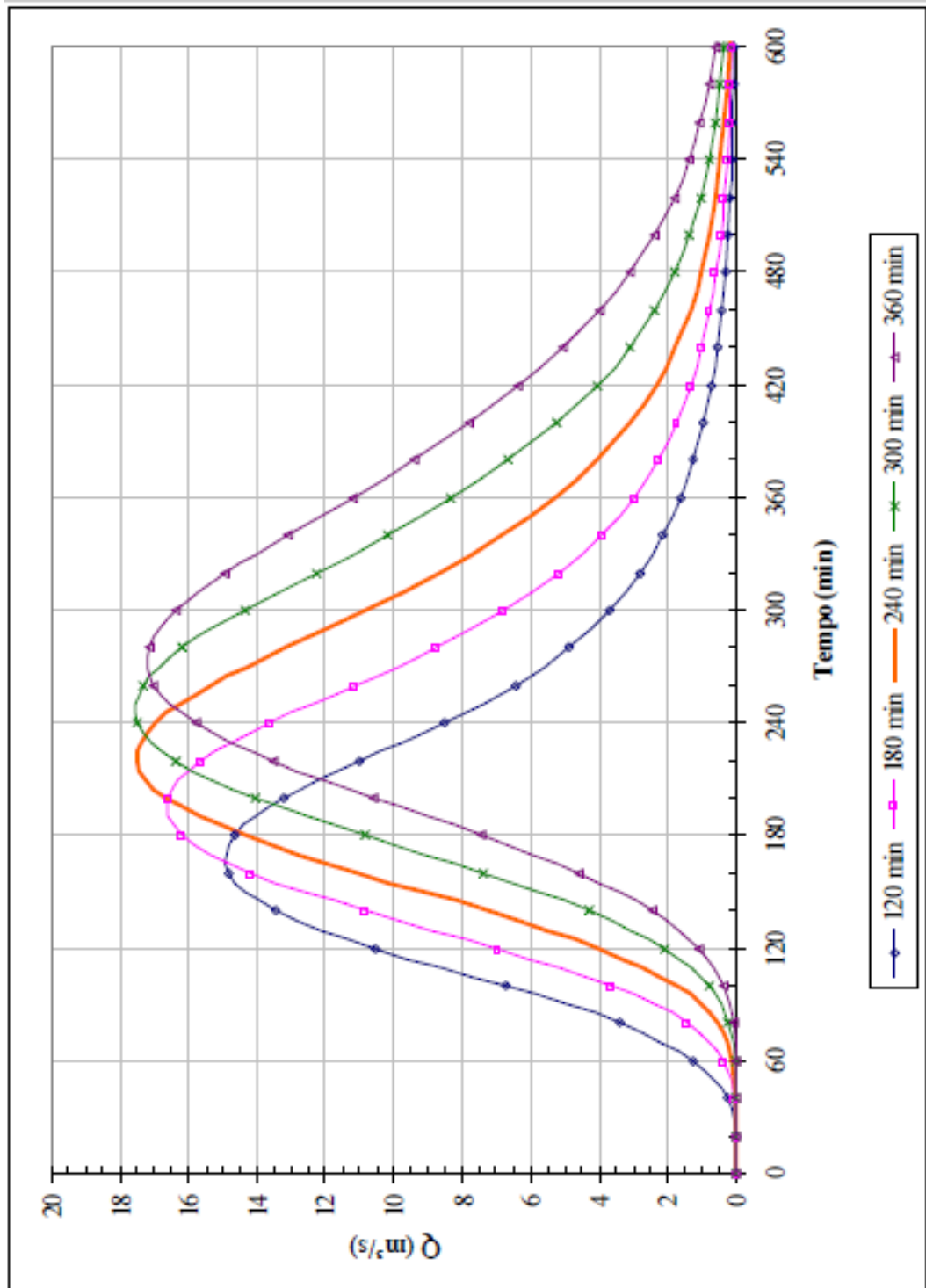


Figura 49 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 03, tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 50, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 04 tempo de retorno de 25 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascensão de 20 minutos até 140 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m^3/s) a 10,0 (m^3/s). Alcançando a crista com 140 minutos e valores de vazão em 10,0 (m^3/s). Posteriormente, apresenta decréscimo entre 140 minutos e 380 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 10,0 (m^3/s) a 0 (m^3/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 40 minutos até 160 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 11,0 (m^3/s). Chegando ao ápice na faixa de 160 minutos com valores de vazão alcançando 11,0 (m^3/s). Adiante, nota-se o decréscimo entre 160 minutos e 420 minutos, com trechos de vazão que alteram de 11,0 (m^3/s) a 0 (m^3/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 10,8 (m^3/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 180 minutos com valores de vazão calculados em 10,8 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo, evidenciado no intervalo entre 180 minutos e 440 minutos, sofrendo variação na vazão de 10,8 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 60 minutos até 200 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 10,5 (m^3/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 200 minutos com valores de vazão calculados em 10,5 (m^3/s). Seguidamente, observa-se decréscimo no intervalo, no intervalo entre 200 minutos e 480 minutos, sofrendo variação na vazão de 10,5 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 240 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 10,2 (m^3/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 240 minutos com vazão calculada em 10,2 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo é evidenciado no intervalo entre 240 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de 10,2 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

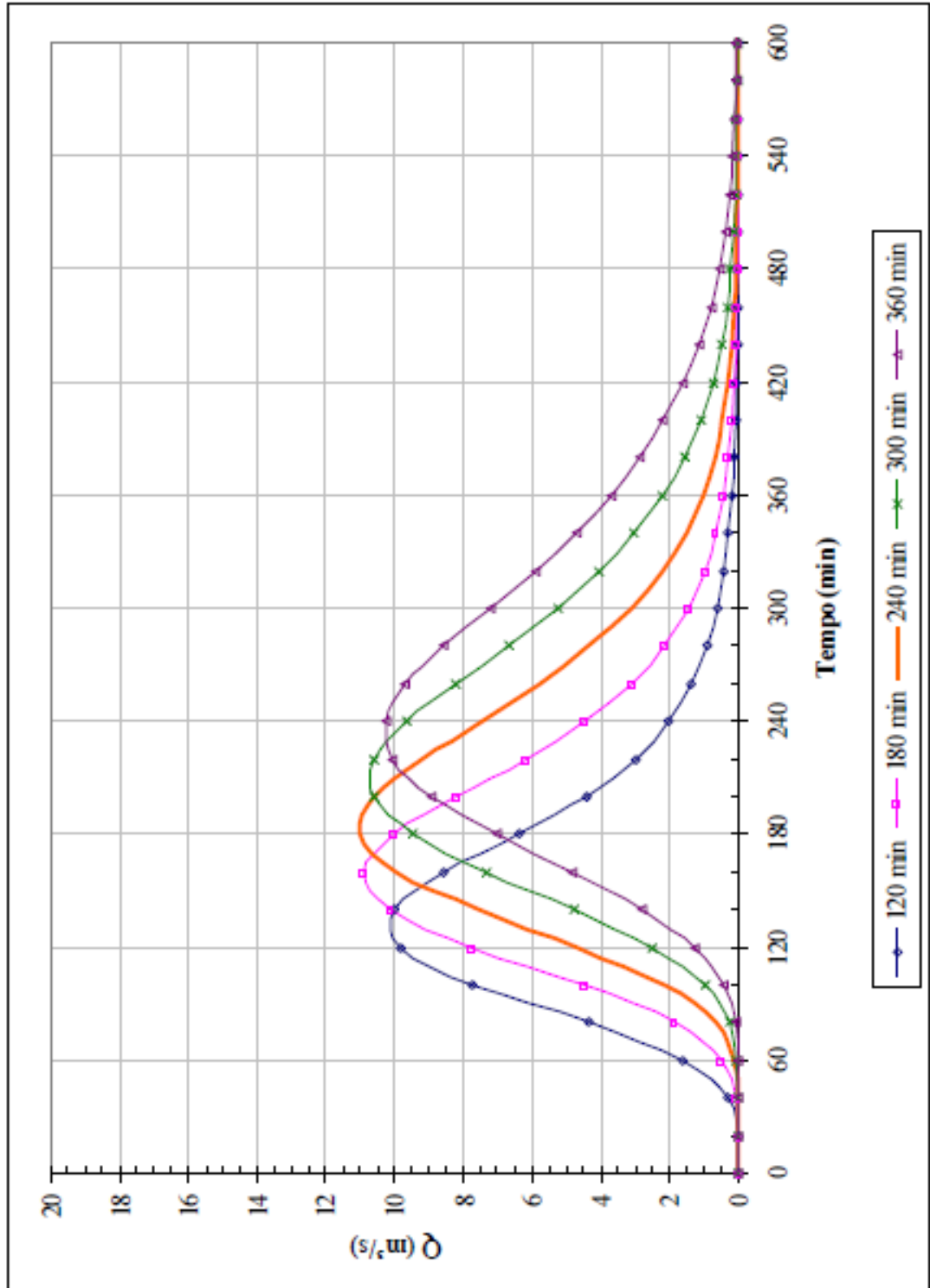


Figura 50 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 04, tendo diversas durações de precipitação com TR = 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

A figura 51, expressa cinco modelos de precipitações, correlacionando a variação de tempo com a alteração da vazão, propiciando dados para cada intervalo de precipitação na sub-bacia 04 tempo de retorno de 50 anos. O primeiro intervalo, apresenta precipitação com duração de 120 minutos, possui período de ascensão de 20 minutos até 140 minutos, apresentando alteração na vazão de 0 (m^3/s) a 11,0 (m^3/s). Alcançando a crista com 140 minutos e valores de vazão em 11,0 (m^3/s). Posteriormente, apresenta decréscimo entre 140 minutos e 380 minutos, com períodos de vazão que sofrem variação de 11,0 (m^3/s) a 0 (m^3/s), caracterizando desta forma a conclusão deste ciclo.

A precipitação do segundo trecho, apresenta duração de 180 minutos, possui período de elevação de 40 minutos até 160 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 12,2 (m^3/s). Chegando ao ápice na faixa de 160 minutos com valores de vazão alcançando 12,2 (m^3/s). Adiante, nota-se o decréscimo entre 160 minutos e 420 minutos, com trechos de vazão que alteram de 12,2 (m^3/s) a 0 (m^3/s). Tipificando assim, a finalização deste ciclo.

O terceiro trecho, apresenta precipitação com duração de 240 minutos, possui período de elevação de 60 minutos até 180 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 12,5 (m^3/s). Este intervalo alcança seu vértice superior, aos 180 minutos com valores de vazão calculados em 12,5 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo, evidenciado no intervalo entre 180 minutos e 440 minutos, sofrendo variação na vazão de 12,5 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Identificando desta maneira, a finalização deste ciclo.

O quarto trecho, apresenta precipitação com duração de 300 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 200 minutos, exibindo variação de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 12,0 (m^3/s). Este intervalo ao alcançar seu cume superior, atinge seu ponto mais alto expresso aos 200 minutos com valores de vazão calculados em 12,0 (m^3/s). Seguidamente, observa-se decréscimo no intervalo, no intervalo entre 200 minutos e 480 minutos, sofrendo variação na vazão de 12,0 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Estereotipando assim, a finalização deste ciclo.

O quinto trecho, apresenta precipitação com duração de 360 minutos, obtendo período de elevação de 80 minutos até 240 minutos, exibindo valores de vazão caracterizados entre 0 (m^3/s) e 11,5 (m^3/s). Este intervalo alcança seu cume superior, aos 240 minutos com vazão calculada em 11,5 (m^3/s). Seguidamente, observa-se o trecho de decréscimo no intervalo é evidenciado no intervalo entre 240 minutos e 540 minutos, sofrendo variação na vazão de 11,5 (m^3/s) até 0 (m^3/s). Categorizando desta maneira, a finalização deste ciclo.

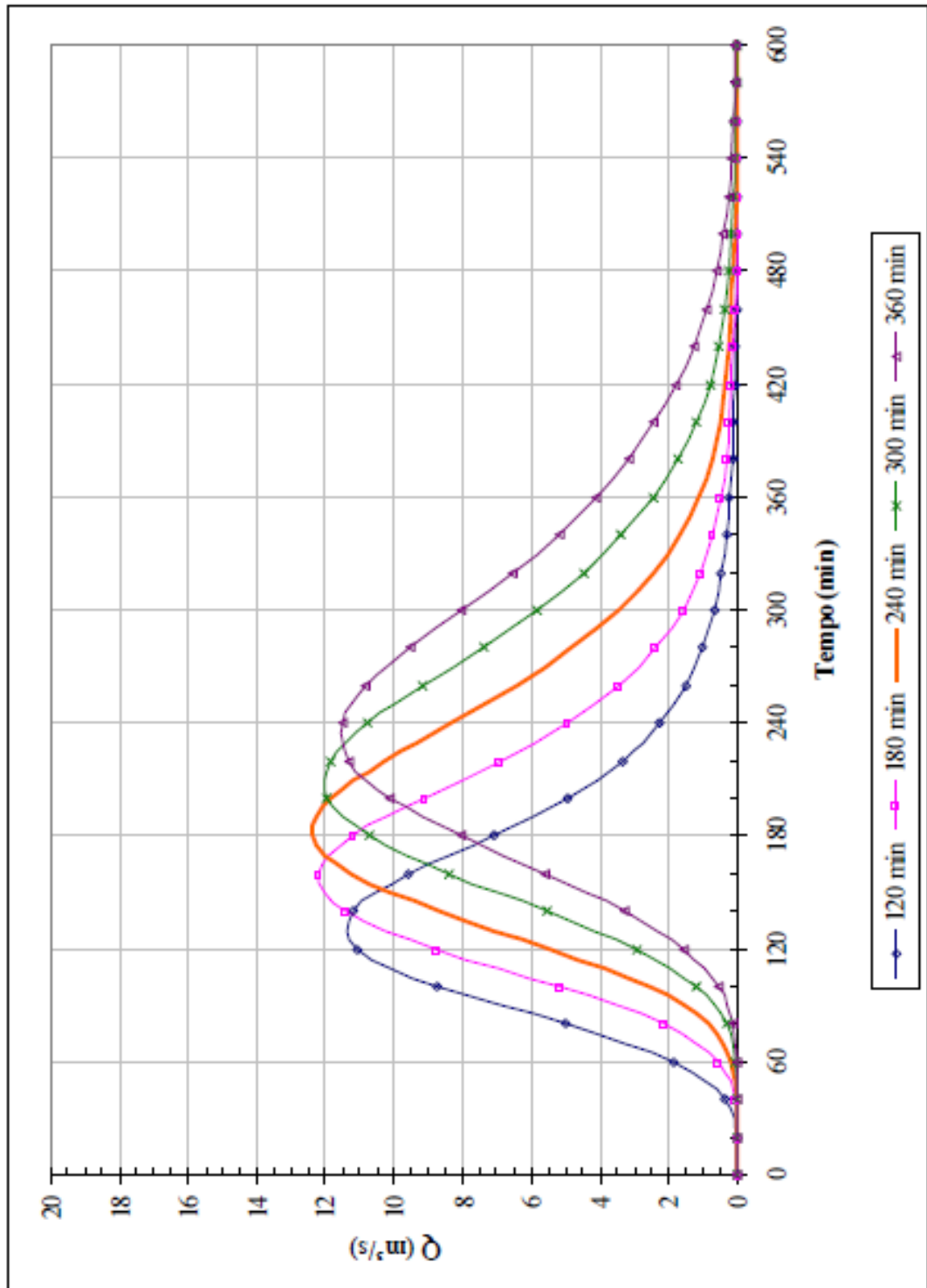


Figura 51 – Hidrograma de Escoamento superficial para a Sub-Bacia 04, tendo diversas durações de precipitação com TR = 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

Fundamentado na análise gráfica das figuras 40, 42, 44, 46, 48 e 50, a tabela 12 expressa o resumo dos comportamentos verificados no estudo dos hidrogramas de escoamento superficial em minutos, pautados no período de tempo de retorno de 25 anos. Evidenciando seus trechos de ascendência que partem do início do ciclo em 0 (m³/s), até alcançar seus intervalos máximos caracterizados como o ápice e finalizam o transcurso com o decrescimento até atingir período com vazão pautada em 0 (m³/s).

Resumo de Hidrograma de Escoamento Superfial. Unidade: Minutos			SUB BACIAS E TRECHOS					
			TEMPO DE RETORNO 25 ANOS					
			Sub Bacia 01	Sub Bacia 02 Montante Dr Moraes	Sub Bacia 02 Montante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 02 Jusante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 03	Sub Bacia 04
DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	120 minutos	CRESCIMENTO	40 a 50	20 a 90	40 a 130	40 a 150	40 a 160	20 a 140
		PICO	150	90	130	150	160	140
		DECRESCIMENTO	150 a 500	90 a 280	130 a 380	150 a 440	160 a 540	140 a 380
	180 minutos	CRESCIMENTO	50 a 180	40 a 120	50 a 150	60 a 180	60 a 200	40 a 160
		PICO	180	120	150	180	200	160
		DECRESCIMENTO	180 a 500	120 a 300	150 a 400	180 a 440	200 a 540	160 a 420
	240 minutos	CRESCIMENTO	60 a 210	50 a 140	60 a 180	80 a 200	60 a 220	60 a 180
		PICO	210	140	180	200	220	180
		DECRESCIMENTO	210 a 540	140 a 380	180 a 440	200 a 500	220 a 540	180 a 440
	300 minutos	CRESCIMENTO	70 a 220	60 a 160	80 a 200	70 a 230	80 a 250	60 a 200
		PICO	220	160	200	230	250	200
		DECRESCIMENTO	220 a 540	160 a 400	200 a 480	230 a 500	250 a 580	200 a 480
360 minutos	CRESCIMENTO	80 a 260	60 a 200	80 a 240	100 a 260	80 a 250	80 a 240	
	PICO	260	200	240	260	250	240	
	DECRESCIMENTO	260 a 600	200 a 440	240 a 520	260 a 560	250 a 600	240 a 540	

Tabela 12: Resumo Hidrogramas de escoamento superficial com Tr de 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

Embasada na análise gráfica das figuras 41, 43, 45, 47, 49 e 51, a tabela 13 expressa o resumo dos comportamentos verificados no estudo dos hidrogramas de escoamento superficial em m³/s, pautados no período de tempo de retorno de 25 anos. Evidenciando seus trechos de ascendência que partem do início do ciclo em 0 (m³/s), até alcançar seus intervalos máximos caracterizados como o ápice e finalizam o transcurso com o decrescimento até atingir período com vazão pautada em 0 (m³/s).

Resumo de Hidrograma de Escoamento Superficial. Unidade: m ³ /s			SUB BACIAS E TRECHOS					
			TEMPO DE RETORNO 25 ANOS					
			Sub Bacia 01	Sub Bacia 02 Montante Dr Moraes	Sub Bacia 02 Montante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 02 Jusante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 03	Sub Bacia 04
DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	120 minutos	CRESCIMENTO	0 a 12,7	0 a 7,5	0 a 12,0	0 a 12,0	0 a 13,0	0 a 10,0
		PICO	12,7	7,5	12,0	12,0	13,0	10,0
		DECRESCIMENTO	12,7 a 0	7,5 a 0	12,0 a 0	12,0 a 0	13,0 a 0	10,0 a 0
	180 minutos	CRESCIMENTO	0 a 14,0	0 a 9,8	0 a 12,5	0 a 13,0	0 a 14,7	0 a 11,0
		PICO	14,0	9,8	12,5	13,0	14,7	11,0
		DECRESCIMENTO	14,0 a 0	9,8 a 0	12,5 a 0	13,0 a 0	14,7 a 0	11,0 a 0
	240 minutos	CRESCIMENTO	0 a 14,5	0 a 10,0	0 a 12,5	0 a 13,5	0 a 15,5	0 a 10,8
		PICO	14,5	10,0	12,5	13,5	15,5	10,8
		DECRESCIMENTO	14,5 a 0	10,0 a 0	12,5 a 0	13,5 a 0	15,5 a 0	10,8 a 0
	300 minutos	CRESCIMENTO	0 a 14,5	0 a 10,0	0 a 12,2	0 a 13,2	0 a 15,5	0 a 10,5
		PICO	14,5	10,0	12,2	13,2	15,5	10,5
		DECRESCIMENTO	14,5 a 0	10,0 a 0	12,2 a 0	13,2 a 0	15,5 a 0	10,5 a 0
360 minutos	CRESCIMENTO	0 a 14,0	0 a 9,5	0 a 11,8	0 a 12,5	0 a 15,0	0 a 10,2	
	PICO	14,0	9,5	11,8	12,5	15,0	10,2	
	DECRESCIMENTO	14,0 a 0	9,5 a 0	11,8 a 0	12,5 a 0	15,0 a 0	10,2 a 0	

Tabela 13: Hidrogramas de escoamento superficial com Tr de 25 anos; Fonte: Autor, 2018.

Respaldada na análise gráfica das figuras 40, 42, 44, 46, 48 e 50, a tabela 14 expressa o resumo dos comportamentos verificados no estudo dos hidrogramas de escoamento superficial em minutos, pautados no período de tempo de retorno de 50 anos. Evidenciando seus trechos de ascendência que partem do início do ciclo em 0 (m³/s), até alcançar seus intervalos máximos caracterizados como o ápice e finalizam o transcurso com o decrescimento até atingir período com vazão pautada em 0 (m³/s).

Resumo de Hidrograma de Escoamento Superfial. Unidade: Minutos			SUB BACIAS E TRECHOS					
			TEMPO DE RETORNO 50 ANOS					
			Sub Bacia 01	Sub Bacia 02 Montante Dr Moraes	Sub Bacia 02 Montante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 02 Jusante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 03	Sub Bacia 04
DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	120 minutos	CRESCIMENTO	30 a 140	20 a 80	40 a 140	40 a 140	40 a 160	20 a 140
		PICO	140	80	140	140	160	140
		DECRESCIMENTO	140 a 480	80 a 280	140 a 380	140 a 440	160 a 520	140 a 380
	180 minutos	CRESCIMENTO	50 a 180	40 a 120	40 a 150	40 a 180	50 a 200	40 a 160
		PICO	180	120	150	180	200	160
		DECRESCIMENTO	180 a 500	120 a 320	150 a 400	180 a 460	200 a 540	160 a 420
	240 minutos	CRESCIMENTO	60 a 210	50 a 140	60 a 180	60 a 210	60 a 220	60 a 180
		PICO	210	140	180	210	220	180
		DECRESCIMENTO	210 a 540	140 a 340	180 a 440	210 a 480	220 a 560	180 a 440
	300 minutos	CRESCIMENTO	70 a 220	60 a 170	80 a 210	80 a 220	80 a 250	80 a 200
		PICO	220	170	210	220	250	200
		DECRESCIMENTO	220 a 540	170 a 400	210 a 460	220 a 540	250 a 580	200 a 480
360 minutos	CRESCIMENTO	80 a 260	70 a 200	90 a 240	80 a 260	80 a 260	80 a 240	
	PICO	260	200	240	260	260	240	
	DECRESCIMENTO	260 a 600	200 a 440	240 a 520	260 a 580	260 a 600	240 a 540	

Tabela 14: Hidrogramas de escoamento superficial com Tr de 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

Firmada na análise gráfica das figuras 41, 43, 45, 47, 49 e 51, a tabela 15 expressa o resumo dos comportamentos verificados no estudo dos hidrogramas de escoamento superficial em m³/s, pautados no período de tempo de retorno de 50 anos. Evidenciando seus trechos de ascendência que partem do início do ciclo em 0 (m³/s), até alcançar seus intervalos máximos caracterizados como o ápice e finalizam o transcurso com o decrescimento até atingir período com vazão pautada em 0 (m³/s).

Resumo de Hidrograma de Escoamento Superficial. Unidade: m ³ /s			SUB BACIAS E TRECHOS					
			TEMPO DE RETORNO 50 ANOS					
			Sub Bacia 01	Sub Bacia 02 Montante Dr Moraes	Sub Bacia 02 Montante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 02 Jusante Quintino Bocaiuva	Sub Bacia 03	Sub Bacia 04
DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	120 minutos	CRESCIMENTO	0 a 12,2	0 a 8,5	0 a 13,5	0 a 13,5	0 a 14,8	0 a 11,0
		PICO	12,2	8,5	13,5	13,5	14,8	11,0
		DECRESCIMENTO	12,2 a 0	8,5 a 0	13,5 a 0	13,5 a 0	14,8 a 0	11,0 a 0
	180 minutos	CRESCIMENTO	0 a 14,0	0 a 10,8	0 a 14,0	0 a 14,6	0 a 16,5	0 a 12,2
		PICO	14,0	10,8	14,0	14,6	16,5	12,2
		DECRESCIMENTO	14,0 a 0	10,8 a 0	14,0 a 0	14,6 a 0	16,5 a 0	12,2 a 0
	240 minutos	CRESCIMENTO	0 a 15,8	0 a 11,2	0 a 14,0	0 a 15,0	0 a 17,5	0 a 12,5
		PICO	15,8	11,2	14,0	15,0	17,5	12,5
		DECRESCIMENTO	15,8 a 0	11,2 a 0	14,0 a 0	15,0 a 0	17,5 a 0	12,5 a 0
	300 minutos	CRESCIMENTO	0 a 16,0	0 a 11,0	0 a 14,0	0 a 14,8	0 a 17,3	0 a 12,0
		PICO	16,0	11,0	14,0	14,8	17,3	12,0
		DECRESCIMENTO	16,0 a 0	11,0 a 0	14,0 a 0	14,8 a 0	17,3 a 0	12,0 a 0
360 minutos	CRESCIMENTO	0 a 15,8	0 a 10,5	0 a 13,0	0 a 14,5	0 a 17,0	0 a 11,5	
	PICO	15,8	10,5	13,0	14,5	17,0	11,5	
	DECRESCIMENTO	15,8 a 0	10,5 a 0	13,0 a 0	14,5 a 0	17,0 a 0	11,5 a 0	

Tabela 15: Hidrogramas de escoamento superficial com Tr de 50 anos; Fonte: Autor, 2018.

5.1.4 Comportamento da precipitação e da Maré no período de estudo

Para a execução dos gráficos foram considerados os dados referentes aos efeitos ENOS, onde O índice do Niño Oceânico (INO) do "Climate Prediction Center" do "National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA),) foi utilizado para comparação das fases do ENOS com a variabilidade interanual da precipitação e dos eventos extremos de precipitação diária (EPPD). Este índice define as fases com base na anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) em intensidade fraca (anomalia de TSM de 0,5°C a 0,9°C), moderada (1,0°C a 1,4°C) e forte ($\geq 1.5^\circ\text{C}$).

Após organizados em planilha eletrônica os dados referentes a precipitações que ocorreram na cidade de Belém, com origem em janeiro de 1995 até dezembro de 2017, além de dados de tábuas de marés com mesmo ciclo de tempo. Foram realizados testes paramétricos e não paramétricos para a avaliação e comportamento das variáveis. A figura 52 exemplifica o ciclo de precipitações em Belém no período de análise de dados evidenciando um ciclo acima da média nos meses de janeiro a abril, e abaixo da média entre junho e novembro.

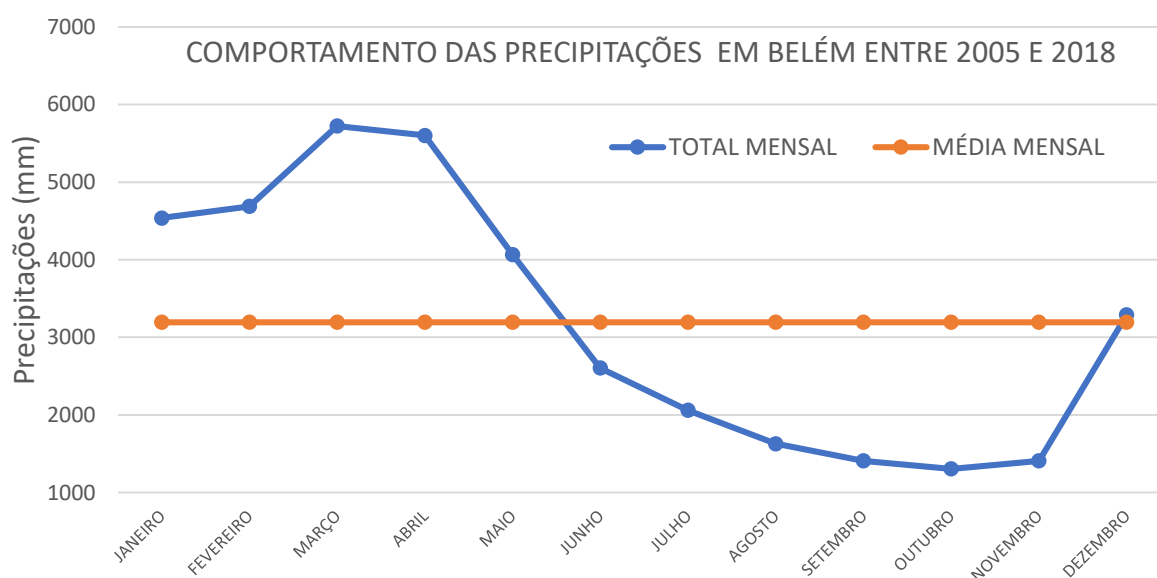


Figura 52 – Análise das médias mensais de precipitação no município de Belém entre 2005 e 2018. Fonte Autor 2018.

Analisando a figura 53 observa-se que os dados de tábuas de maré máximos e mínimos, possuem comportamento semelhante ao longo dos meses durante a série histórica analisada.

Em relação aos dados de tábuas de maré máximas, observa-se que há um aumento considerável a partir de fevereiro chegando ao seu ápice em março, estendendo o seu ciclo acima da média mensal até parte do mês de maio, permanecendo entre junho e setembro abaixo da média mensal, sofrendo algumas variações nos meses seguintes.

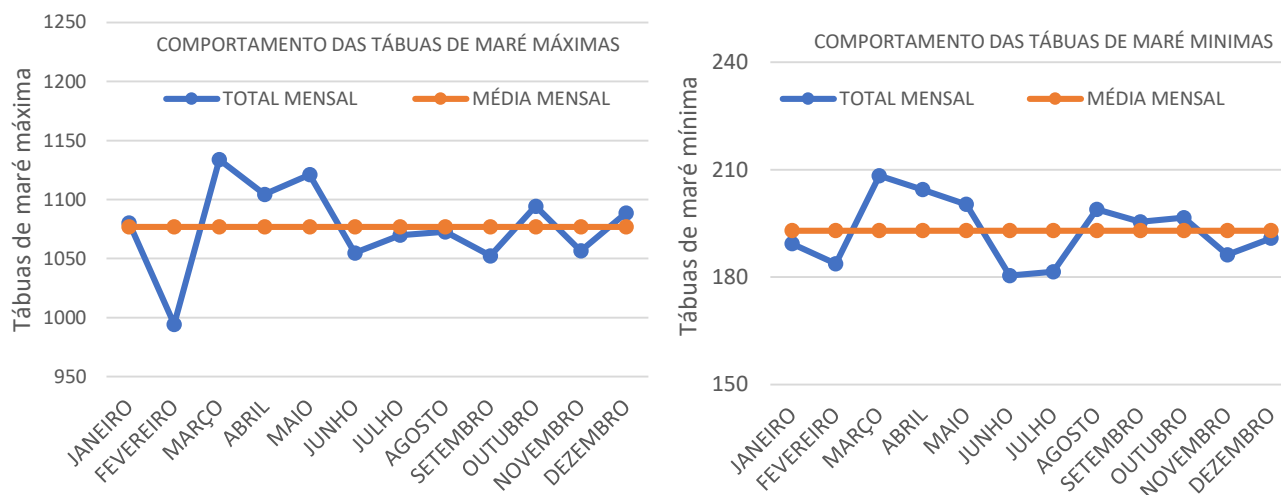


Figura 53 – Análise de médias mensais de tábuas de maré máximas e mínimas em Belém entre 2005 e 2018.

Fonte Autor 2018.

As figuras 54 e 55 evidenciam a junção de dados entre a precipitação e os índices de tábuas de maré máximos e mínimos, mostrando que há forte relação entre elas ao longo dos períodos de maior precipitação durante o ano. Além disso, evidencia-se que nos períodos em que a chuva está abaixo da média, as tábuas de maré seguem o mesmo prognóstico ou estão na mesma linha de suas respectivas médias ao longo da série.

Observa-se claramente que há dois períodos bem caracterizados e que podem propor possíveis soluções para os problemas de alagamento na região. Em conjunto com a prefeitura de Belém podem ser realizadas políticas de manejo e autolimpeza nos canais com a abertura de comportas em períodos de menor precipitação pluviométrica. O que irá acarretar em um beneficiamento aos moradores que residem em áreas próximas ao canal. Já que, com a autolimpeza e manutenção na área em períodos de baixa precipitação, as chances de ocorrerem os alagamentos decrescem consideravelmente.

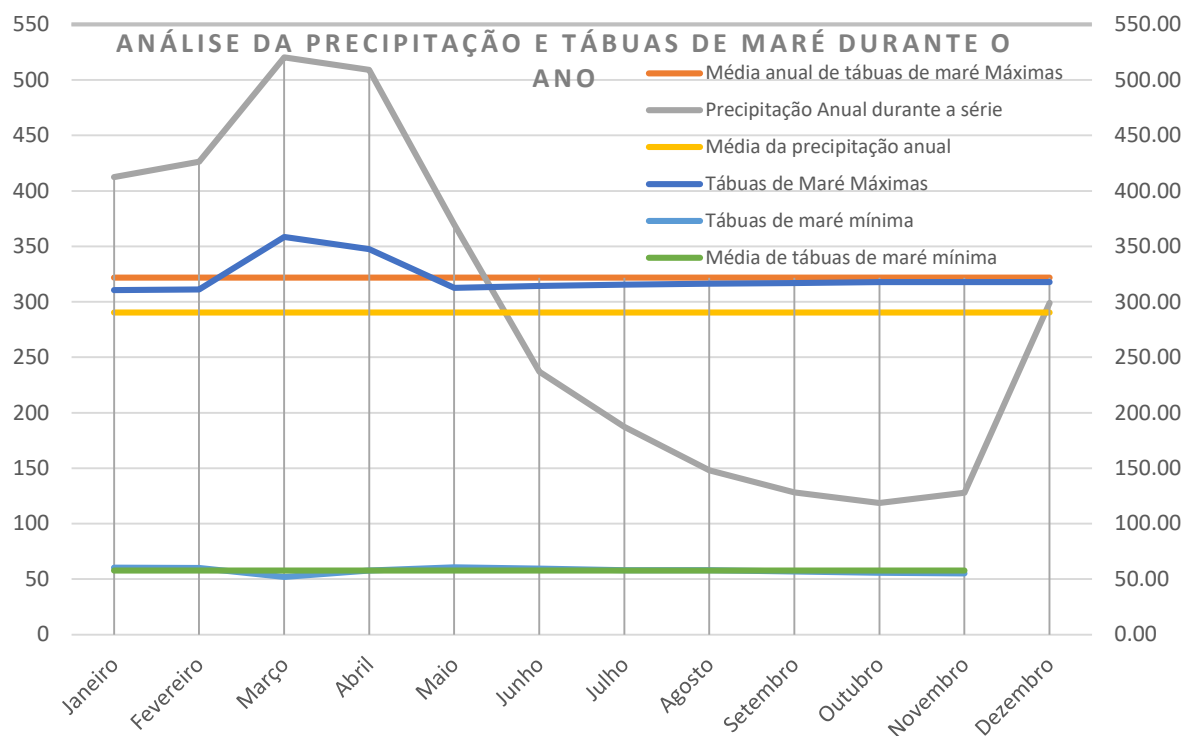


Figura 54 – Análise da precipitação e tábuas de maré durante o ano em Belém entre 2005 e 2017.

Fonte Autor 2018.

HISTOGRAMA DE PRECIPITAÇÃO E TÁBUAS DE MARÉ MÁXIMA AO LONGO DO ANO

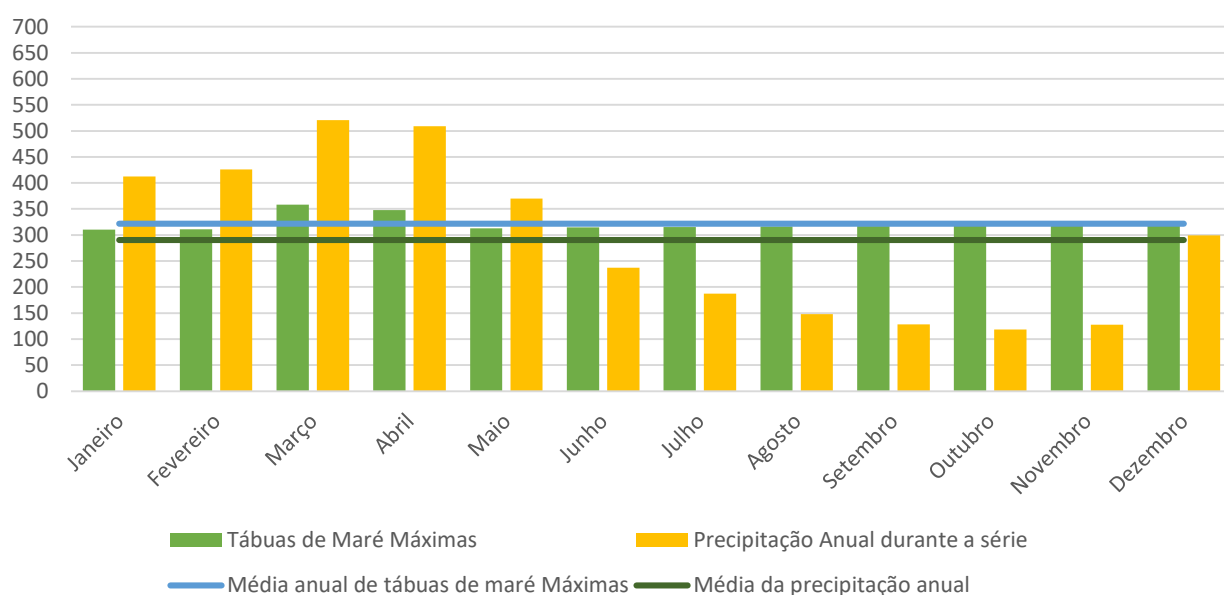


Figura 55 – Histograma de análise da precipitação e tábuas de maré durante o ano em Belém entre 2005 e 2017. Fonte Autor 2018.

5.1.5 Análise e Mapeamento de inundação na bacia da Estrada Nova

O atual padrão de cheias não comporta marca rígida, como a cota alagável de 4 metros. Sendo recorrentes as inundações em cotas de 6 metros e 8 metros em determinadas localidades. Os fenômenos da inundação tendem a se agravar com a crescimento pluviosidade e da Temperatura. Outro fator que corrobora para o crescimento do risco, são as características naturais associadas que associadas as condições precárias em termos socioeconômicos, de infraestrutura de moradia e de saneamento resultam para a obtenção de um nível de vulnerabilidade elevado aos impactos destas mudanças (FARIAS, 2012). A figura 56, demonstra as manchas de suscetibilidade e frequência de inundação junto as cotas de nível de sítio situadas na área da bacia da estrada nova, abrangendo os bairros de Batista Campos, Canudos, Cidade Velha, Reduto, Condor, Cremação, Guamá, Jurunas, São Brás e Terra Firme.

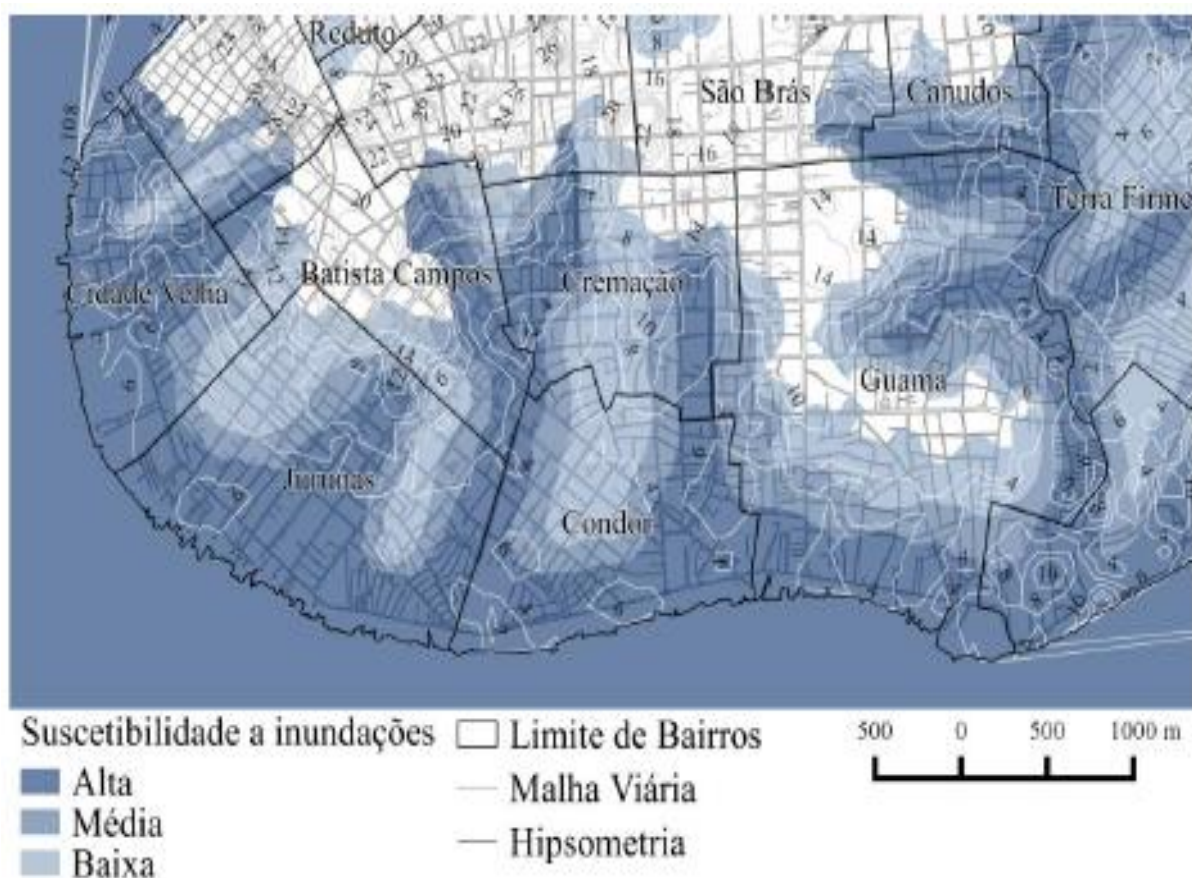


Figura 56 – Mapeamento de Suscetibilidade de inundações nos bairros da Bacia da Estrada Nova em Belém. Fonte Autor adaptado de IPT; CPRM, 2014.

Já a figura 57 permite que se analisem as áreas com aglomerados subnormais situados na região da bacia da estrada nova, abrangendo os bairros de Batista Campos, Canudos, Cidade Velha, Reduto, Condor, Cremação, Guamá, Jurunas, São Brás e Terra Firme. Diante dos dados obtidos e análises das condições econômicas da região, verifica-se que condições de baixa renda, alta densidade demográfica, corroboram em conjunto a presença de grandes aglomerados para riscos ou suscetibilidade a inundações. Os dados são fundamentados nos parâmetros exibidos no item 5.1.6 embasados em precipitação e marés, assim, foram criados mapas com as áreas de vulnerabilidade na bacia.

Embasando o estudo, realizou-se a coleta de informações históricas em revistas, jornais e veículos de comunicação da região em consonância com dados obtidos junto ao Instituto de Pesquisa Tecnológica e da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (IPT; CPRM, 2014). O resultado confirma as perspectivas sobre o risco da área. Além disso, evidencia que a cota de 4 metros já não é suficiente como critério estrito de análise.

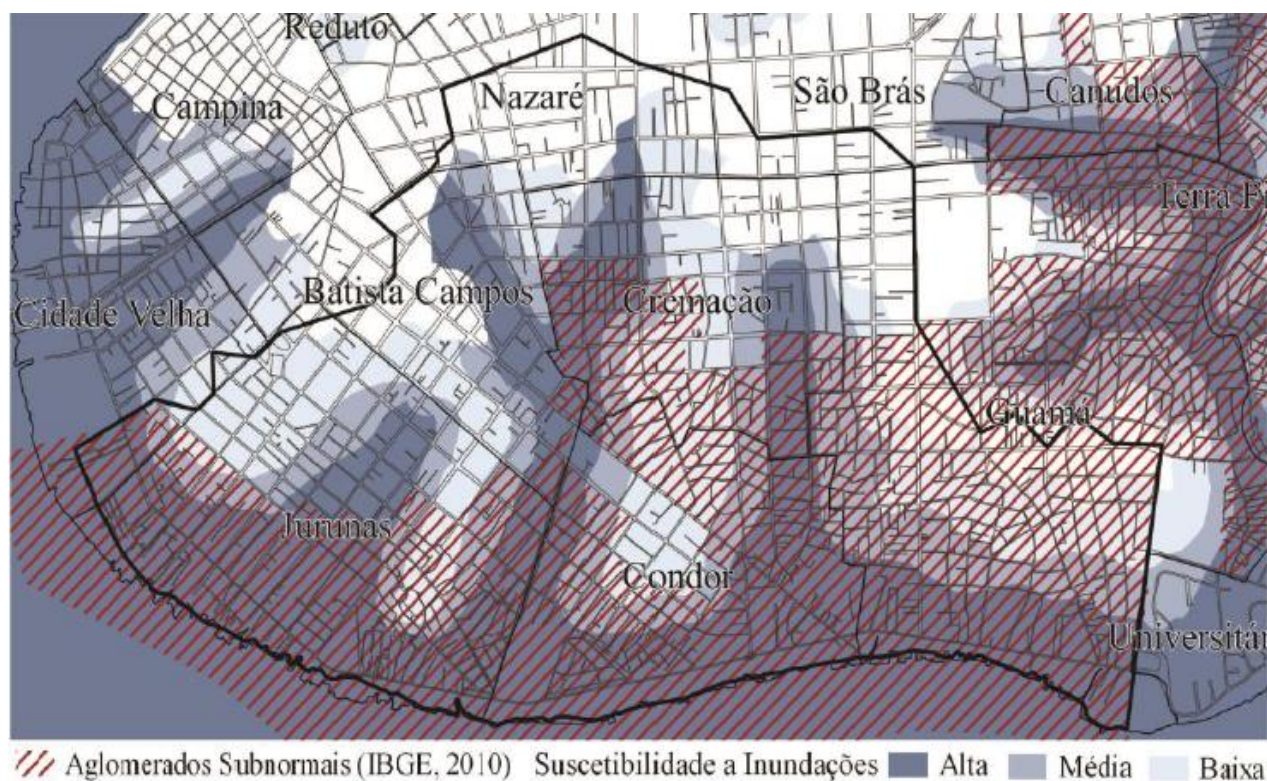


Figura 57 – Mapeamento de Suscetibilidade de inundações com aglomerados sunormais nos bairros da Bacia da Estrada Nova em Belém. Fonte Autor adaptado de IPT;CPRM, 2014.

6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo melhorar inundações na bacia da estrada nova, apresentando a relação de precipitação, marés e fornecendo quantitativo de dados que pode servir como ferramenta para o armazenamento, sistematização e gerenciamento de informações, com o cunho de reduzir a possibilidade de possíveis perdas econômicas e de vidas humanas nas áreas desta bacia hidrográfica. Essa análise se apoiou em uma abordagem em escala regional, integrando modelos hidrológicos e geotecnologias para a identificação de áreas suscetíveis a inundações. Estudos nessa escala são importantes para um planejamento mais eficaz dos municípios e da Defesa Civil, buscando estratégias diferenciadas para o reordenamento espacial das atividades humanas, visando reduzir os custos inerentes.

A metodologia demonstrou resultados detalhados e coerentes em relação aos períodos de retorno, aos períodos de maior precipitação e sua relação com as alturas de maré, tempos de retardo, às vazões e cotas topográficas.

Os resultados demonstram que as transformações que o meio vem sofrendo ao longo dos anos proporcionam um novo ambiente para as bacias. As possíveis mudanças de seu ciclo hidrológico ocasionadas pela pavimentação, aterro e o aumento da densidade demográfica, interferem diretamente em alguns fatores, tais como, a diminuição das taxas de infiltração e do escoamento superficial, acarretando no acúmulo de água na superfície, esta pode ter origem nas chuvas ou nas marés altas, ou na soma dos dois.

Verifica-se que aplicado a bacia da estrada nova, fundamentado em análises da curva IDF, Hietogramas, Hidrogramas e a correlação entre precipitação e maré, os eventos de precipitação com valores acima de 20 mm associados com as marés altas comprometem a capacidade de drenagem, o que proporciona um local favorável ao surgimento das ocorrências. O agravamento desse processo é derivado pela intensificação da densidade demográfica nessas áreas.

Sugere-se fundamentado nos resultados obtidos na pesquisa que o estado poderá utilizar práticas como autolimpeza de canais, dimensionamento adequado de drenagem e bacias, além da limpeza de áreas vulneráveis para ajudar no manejo e manutenção do espaço urbano. Todavia, é inquestionável a importância e realização de planejamento eficiente e eficaz para execução de políticas públicas que a médio e longo prazo criarão um espaço urbano coerente com variáveis sociais e físicas.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, C. R. Linha de instabilidade da Amazônia: estudo de caso e importância das características do perfil do vento na sua formação e desenvolvimento. **Ciência & Natura**, v. 33, n. 2, p. 197-226, 2011.

ALFREDINI, P. **Obras e Gestão de Portos e Costas - A Técnica Aliada ao Enfoque Logístico e Ambiental**. 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2005. 688 p.

AMARAL, R. do; RIBEIRO, R. R. **Inundações e enchentes**. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

ANA. Hidroweb - **Sistemas de Informações Hidrológicas, 2013**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: outubro 2013.

ANDRADE, L. S. **Variabilidade Decadal da Zona de Convergência Intertropical e sua Influência na Pluviosidade da Região Norte do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas – UFAL, 2007.

Andrade, Milena Marília Nogueira de Capacidade adaptativa: **Uma proposição metodológica de avaliação da vulnerabilidade social às inundações** / Milena Marília Nogueira de Andrade – 2014.

ARAÚJO JR, A. C. R. **Antropogeomorfologia da bacia hidrográfica da Estrada Nova, Belém – Pará**. In: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012, Rio de Janeiro – RJ. Anais... Rio de Janeiro, 2012.

BAGGIOTO, C. *et al.*, **Análise de séries temporais de chuvas e vazões da bacia hidrográfica do rio Camaquã**., Simpósio de Ensino Pesquisa e Extensão, 2013.

BARBOSA, Tania Ap. de Souza; DUPAS, Francisco Antônio. **Matriz simplificada para avaliar impactos ambientais em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)**. In: **Revista Brasileira de Energia**. Vol. 12, nº 2. 2006.

BESAW, L. E. ; RIZZO, V; BIERMAN, P. R.; HACKETT, W. R. **Advances in ungauged streamflow prediction using artificial neural networks**. Journal of Hydrology, Volume 386, Issues 1–4, 28 May 2010, Pages 27-37.

BRANDÃO, A. M. P. M. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In. 2001.

BRANDÃO, A. J. D. N. Entre os rios e favelas: O PAC nas baixadas da Bacia da Estrada Nova e da Comunidade Taboquinha – Belém (PA) / Ana Júlia Domingues das Neves Brandão. São Paulo, 2016.

BROWN, E. et al. **Waves, Tides and Shallow-Water Processes**. 2ª. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. 227 p.

BRUSA, L.C. Aprimoramento estatístico da regionalização de vazões máximas e médias: aplicação a bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2004. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CAMPONOGARA, G.; SILVA DIAS, M. A. F. Precipitação diária e estrutura vertical da atmosfera em Belém-PA. **Ciência & Natura**, v. esp., p. 263-266, 2011.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. C. A gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos Rios Iguaçú/Sarapuí, na Baixada Fluminense. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 29-49, 2010.

CARVALHO, T.M. **Quantificação de sedimentos em suspensão e de fundo no médio rio Araguaia**. Revista Geografia Acadêmica, 1,1:55-64, 2007.

CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. Erosão do solo: aspectos conceituais. **Geociências**, v. 6, n. 2, p. 92-98, 1997.

CHAGAS, E. S. **Análise multifractal das correlações cruzadas entre séries temporais de precipitação e vazão**. 2014. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística)-Programa de Pós Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squallines. **Monthly Weather Review**, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W. TUCCI, C.E.M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates *Journal of Hydrology* (2008) 360, 207216,2008Disponível em <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169408003806>>>. Acessado em: 10 de set. de 2014.

CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Dados de 2014. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acessado em: 30 de Ago. de 2014.

DAMÉ, R.C.F. Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidadeduração-frequência. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DANCEY, C. e REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 475 p.

DEFANT, A. **Ebb and Flow: The Tides of Earth, Air and Water**. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1958. 121 p.

DEFESA CIVIL DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP. **Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada?**. 2011. Disponível em: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>. Acesso em 06 Jun. 2015.

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL. **Basic Concepts in Physical Oceanography: Tides. Navy Operational Ocean Circulation and Tide Models**, 2005. Disponível em: <http://www.oc.nps.edu/nom/day1/partc.html>. Acesso em: 8 Nov. 2011.

DRONKERS, J. J. **Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters**. Amsterdã: North-Holland Publishing Company, 1964. 518 p.

EHRET, T. Old Brass Brains. **American Congress on Surveying and Mapping Bulletin**, n. 233, p. 41-44, Jun. 2008.

ESPINDOLA, R. LUZ; **Desenvolvimento e testes de uma ferramenta computacional para previsão da maré astronômica** / Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2012.

FIGUEIREDO, D.B.F, e SILVA J.A; **O coeficiente de Pearson**, Revista da Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

FIGUEIREDO, N. M. DE; **Modelo de gerenciamento de usos múltiplos da água: Um estudo de caso para bacia hidrográfica do rio Tapajós** / Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2016.

FISCH, G., MARENGO, J. A., NOBRE, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia**. *Acta Amazônia* 28(2): 101-126. 1998.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª Edição Revista e Atualizada, Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1995.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2º ed., São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

GAUTHIER, T. D. **Detecting Trends Using Spearman's Rank Correlation Coefficient**. *Environmental Forensics*, Vol. 2, p. 359-362, 2001.

GERMANO, A. & TUCCI, C.E.;M. (1995). **Variabilidade do parâmetro CN em bacias urbanas brasileiras**. In: Volume III dos anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e de Hidráulica de países de língua oficial portuguesa, ABRH- APHR, Recife, nov/1995. pg. 140- 181.

GIBBONS, R. D., COLEMAN, D. E. **Statistical Methods for Detection and Quantification of Environmental Contamination**, Wiley-Interscience, July 2001.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa/PB: 2005.

HERIOT WATT UNIVERSITY. Tides. **International Centre for Island Technology**, 2012. Disponível em: <http://www.icit.hw.ac.uk/student_project/sweyn3.htm>. Acesso em: 31 Mai. 2012.

HOLMGREN, M; *et al.* **El Niño Effects on the Dynamics of Terrestrial Ecosystems**. TRENDS in Ecology & Evolution, Vol. 16, n. 2, p. 89 – 94 2001

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. Brasil 2015. Disponível on-line em <<http://www.ibge.com.br>> Acesso em 01 fevereiro de. 2015.

ISHIHARA, J. H. *et al.* **Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) — (1978 to 2007)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 19, nº 1, pag. 29-39, 2014.

JÚNIOR, Valdevino José dos Santos; SANTOS, Carolina Oliveira. **A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações Urbanas**. In: **Estação Científica (UNIFAP)**. V. 3 n. 1, p. 19-30. Macapá, 2013.

LEGISLAÇÃO. **LEI 7577/92 | LEI Nº 7577 DE 16 DE JUNHO DE 1992. CÂMARA MUNICIPAL DE BELÉM**. JUSBRASIL. DISPONÍVEL EM: <<HTTP://CM-BELEM.JUSBRASIL.COM.BR/LEGISLACAO/585565/LEI-7577-92>>.

JÚNIOR, A. C. R. A; Fatores de risco a inundações na bacia hidrográfica da Estrada Nova Belém-Pa.

KENDALL, M.G.. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London. 1975.

Kobiyama, M., Santos, I., (2004) - Aplicação do TOPMODEL para zoneamento hidrológico da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais - PR. In I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais (1: 2004: Florianópolis) Florianópolis: UFSC/GEDN, Anais, p.188-202.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Rev. Bras. de Climatologia**, v. 12, p. 84-102, 2013.

LOUREIRO, G.E. FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H. **Spatial and Temporal Variability of Rainfall in the Tocantins-Araguaia Hydrographic Region**. Acta Scientiarum, v. 37, n. 1, 2015.

LUIS, E. L.; HERRMANN, M. L. de P. **Influência do comportamento das precipitações na análise de susceptibilidade a enchentes e deslizamentos em zonas subtropicais: O caso da grande Florianópolis**. In: X Simpósio de geografia Física Aplicada, 2003, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Departamento de Geografia/UERJ, 2003. 1 CD-ROM.

MACHADO, Fernando Weigert. **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais**. 2005. 156f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Hidrológica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/093-Fernando_Weigert_Machado.pdf>. Acesso em 29 fev. 2016.

Maciel, Samuel Alves, 1991 **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil** / Samuel Alves Maciel. - 2017.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259. 1945.

MARENGO, J. **Interannual variability of surface climate in the Amazon basin**. *International Journal of Climatology*, 12(8): 853-863 1992

MARTINS, L.; SERPA, M.; REIS, J. M. Renovação de constantes harmônicas: critérios e procedimentos utilizados no IH. **ANAIS do Instituto Hidrográfico: 2003-2004**, Lisboa, n. 17, p. 55-66, 2005.

MARTINS, L.; REIS, J. Nível Médio, Maré e Análise Harmônica. **5ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**, Lisboa, 11 e 12 Out. 2007. 16.

MARTINS, Vânia Carla Dias. Avaliação de Sistemas de Prevenção e Contenção de Inundações em Bacia de Drenagem Urbana. 2015. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

McCulloch J.S.G., Robinson M. 1993 **History of forest hydrology**. *Journal of Hydrology*, 150: 189-216.

MCCORMICK, J. M.; THIRUVATHUKAL, J. V. **Elements of Oceanography**. 2ª. ed. Orlando: Saundres College Publishing, 1981. 448 p.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas no Brasil**. Oficina de textos, São Paulo, 2007.

MENEZES, F.P. **Avaliação Espacial E Sazonal da Precipitação no Estado do Pará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2013.

Monteiro, C.A.F. (1991) - Clima e excepcionalismo – conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: UFSC, 241p.

MOORE, D. S. ,**The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman, 2007.

Risco de Cheia e Vulnerabilidade: Uma abordagem às Inundações Urbanas de Belém/Pará/Brasil (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/278592475_Risco_de_Cheia_e_Vulnerabilidade_Uma_abordagem_as_Inundacoes_Urbanas_de_BelemParaBrasil [accessed Mar 01 2018].

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. A. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

MORAIS, A. R.; BOTELHO, V. A.; CARVALHO, L. G.; MUNIZ, J. A.; LAGE G. **Estimativa da precipitação provável em Lavras (MG) através da distribuição gama**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 2, p. 305-310, 2001.

MOREIRA, A. C., ASSIS, S. V. de. **Precipitação pluviométrica disponível na região da campanha do estado do Rio Grande do Sul**. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, 2004.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475 - 483, 2012.

NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, 15(5): 599-611. 2011.

NUNES, L. H. **Uso de sistemas de informação geográfica na análise da anomalia pluviométrica**. In: X Simpósio de geografia Física Aplicada, 2003, Rio de Janeiro.

PASSOS, L. G. D. **Simulação da Maré na Margem Continental da Região Localizada entre as Latitudes 15,8°S a 21,9°S e as Longitudes 34W a 41°W**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 82 p. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Departamento de Ecologia e Recursos Naturais.

PEDRO, Leda Correia; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. **A Relação Entre Processos Morfodinâmicos e os Desastres Naturais: Uma Leitura das Áreas Vulneráveis a Inundações e Alagamentos em Presidente Prudente-SP**. In: **Caderno Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente, n.34, v.2, p.81-96, ago./dez.2012.

PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil. 2ª ed. DNOS, 1982.

PICKBRENNER, K.; PEDROLLO, M.C.; RISSO, A. (2005). Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do Rio Criciúma. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., João Pessoa, 2005. Anais... Porto Alegre: ABRH. Disponível em: . Acesso em: 20 out. 012.

PIMENTEL, M. A. S.; SANTOS, V. C.; SILVA, F. A. O.; GONÇALVES, A. C. A ocupação das várzeas na cidade de Belém: causas e consequências socioambientais. **Rev. Geonorte**, n. esp., v. 2, n. 4, p. 34-45, 2012.

PINTO, N. L. de S; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1988.

PINTO, E. J. A. Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. CPRM. Belo Horizonte. Mar., 2013.

POND, S.; PICKARD, G. L. **Introductory Dinamical Oceanography**. 2ª. ed. Nova York: Pergamon Press, 1983. 329 p.

Pontes, M. L. C., Lima, A.M., Junior, J.A.S. (2017): **Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos**. Caderno de Geografia, v. 27, n.49, p. 285-303.

Pontifícia Universidade Católica – PUC. Disponível em <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124945_03_cap_04.pdf>, 2012. Acessado em 10 de Set. de 2014.

PUGH, D. T. **Tides, Surges and Mean Sea-Level**. Swindon: John Wiley & Sons Ltd., 1987. 472 p.

REIBOTA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185 - 204, 2010.

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. **Saneamento Básico e sua Relação com o Meio Ambiente e a Saúde Pública**. Monografia (Especialização em Análise Ambiental), Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora – MG, 2010.

Risco de Cheia e Vulnerabilidade: Uma abordagem às Inundações Urbanas de Belém/Pará/Brasil (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/278592475_Risco_de_Cheia_e_Vulnerabilidade_Uma_abordagem_as_Inundacoes_Urbanas_de_BelemParaBrasil [accessed Mar 01 2018].

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Rev. do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 111-125, 2010.

SANTANA, T, SILVA, B e SANTOS, A. **Análise de tendências de longo prazo em séries de vazões: estudo de caso na Bacia do Alto Rio Grande (MG)**, 2012.

SANTIAGO, ALAILSON V. Variabilidade e Intensidade das Chuvas em Belém- PA. Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

SANTIAGO, A. V.; RIBEIRO, V. C.; COSTA, J. F.; PACHECO, N. A. variabilidade e intensidade das chuvas em Belém-Pa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 27, 2011, Espírito Santo. **Anais...** Guarapari-ES: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2011.

SANTOS, Verônica Jussara Costa. **Avaliação da rede de monitoramento hidrológico e sua contribuição para a gestão dos recursos hídricos no estado do Pará.** Trabalho de conclusão de curso. Programa de Formação Interdisciplinar em Meio Ambiente – Curso de Gestão Ambiental, Universidade Federal do Pará, Belém: 2008.

SATO, O. **Ondas e Marés.** São Paulo: Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo, 2010. 99 p. Notas de Aula - Departamento de Oceanografia Química, Física e Geológica.

SANTOS, Flávio Augusto Altieri dos. **Alagamentos e inundação urbana: Modelo experimental de risco.** Belém. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais. UFPA/Museu Emílio Göeldi/ EMBRAPA, 2010.

SANTOS, Flávio Augusto Altieri dos; ROCHA, Edson José Paulino da. **Alagamento e inundação em áreas urbanas.** Estudo de caso: Cidade de Belém. In: **Revista GeoAmazônia**, v. 02, n. 2, p. 33 – 55. Belém, 2013.

SEIBOLD, E.; BERGER, W. H. **The Sea Floor: An Introduction to Marine Geology.** 2^a. ed. Berlim: Springer-Verlag, 1993. 356 p.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SEMA. **Roteiro Metodológico para Elaboração de Plano de Manejo das Unidades de Conservação Estaduais do Pará.** Belém: SEMA, 2009.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR. N. J., **Estatística não paramétrica para ciências do comportamento**, 2. Ed., Porto Alegre, Artmed, 2006.

SILVA, M. R. da. **Otimização de Superfícies Seletivas de Frequência com Elementos Pré-Fractais Utilizando Rede Neural MLP e Algoritmos de Busca Populacional.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em latossolo vermelho eutroférrico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 105-114, 2005.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SOUSA, DYEGO RODRIGO DAMÁZIO DE, **Alagamentos no centro comercial da Campina, Belém-PA: identificação das causas e suas implicações de acordo com a percepção dos comerciantes locais** / Dyego Rodrigo Damázio de Sousa. – 2016.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global WaterPartnership - World Bank – Unesco, 2005.

SOUZA, M. R. O. R.; SCARAMUSSA, M. H. P.; AMARAL, M. C. A. M.; NETO, P. A. J.; PANTOJA, V. A.; SADECK, R. W. LUIS. **Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

TAVARES, JOÃO PAULO NARDIN. **Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987**. Caminhos de geografia, v. 9, n. 28 Dez/2008 p. 1 – 6. Revista on line <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> ISSN 1678-6343.

TUCCI, C.E.M. (1998). **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 669p

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações Urbanas**. 2007.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2009. 271 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Pará**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE-SOIL CONSERVATION SERVICE – USDA-SCS. (1972). **National engineering handbook, hydrology section**. Washington, D.C.: USDA-SCS.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WEYL, P. K. **Oceanography: An Introduction to the Marine Environment**. Nova York: John Wiley & Sons, 1970. 535 p.

YANG, Z.; LIU, Q. **Response of Streamflow to Climate Changes in the Yellow River Basin, China**. Journal of Hydrological Meteorology, v. 12, p. 1113-1126, 2011.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology** 259:254-271. 2002.

ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; PRUSKI, F. F. **Validação do Modelo ClimaBR em Relação ao Número de Dias Chuvosos e a Precipitação Total Diária**. Engenharia Agrícola, Vol. 26, n. 1, 2006.

ZHANG, Z.; CHEN, X.; XU, C. Y.; YUAN, L.; YONG, B.; YAN, S. **Evaluating the non-stationary relationship between precipitation and streamflow in nine major basins of China during the past 50 years**, Journal of Hydrology, Volume 409, Issues 1–2, 2011, Pages 81-93.

ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. **Global and Planetary Change** 69:35-47. 2009.