



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Warlison Ancelmo Lima

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA NO MUNICÍPIO DE PALMAS - TOCANTINS

Palmas – TO

2019

Warlison Ancelmo Lima
MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA NO
MUNICÍPIO DE PALMAS - TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Palmas – TO

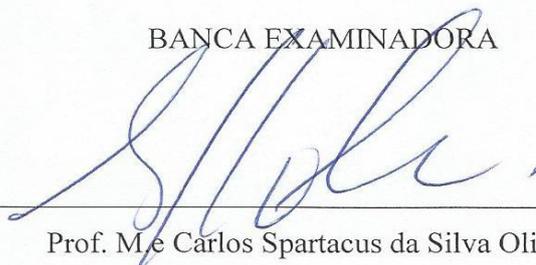
2019

Warlison Ancelmo Lima
MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA NO
MUNICÍPIO DE PALMAS - TOCANTINS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira

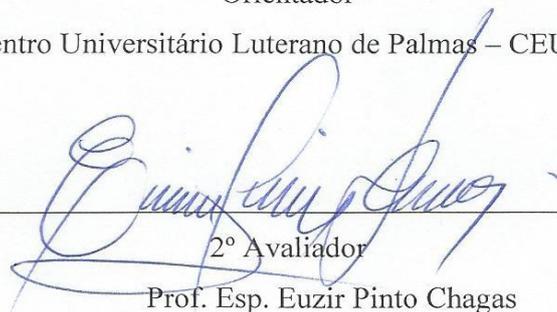
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira

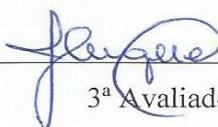
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



2º Avaliador

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas



3ª Avaliadora

Prof. Dr. Jacqueline Henrique

Palmas – TO

A Deus e aos meus pais João Barros e
Maria Felix.

Agradeço primeiramente a Deus por tornar possível a realização de um sonho, me capacitar e cuidar de mim para que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais João Barros da Silva Neto e Maria Felix Lima Noletto Barros toda a minha gratidão e amor por sempre me incentivarem, me confortarem e por estar comigo em todo o tempo

Muito obrigado ao meu orientador Carlos Spartacus por todo conhecimento transmitido, pelo empenho e dedicação a nós alunos.

Minha amada irmã Lorena Ancelmo Lima, muito obrigado, sou muito grato as minhas amigas Mirella Barbosa, Aline Cunha e Adrienne Santana.

A todos vocês muito obrigado!

RESUMO

Ancelmo, Warlison lima. **Modelagem hidrológica da Bacia do Ribeirão Água Fria no Município de Palmas - Tocantins**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

É sabido que a Terra se encontra em sua maior parte coberta por água, e que o estudo sobre as precipitações e vazões máximas é de fundamental importância para a sociedade, pois estes estudos ajudam a prevenir ou minimizar as enchentes que ocorrem quando um grande volume é precipitado, sendo gerado um grande escoamento superficial. São numerosas as metodologias que pode se aplicar para o cálculo de vazão, contudo deve se observar que para cada bacia hidrográfica há características diferentes, ou seja, tipo de solo, uso de solo, bem como a taxa de impermeabilização que a bacia possui. O objetivo do presente trabalho é analisar as mais variadas metodologias que podem ser aplicadas. Para analisar as precipitações foram considerados as máximas, o tempo de retorno e a frequência que a mesma possui. Para o cálculo de vazão foram usados os métodos empíricos e hidrograma unitário, no qual consiste nos seguintes, Burkli-Ziegler, Iszkowski, Kinnison, Creager, Whistler, Pagliaro, Forti, Racional e Racional Modificado, Hidrograma Unitário Triangular e Hidrograma de Sydener. As vazões de projetos foram calculadas para um tempo de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50, 100 e 500 anos, e entre os métodos usados tiveram alguns que subdimensionaram as vazões e outros como método Racional que superdimensionou a bacia em aproximadamente 17 vezes. Os métodos que tiveram resultados mais próximo da média foi o Hidrograma Unitário Triangular e o método de Burkli-Ziegler. Portanto a metodologia que melhor se adequa a Bacia do Ribeirão do Água fria é o Hidrograma Unitário triangular.

Palavras-Chave: Bacia hidrográfica, vazão, Tempo de Concentração, precipitação.

ABSTRACT

Ancelmo, Warlison Lima. **Hydrological modeling of the Ribeirão Água Fria Basin in the city of Palmas - Tocantins. 2019.** Course Conclusion Paper (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

It is well known that the earth is mostly covered by water, and that the study of rainfall and peak flows is of fundamental importance to society, as these studies help to prevent or minimize flooding that occurs when a large volume is affected. precipitated and a large surface runoff is generated. There are numerous methodologies that can be applied for flow calculation, however it should be noted that for each river basin there are different characteristics, ie soil type, soil use, as well as the waterproofing rate that the basin has. The purpose of this paper is to analyze the most varied methodologies that can be applied. To analyze the precipitations were considered the maximums, the return time and the frequency that it has. For flow calculation, the empirical methods and unit hydrogram were used, consisting of the following: Burkli-Ziegler, Iszkowski, Kinnison, Creager, Whistler, Pagliaro, Forti, Rational and Modified Rational, Triangular Unitary Hydrogram and Sydener Hydrogram. Project flow rates were calculated a turnaround time of 2, 5, 10, 15, 25, 50, 100 and 500 years, and among the methods used were some that undersized the flows and others. as a Rational method that oversized the basin approximately 17 times. The methods that had results closest to the average were the Triangular Unitary Hydrogram and the Burkli-Ziegler method. Therefore, the methodology that best fits the Cold Water Ribeirão Basin is the triangular unit hydrograph.

Keywords: River basin, flow, Concentration Time, precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama dos principais componentes de uma bacia hidrográfica.....	16
Figura 2: Divisores Topográficos	17
Figura 3: Valores referentes ao Ct e Cp	32
Figura 4: Localização da BHAF, Município de Palmas	37
Figura 5: Fluxograma passo a passo.....	38
Figura 6: Fluxograma Tempo de Concentração	39
Figura 7: Fluxograma Métodos Empíricos.....	44
Figura 8: Mapa da Rede de Hidrografia	47
Figura 9: Mapa de Declividade	48
Figura 10: Mapa 3D.....	48
Figura 11: Paramentos da equação IDF.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Número “n” coeficiente de Manning.....	22
Tabela 2: Relaciona a fórmulas com suas determinadas áreas.....	24
Tabela 3: Valores do parâmetro K em função das características da bacia.....	25
Tabela 4: Valores do parâmetro K em função das características da bacia.....	25
Tabela 5: Características dos solos "classes".	25
Tabela 6: Constantes b e c para cálculo das vazões	28
Tabela 7: Áreas limites.....	28
Tabela 8: Coeficiente de deflúvio “C” de acordo com a natureza da superfície.....	29
Tabela 9: Coeficiente de deflúvio “C” de acordo com o tipo de ocupação da área.	30
Tabela 10: Fator de correção do coeficiente de escoamento superficial em função do período de retorno.....	30
Tabela 11: Condição de Umidade:	33
Tabela 12: Taxa de infiltração mínima.....	34
Tabela 13: Valores da taxa de infiltração mínima usadas na identificação do grupo hidrológico do solo.	34
Tabela 14: Dados Referente ao Município de Palmas.....	40
Tabela 15: Tempo de concentrações	49
Tabela 16: Relação IDF.....	51
Tabela 17: Frequência	54
Tabela 18: Frequência	55
Tabela 19: Probabilidade de precipitação.....	56
Tabela 20: Métodos Empíricos.....	57
Tabela 21: Dados Método de Snyder	58
Tabela 22: Vazões Afluentes.....	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Tc - Metodologia de Dooge.....	19
Equação 2: Tc - Metodologia Arnel	19
Equação 3: Tc - Metodologia Arnel 2	19
Equação 4: Tc - Método Kirpich	20
Equação 5: Tc - Metodologia Califórnia Culverts Pratices	20
Equação 6: Tc - Metodologia Federal Aviation Agency.....	20
Equação 7: Tc - Metodologia de Bransby-Willians	21
Equação 8: Tc - Metodologia da Onda Cinemática.....	21
Equação 9: Tc - Metodologia Da Lag Fórmula de Soil “SCS”.....	22
Equação 10: Tc - Metodologia Johnstone	22
Equação 11: Tc - Metodologia de Tsuchiva.....	23
Equação 12: Tempo de Concentração Método de Tsuchiva	23
Equação 13: Metodologia de Ven te Chow	23
Equação 14: Vazão Método de Burkli-Ziegler.....	24
Equação 15: Vazão Método de Iszkowski.....	24
Equação 16 – Vazão de pico método Kinnison.....	26
Equação 17: Vazão de Pico Método de Kresnik, Ganguillet e Kutter	26
Equação 18: Vazão Metodologia de Creager	26
Equação 19: Vazão metodologia Whistler	27
Equação 20: Vazão metodologia Pagliaro.....	27
Equação 21: Vazão metodologia de Forti.....	27
Equação 22: Vazão Método Racional	30
Equação 23: Vazão Método Racional Modificado.....	31
Equação 24: Tempo de pico Método de Snyder.....	32
Equação 25: Tempo de duração Método de Snyder	32
Equação 26: Vazão de pico Método de Snyder.....	32
Equação 27: Tempo de base Método de Snyder	33
Equação 28: Tempo de Pico Método MHTU	35
Equação 29: Tempo de retorno Método MHTU	35
Equação 30: Tempo de base Método MHTU	35
Equação 31: Vazão de pico Método MHTU	36
Equação 32: IDF "Intensidade-Duração-Frequência.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico CN	40
Gráfico 2 - Tempo de Concentração.....	50
Gráfico 3: Gráfico IDF	51
Gráfico 4: Precipitação Diária	52
Gráfico 5: Gráfico de Precipitação Máximas	52
Gráfico 6: Precipitação acumulada mensal	53
Gráfico 7: Precipitação Acumulada Anual	53
Gráfico 8: Frequência das precipitações.....	54
Gráfico 9: Frequência	55
Gráfico 10: Probabilidade de retorno precipitação.....	56
Gráfico 11: Vazões Métodos Empíricos.....	57
Gráfico 12: Vazões Métodos Empíricos.....	58
Gráfico 13: Hidrograma Unitário Adimensional Snyder	59
Gráfico 14: Vazão Hidrograma Unitário	60
Gráfico 15: Hidrograma Afluente.....	60
Gráfico 16: Hidrograma Unitário Triangular	61
Gráfico 17: Convolução Hidrograma Unitário.....	61
Gráfico 18: Vazões afluentes.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da bacia
ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BHAF	Bacia Hidrográfica do Água Fria
C	Coefficiente de escoamento superficial
CN	Curve Number
Cp	Coefficiente adimensional relacionado à capacidade de armazenamento da bacia
Ct	Coefficiente adimensional relacionado à porcentagem de impermeabilização da Bacia
CUHP	Colorado Urban Hydrograph Procedure
D	Duração da precipitação
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
EUA	Estados Unidos da América
h	Altitude média do exutório
H	Altura da precipitação
H	Desnível total do talvegue
HU	Hidrograma Unitário
I	Intensidade da chuva
IDF	Relação de Frequência-Duração-Intensidade da chuva
K	Parâmetro tabelado em função da forma da bacia
Km	Quilômetros
km ²	Quilômetros quadrados
L	Comprimento do talvegue
MHTU	Método do Hidrograma ou do Hidrógrafo Triangular Unitário
N	Coefficiente de rugosidade de Manning
P	Altura Pluviométrica
Pe	Precipitação efetiva
Q	Vazão
Qp	Vazão de Pico
S	Retenção potencial do solo
S	Declividade do talvegue
SCS	Soil Conservation Service
T	Duração da precipitação
Tb	Tempo base
Tc	Tempo de Concentração
Tc	Tempo de concentração
Tp	Tempo de pico
Tr	Período de retorno

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.3.2 Objetivo específico	15
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA	16
2.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	18
2.2.1 Metodologia de Dooge	19
2.2.3 Metodologia de Kirpich.....	20
2.2.4 Metodologia Califórnia Culverts Pratices (EUA)	20
2.2.5 Metodologia da Federal Aviation Agency (E.U.A.).....	20
2.2.6 Método de Bransby-Willians.....	21
2.2.7 Metodologia da Onda Cinemática	21
2.2.8 Metodologia da Lag Fórmula de SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS).....	22
2.2.9 Metodologia Johnstone.....	22
2.2.10 Metodologia de Tsuchiya	23
2.2.11 Metodologia de Ven te Chow	23
2.3 METODOLOGIAS EMPIRICOS DE ESTIMATIVAS DE VAZÕES	24
2.3.1 Metodologia de Burkli-Ziegler	24
2.3.2 Metodologia de Iszkowski.....	24
2.3.3 Método Kinnison	26
2.3.4 Método Kresnik, Ganguillet e Kutter	26
2.3.5 Metodologia de Creager	26
2.3.6 Metodologia de Whistler	27
2.3.7 Metodologia de Pagliaro.....	27
2.3.10 Método Racional Modificado.....	30
2.4 MÉTODOS BASEADOS EM HIDROGRAMAS UNITÁRIOS	31
2.4.1 Método de Snyder.....	31
2.4.2 Método do Soil Concervation Service.....	33
2.4.3 Método do Hidrograma Unitário	34
3. METODOLOGIA.....	37

3.1 LOCALIZAÇÃO E DIMENSÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.2 SELEÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	38
3.3 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDRGRÁFICA E O MAPA DE DECLIVIDADE	38
3.4 CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	39
3.5 OBETENÇÃO DO CN-SCS E O COEFICIENTE DE RUNOFF	39
3.6 IDF - RELAÇÃO DA “FREQUÊNCIA-DURAÇÃO-INTENSIDADE”	41
3.7 PRECIPITAÇÃO	42
3.8 TEMPOS DE RETORNO	42
3.9 FREQUÊNCIA COM INTERVALO DE CLASSES	43
3.10 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES PELO MÉTODO EMPÍRICO	44
3.10.1 Cálculo das vazões	44
3.10.2 Método Racional e Modificado	45
3.11 CÁLCULO DA VAZÃO PELO MÉTODO HIDROGRAMAS	45
3.11.1 Cálculo da vazão pelo método Snyder	45
3.11.2 Cálculo da vazão pelo método HU Hidrograma Unitário	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 MAPEAMENTO	47
4.1.1 Mapa da rede de hidrografia	47
4.1.2 Mapa de Hipsométrico.....	47
4.1.3 Mapa 3D da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria.....	48
4.2 CÁLCULO DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	49
4.3 RELAÇÃO IDF	50
4.4 PRECIPITAÇÃO	52
4.5 FREQUÊNCIA	54
4.6 CÁLCULO DE VAZÕES	56
4.6.1 Cálculo das vazões métodos empíricos	56
4.7 CÁLCULO DAS VAZÕES MÉTODOS HIDROGRAMAS.....	58
4.7.1 Método de Snyder.....	58
4.7.2 Método do Soil Concervation Service Hidrograma Unitário Triangular	60
CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

INTRODUÇÃO

A hidrologia trata uma modelagem de uma bacia hidrográfica como o estudo que consiste em representar o fluxo do escoamento superficial através de modelos matemáticos, pois de acordo com a lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que veio trazer regulamentos e diretrizes que uma bacia hidrográfica é uma unidade de estudo. As modelagens hidrológicas são indispensáveis para se realizar projetos de drenagem, pois para o seu dimensionamento faz se necessário saber quais as vazões que se tem na região, sendo assim evitando erros de projetos.

A Terra encontra-se sob a sua maior parte superficial em forma líquida, sendo, em rios, lagos, lençóis freáticos e nos oceanos; na forma sólida, encontra-se nas geleiras nos polos e regiões muito frias; e na forma gasosa, faz parte da atmosfera como vapor de água.

Continuamente, a água muda de estado físico em meio natural, numa circulação fechada da água entre superfície da terra e a atmosfera, em nível global, por causa da radiação solar, associada à gravidade e à rotação terrestre. Tal fenômeno denomina-se ciclo hidrológico (TUCCI, 1993).

Em nível de superfície terrestre, a Bacia hidrográfica (BH) é a base de estudo. Caracteriza-se como uma “é a área que contribui de forma natural toda partícula de precipitação, sendo ela chuva, neve, granizo, orvalho e geada, e a faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório” (TUCCI, 1993), estando sujeita à ação humana.

As atividades humanas interferem diretamente no escoamento superficial da água em uma BH devido ao seu crescimento desordenado, por muitas vezes ocupando Áreas de Preservação Permanente (APP). Isso se reflete na vazão de água presente no exutório de uma bacia hidrográfica, sendo maior em bacias que estão parciais ou totalmente inseridas em ambiente urbano pois a vegetação influencia sobre o processo hidrológico tais como interceptação, transpiração, infiltração e percolação etc., é nesse sentido que mensurar o quanto a ocupação humana em uma bacia interfere na quantidade de água que passa pelo exutório, assim, portanto, o a coordenação dos recursos hídricos, influencia a na tomada de decisão quanto à sua utilização e preservação.

Através de uma modelagem hidrográfica é possível fazer uma gestão de recursos financeiros, no qual se pode buscar minimizar os impactos causados pelas grandes precipitações que ocorrem de tempos em tempos. Tucci (1998) afirma que “a modelagem hidrográfica é uma

das ferramentas que a ciência desenvolveu, para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas”. Vários aspectos são capazes de interferir na vazão final no exutório, tais como, Inclinação do terreno, a área de drenagem, o tipo de solo e uso de solo.

Nesse sentido, este trabalho realizou uma modelagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria, criando um modelo genérico da mesma, de tal forma que essa metodologia possa ser aplicada em bacias com características semelhantes, oferecendo suporte para a tomada de decisão na gestão da precipitação regionalizada presentes nela.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a modelagem Hidrológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria através de métodos empíricos diversos, associados a informações de sistemas geográficos e dados hidrológicos que representem a bacia.

1.3.2 Objetivo específico

- Determinar as precipitações máximas e a frequências e o tempo de retorno;
- Determinar dados de vazões máximas utilizando os métodos empíricos e métodos baseados em hidrograma unitário inseridos neste estudo;
- Comparar os resultados da aplicação dos diferentes métodos empíricos abordados neste estudo, buscando o mais adequado para representar a bacia o uso da Bacia Hidrográfica em questão;
- Apresentar a Modelagem Hidrológica que melhor represente a BH Ribeirão Água fria.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

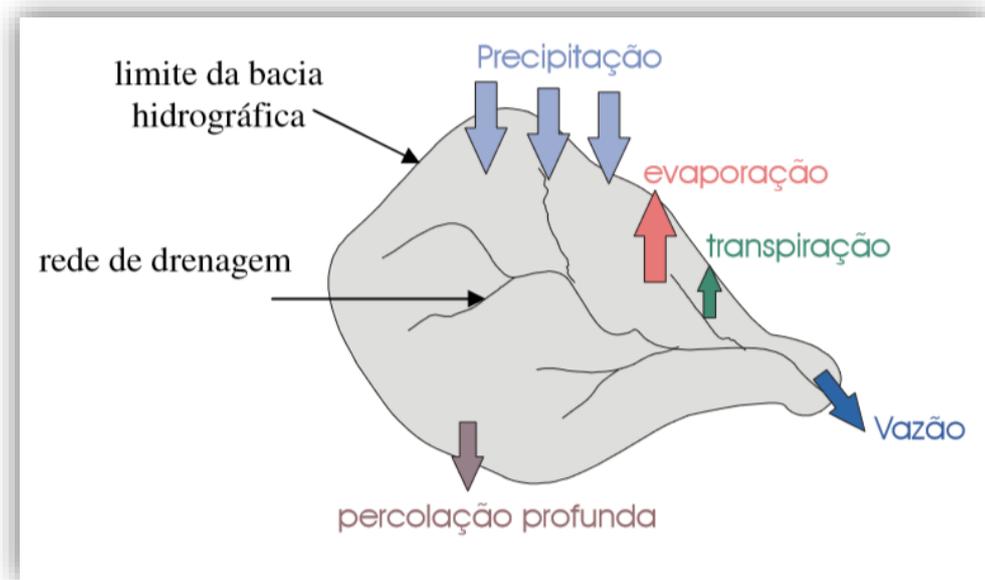
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Com o passar dos tempos, a população cresceu exponencialmente, havendo uma maior demanda de consumo de doce. Nesse sentido foram desenvolvidas metodologias que tem uma maior aplicabilidade nas bacias hidrográficas, o Homem delimitou territorialmente a observação e a interpretação do funcionamento da dinâmica hídrica, por meio da utilização do conceito de Bacia Hidrográfica.

A área de estudo de uma Bacia Hidrográfica pode ser considerada como um sistema input-output, onde a entrada (input) caracteriza-se pelo volume de água precipitado e as saídas (outputs) caracterizadas pela água escoada no exutório (superficial e subsuperficial), somada às saídas por evapotranspiração e percolação. (LATUF 2011).

A Figura 1 mostra que a partir de uma precipitação que ocorre em uma bacia, parte dela é transformada em evapotranspiração, outra parte percola pelo o solo através do índices de vazios e da sua porosidade, sendo assim o resultante vira escoamento superficial que é transportado pela rede de drenagem, até chegar no exutório.

Figura 1: Diagrama dos principais componentes de uma bacia hidrográfica.



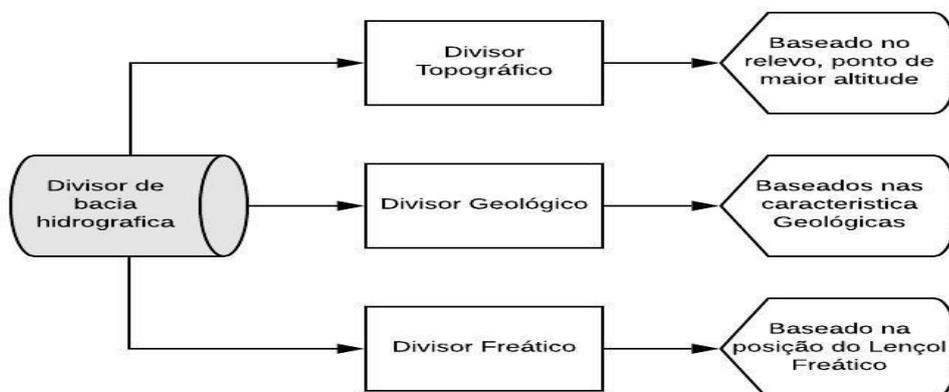
Fonte: Paz (2004)

Segundo Braga (2009), todo sistema é um organismo autônomo, mas ao mesmo tempo componente de um conjunto maior (bacia unitária, sub-bacias, macrobacias). Portanto, os processos que alteram sua característica física, sejam eles naturais ou praticados pelos seres humanos, induzem as alterações no comportamento dos canais fluviais alterando o seu estado natural, um fator que deve ser observado é o desmatamento, pois com essa alteração feita na bacia hidrográfica faz com que altere o seu comportamento, uma vez substituindo florestas por terrenos que contribui para um aumento de escoamento superficial.

Outro dado que deve ser apontado é a ocupação de terrenos em áreas próximas aos corpos hídricos, pois com essas alterações praticada no solo, a infiltração tende a diminuir drasticamente, pois antes havia terreno natural e agora terrenos com características impermeáveis, sendo elas pavimentação, calçadas, passeios e ocupações residências ou industriais, assim aumentando a vazão nos leitos dos rios e a conseqüentemente a sua velocidade, carreando mais sedimento e assim aumento o nível do rio causando enchentes e inundações.

Para se delimitar uma bacia hidrográfica é importante conhecer que existem três fatores que influencia na hora de se fazer essa divisão, todavia o mais usual é o divisor topográfico onde se escolhe uma curva de nível localizada no ponto mais alto de uma bacia, e na maioria das vezes essa cota tem como referencial o nível do mar, porem existem mais dois divisores de bacias hidrográficas, o fluxograma a seguir demonstra essas três metodologias:

Figura 2: Divisores Topográficos



Fonte: Autor (2019)

A lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, veio para trazer diretrizes regulamentadoras sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, e uma delas é que a “bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

2.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

A estimativa do T_c é de fundamental importância para as verificações do cálculo de vazões, que pode ser aplicado nas mais diversas metodologias de aplicabilidade de cálculo de vazão de, e para esse cálculo a diversas formas de variação das formulas que vários autores levaram em consideração, tais como, extensão axial (km), declividade (m/km), a área da bacia hidrográfica (km²), o coeficiente de Runoff (C), o número de escoamento (CN) e a intensidade pluviométrica (mm/h). O TC é período que uma partícula de precipitação leva para percorrer do ponto mais distante o seu exutório (VILELLA E MATTOS 1975).

Levando em consideração as características da área de estudo e obtendo a tempo de concentração tem como se estimar as vazões. Portanto a intensidade pluviométrica tende a atenuar com a sua duração, assim para que toda área da BH contribua para a vazão no exutório se faz necessário considerar o período da precipitação ou chuva igual ao TC.

Observa-se que as BH que possui pequenas áreas tende a ter um a ter um menor tempo de concentração, e por muitas vezes nessas bacias não dispões de aparelhos capaz de estimar as precipitações ou vazões ocorrentes.

O TC pode ser estimado através dos estudos das observações do período do tempo em que a precipitação leva para percorrer toda a extensão da bacia até chegar ao ponto de menor altitude “exutório”. (TUCCI ,2002), Portanto, a seguir será demonstradas as mais diversas formas metodológicas de se estimar o Tempo de Concentração que a literatura disponibiliza, e levando em consideração a complexibilidade das características físicas que influência na vazão do exutório, que são elas, Vazão, declividade, comprimento do talvegue, alterações antrópicas, forma da bacia, umidade do solo.

2.2.1 Metodologia de Dooge

Foi proposta ano de 1956, teve seu embasamento em dez bacias em zonas rurais, tendo áreas variando em 1,4 a 9,3 milhões de m², foi designado que seu modelo de análise poderia ser usado para bacias de médios portes em escoamento em canais. (PORTO 1995), Portanto o Tc de Dooge é dado pela equação.

Equação 1: Tc - Metodologia de Dooge

$$T_c = 21,88 * A^{0,41} * S^{-0,17}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

A = área da bacia hidrográfica dado em km²;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m.

2.2.2 Metodologia Arnel

Baseados em estudos criado pelo Instituto de Pesquisas e Obras Públicas do Ministério da Construção do Japão verificou oitenta e cinco aprontamento de vazões de vinte e três bacias, constando o estudo entre 14 corpos hídricos com período de dez minutos, os dados coletados foram associados e confrontados com outras bacias. (Arnel 1989)

Para bacias naturais, com $0,50 \leq C \leq 0,70$.

Equação 2: Tc - Metodologia Arnel

$$T_c = 1,67 * 10^{-3} * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,7}$$

Para bacias urbanas, com $0,7 \leq C \leq 0,9$:

Equação 3: Tc - Metodologia Arnel 2

$$T_c = 2,40 \times 10^{-4} * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,7}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

L = é a extensão axial em km;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m;

C = coeficiente de escoamento superficial.

2.2.3 Metodologia de Kirpich

Em 1940 foram estudadas bacias rurais que tinham declividade variando entre três e dez por cento, que possuíam áreas inferiores a 5.000,0 Há. Algumas variáveis devem ser analisadas, quando o a extensão axial da bacia for inferior a 10.000,0 metros a fórmula tende a subestimar o Tc em relação a escoamento em canais, sendo assim deve ser reduzida em 40% o seu valor, (CHOW et al., 1988).

Equação 4: Tc - Método Kirpich

$$T_c = 3,889 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

L = é a extensão axial em km;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m.

2.2.4 Metodologia Califórnia Culverts Pratices (EUA)

Em 1942 o Departamento de Estrada Rodagem da Califórnia modificou a fórmula de Kirpich, alterando o S por L/h, e utilizaram as mesmas condições de uso da metodologia de Kirpich equação (2.2.3),

Equação 5: Tc - Metodologia Califórnia Culverts Pratices

$$T_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

L = é a extensão axial em km;

H = O desnível total do talvegue, em metros

2.2.5 Metodologia da Federal Aviation Agency (E.U.A.)

O método da Federal Aviation Agency foi desenvolvido para drenagem de aeroportos nos EUA, em 1970. É indicada para calcular o escoamento em superfície de áreas muito pequena.

Equação 6: Tc - Metodologia Federal Aviation Agency

$$T_c = 22,73 * (1,1 - C) * L^{0,5} * S^{-0,33}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

C = coeficiente de Runoff

S = declividade do talvegue em m/m;

L = é a extensão dado em km;

2.2.6 Método de Bransby-Willians

O método de Bransby-Willians descrito pela equação a seguir foi criada em 1922 levando o nome do seu criador.

Equação 7: Tc - Metodologia de Bransby-Willians

$$T_c = 14,60 * L * A^{-0,1} * S^{-0,20}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

A = área da bacia dado em km²

S = declividade do talvegue em m/m;

L = é a extensão dado em km;

2.2.7 Metodologia da Onda Cinemática

Esse Método considera que a superfície do escoamento é como um canal de grande largura, levando em consideração um escoamento turbulento e precipitação intensa constante, essa metodologia foi criada partindo do princípio que a superfície teria entre 15 e 30 metros. É muito utilizada para bacias que possuam áreas reduzidas.

Equação 8: Tc - Metodologia da Onda Cinemática

$$T_c = 477 * (nL)^{0,60} * S^{-0,30} * I^{-0,40}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

I = Intensidade pluviométrica dado em mm;

S = declividade do talvegue em m/m;

L = é a extensão dado em km;

n = parâmetro de rugosidade de Manning

Tabela 1 : Número “n” coeficiente de Manning

Cobertura da Bacia	M (Manning)
Asfalto liso	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila compactada	0,030
Pouca vegetação	0,020
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

Fonte: Tucci

2.2.8 Metodologia da Lag Fórmula de SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

O método de estimativa de tempo de concentração do SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) foi proposto em 1975 foi criada a partir de bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 km².

Equação 9: Tc - Metodologia Da Lag Fórmula de Soil “SCS”

$$T_c = \frac{2,587 * L^{0,80} * \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0,70}}{1900 * i^{0,5}}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

CN = é o número da curva;

i = declividade do talvegue em %;

L = é a extensão dado em m.

2.2.9 Metodologia Johnstone

A metodologia de Johnstone foi estudada na Escócia, tendo como embasamento dados de BH com áreas variando entre 65 a 4200 km² (PINTO et al. 1975).

Equação 10: Tc - Metodologia Johnstone

$$T_c = 20,17 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,50}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

L = é a extensão axial em km;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m.

2.2.10 Metodologia de Tsuchiya

Através de estudo em 235 bacias com áreas variando entre 100 a 200 há foi desenvolvido a metodologia de Tsuchiya.

- Para zonas urbanas é calculado pela seguinte expressão:

Equação 11: Tc - Metodologia de Tsuchiva

$$T_c = 0,83 * \frac{L}{S^{0,60}}$$

- Para zonas rurais é calculado pela seguinte expressão:

Equação 12: Tempo de Concentração Método de Tsuchiva

$$T_c = 0,36 * \frac{L}{S^{0,50}}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

L = é a extensão axial em km;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m.

2.2.11 Metodologia de Ven te Chow

Equação 13: Metodologia de Ven te Chow

$$T_c = 7,68 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,79}$$

Onde TC = é o Tempo de Concentração, em minutos;

L = é a extensão axial em km;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m.

Tabela 2: Relaciona a fórmulas com suas determinadas áreas.

Método	M (Manning)
Método de Dooge	140 a 130 km ²
Método da onda Cinemática	-
Método de Arnel	0,2 a 50 km ²
Método de Kirpich	Até 0,5 km ²
Método Califórnia Culverts Pratices (EUA)	Até 0,5 km ²
Método da Lag Formula (SCS)	Até 8 km ²
Método de Johnstone	65 a 4200 km ²
Método de Tsuchiya	0,001 a 0,002 km ²

Fonte: Pinto et. Al. (1976)

2.3 METODOLOGIAS EMPIRICOS DE ESTIMATIVAS DE VAZÕES

2.3.1 Metodologia de Burkli-Ziegler

Villela e Mattos (1975), descrevem e detalha essa equação mais minuciosamente, e ela é calculada pela seguinte expressão:

Equação 14: Vazão Método de Burkli-Ziegler

$$Q = 0,022 * A * (10r) * C * \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

Onde Q_p = vazão de pico é dada em m³/s;

A = área de drenagem em hectares;

S = é a declividade do da extensão axial, em m/m.

r = é a precipitação média durante a chuva Crítica (mm)

C = Parâmetro Runoff.

2.3.2 Metodologia de Iszkowski

A seguinte equação foi descrita por Pinto et. al. (1976)

Equação 15: Vazão Método de Iszkowski

$$Q = \frac{K * M * H * A}{1000}$$

Onde Q = é a vazão de pico (m³/s);

K e M são parâmetros que dependem da morfologia e da área da bacia;

H = precipitação média (mm);

A = área da bacia hidrografia (km²).

Tabela 3: Valores do parâmetro K em função das características da bacia.

A (km ²)	M	A (km ²)	M
1	10,00	500	5,94
10	9,00	1.000	4,7
40	8,23	2.000	3,77
70	7,60	10.000	3,22
100	7,40	30.000	2,80

Fonte: Pinto et. Al. (1976)

Tabela 4: Valores do parâmetro K em função das características da bacia.

Características da Bacia	Valores de k			
	I	II	III	IV
Zona pantanosa	0,017	0,03	-	-
Zona plana e levemente ondulada	0,025	0,04	-	-
Zona em parte plana e em partes com colinas	0,03	0,056	-	-
Zona com colinas não muito íngremes	0,035	0,07	-	-
Zonas com montes altos segundo a declividade	0,06	0,16	0,36	0,6
	0,07	0,185	0,46	0,7
	0,08	0,21	0,6	0,8

Fonte: Pinto et. Al. (1976)

Tabela 5: Características dos solos "classes".

Categorias	Características
Categoria I –	Terreno muito permeável com vegetação normal e terreno de média permeabilidade com vegetação densa;
Categoria II –	Terreno de colina ou montanha com vegetação;
Categoria III –	Terreno impermeável com vegetação normal em colinas íngreme ou montanhosa;
Categoria IV –	Terreno impermeável com escassa ou nenhuma vegetação em colina íngreme ou montanhosa.

Fonte: Pinto et. Al. (1976).

2.3.3 Método Kinnison

Equação 16 – Vazão de pico método Kinnison.

$$Q_p = \frac{0,00036 * \left[\left(\frac{h}{0,03048} \right)^{2,4} + 124 * \left(\frac{A}{4,84} \right)^{0,95} \right]}{a^{0,04} * \left(\frac{L}{2200} \right)^{0,7}}$$

Onde Q_p = é a vazão de pico (m^3/s);

a = altitude do exutório da bacia (m)

A = área da bacia em (km^2)

a = percentual de área de espelho de água;

L = comprimento médio do canal em metros.

2.3.4 Método Kresnik, Ganguillet e Kutter

O método de Kresnik, Ganguillet e Kutter descrito por Vilela e Matos (1975) e Back (2006) é dado pela equação.

Equação 17: Vazão de Pico Método de Kresnik, Ganguillet e Kutter

$$Q_p = a * \frac{32}{0,50 + \sqrt{A}} * A$$

Onde Q_p = vazão de pico é dada em m^3/s ;

A = área da bacia hidrográfica em (km^2);

a = coeficiente que varia entre 0,03 e 1,61.

2.3.5 Metodologia de Creager

Pela metodologia de Creager tem como se estimar vazões pela seguinte equação:

Equação 18: Vazão Metodologia de Creager

$$Q_p = 1,3k * \left(\frac{A}{2,59} \right)^{0,936A^{-0,048}}$$

Onde Q_p = vazão de pico dada em m^3/s ;

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

K = coeficiente em função das características físicas da bacia.

2.3.6 Metodologia de Whistler

Essa metodologia é aplicada em BH com áreas que variam entre 1.000 e 12.000 km², e dada por:

Equação 19: Vazão metodologia Whistler

$$Q_p = A_b \left(\frac{1538}{259 A_b} + 0,054 \right)$$

Onde Q_p = vazão de pico dada em m³/s;

A_b = área da bacia hidrográfica (km²)

2.3.7 Metodologia de Pagliaro

Esse método tem aplicabilidade em bacias com áreas menores que 1.000 km², é dada por.

Equação 20: Vazão metodologia Pagliaro

$$Q_p = A_b \left(\frac{2900}{90 * A_b} \right)$$

Onde Q_p = vazão de pico dada em m³/s;

A_b = área da bacia hidrográfica (km²)

2.3.8 Metodologia de Forti

Esse método tem aplicabilidade em bacias com áreas menores que 1.000 km², é dada por.

Equação 21: Vazão metodologia de Forti

$$Q_p = A_b \left(b * \frac{500}{A + 125} + c \right)$$

Onde Q_p = vazão de pico dada em m³/s;

A_b = área da bacia hidrográfica (km²)

Tabela 6: Constantes b e c para cálculo das vazões

Constantes		
b - c	2,35 e 0,5	Precipitação máxima diária menor que 200 mm
b - c	3,25 e 1	Precipitação máxima diária compreendida entre 200 e 400 mm

Fonte: Adaptado por Tucci (2004)

2.3.9 Método Racional e Racional Modificado

A metodologia usada na equação racional foi apresentada a primeira vez em 1851 por William Thomas Mulvany e usado nos EUA por Emil Kuichling em 1889, este é considerado um método indireto pois relaciona a precipitação ocorrida ao escoamento superficial. Mais dois parâmetros de fundamental importância que são obtidos de forma empírica e o T_c e o coeficiente de Runoff.

Algumas restrições devem ser observadas para se estimar os cálculos de vazões, pois em alguns casos o valor encontrado pode estar superdimensionado devido a ineficiência da equação quando não usada corretamente em relação a área máximas já estipuladas (DER,2009, apud SANTOS 2010).

Tabela 7: Áreas limites

Limites das Áreas	
Método Racional	Para áreas menores que 2 km ² ;
Método Ven Te Chow,	Triangular para áreas entre 2,0 km ² a 50,0 km ² ;
Método Estatístico	Para áreas maiores que 50 km ² ;

Fonte: (PORTO. 2004)

Devido a simplicidade do cálculo da vazão pela metodologia empregada na equação racional ela é uma das utilizadas, (PORTO. 2004).

PINTO et al. (1975) em seu capítulo sobre o método racional, afirmam que coeficiente de escoamento superficial deve ser entendido, na verdade, como um coeficiente de deflúvio, cuja função é proporcionalizar os parâmetros de entrada (área e intensidade) com a vazão no exutório da bacia.

A metodologia do racional tende a superestimar as vazões de projeto pois nela são poucas variáveis levada em consideração, pois quando com certa frequência ocorre um precipitação o solo tende a ficar com seus vazios parcialmente preenchido e com uma baixa infiltração alterando o coeficiente de Runoff mesmo que temporariamente, sendo assim não demonstra uma aplicabilidade satisfatória quando utilizada em BH com áreas superiores a 2 Km².

Conforme Tucci (2004) o método racional é um caso particular da teoria do Hidrograma unitário. Para se determinar a vazão máxima, faz-se necessário calcular o coeficiente de deflúvio “C” que foram estimados através das características fisiográficas da bacia, de acordo com a tabela seguir.

Tabela 8: Coeficiente de deflúvio “C” de acordo com a natureza da superfície.

Natureza da Superfície	Coeficiente "C"
Pavimentadas com concreto	0,80 a 0,95
Asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,95
Asfaltadas e má conservadas	0,70 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos rejuntados	0,75 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos não rejuntados	0,50 a 0,70
Pavimentadas com pedras irregulares e sem rejuntamento	0,40 a 0,50
Macadamizadas	0,25 a 0,60
Encascalhadas	0,15 a 0,30
Passeios públicos (calçadas).	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos livres e ajardinados:	
solos	
arenosos	
I ≤ 2%	0,05 a 0,10
2% < I < 7%	0,10 a 0,15
I ≥ 7%	0,15 a 0,20
solos	
pesados	
I ≤ 2%	0,15 a 0,20
2% < I < 7%	0,20 a 0,25
I ≥ 7%	0,25 a 0,30

Fonte: Adaptado por Tucci (2004)

Tabela 9: Coeficiente de deflúvio “C” de acordo com o tipo de ocupação da área.

Período de Retorno (anos)	Coeficiente. C
Áreas centrais, densamente construídas, com ruas pavimentadas.	0,70 a 0,90
Áreas adjacentes ao centro com ruas pavimentadas	0,50 a 0,70
Áreas residenciais com casas isoladas	0,25 a 0,50
Áreas suburbanas pouco edificadas	0,10 a 0,20

Fonte: Adaptado por Tucci (2004)

O cálculo da vazão máxima Q em m³/s é dado por:

Equação 22: Vazão Método Racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6}$$

C = coeficiente de Runoff;

I = corresponde a intensidade média de precipitação (mm/h);

A = área da bacia em (km²);

Q = vazão (m³/s).

Para se calcular a vazão e função do período de retorno, multiplica se os valores da tabela a seguir.

Tabela 10: Fator de correção do coeficiente de escoamento superficial em função do período de retorno.

Período de Retorno (anos)	Cf
2 a 10	1
25	1,1
50	1,2
100	1,25

Fonte: Wright-Mc Laughing, apud Tucci (2004)

2.3.10 Método Racional Modificado

A metodologia de cálculo da expressão Racional modificado se assemelha as características do racional, inserindo apenas um fato redutor de área de acordo com sua magnitude. Conforme CCN (1991) o método racional modificado será estimado pela seguinte expressão pela seguinte equação.

Equação 23: Vazão Método Racional Modificado

$$Q = \frac{C * I * A^D}{3,6}$$

Conforme o DNIT (2005), para corrigir os efeitos da distribuição das chuvas nas bacias hidrográficas, consideradas no uniforme no método racional, principalmente em bacias de médio porte com áreas superiores a 1km², são introduzidos coeficiente redutores das chuvas de ponta designados Coeficientes ou Fatores de Distribuição.

Para se reduzir a área da bacia leva se em consideração quando projeto é rodoviário ou para obras urbanas, como é recomendado pela Fundação Rio Águas, que utiliza se o coeficiente redutor definido por Burkli-Ziegler.

Onde Q = vazão de pico (m³/s)

I = corresponde a intensidade média de precipitação (mm/h);

A = área da bacia em (km²);

D = parâmetro usado para reduzir a área da bacia quando a mesma passar de 1.000 hectares.

➤ Projetos rodoviários é dado por:

$$n = A^{-0,10}$$

“A” é a área da bacia km²;

➤ Projetos para obras urbanas:

$$n = A^{-0,15}$$

Onde: “A” é a área da bacia km²;

2.4 MÉTODOS BASEADOS EM HIDROGRAMAS UNITÁRIOS

2.4.1 Método de Snyder

O Hidrograma de Colorado Urban Hydrograph Procedure (CUHP), é utilizado para bacias superiores 1 km², essa metodologia deve ser usada apenas onde há a existência de dados de precipitação (CETESB, 1979).

A obtenção do tempo de pico é dada pela Equação 24:

Equação 24: Tempo de pico Método de Snyder

$$T_p = 0,752 * C_t * (L * L_{cg})^{0,3}$$

Onde T_p = tempo em horas;

L = comprimento do talvegue em (km);

L_{cg} = distância da seção principal ao ponto do rio mais próximo o centro de gravidade da bacia em km;

C_t = coeficiente adimensional.

Os coeficientes C_t e C_p estão relacionados a porcentagem de impermeabilização da bacia e a sua capacidade de armazenamento respectivamente, dados pela Figura 3

Figura 3: Valores referentes ao C_t e C_p

Taxa de impermeabilização	C_t	C_p
60%	0,25	0,45
40%	0,30	0,50
20%	0,35	0,55

- Subtrair 0,1 em áreas com poucas galerias
- Somar 0,1 em áreas completamente canalizadas
- Subtrair 0,1 em áreas muito planas
- Somar 0,1 em bacias de alta declividade

Fonte: (CETESB, 1979).

- O tempo de duração da precipitação que provoca o Hidrograma, em horas, é calculado pela equação a seguir.

Equação 25: Tempo de duração Método de Snyder

$$D = \frac{T_p}{5,5}$$

Onde o T_p e dado em horas.

- A vazão de pico Q é calculada pela Equação 26:

Equação 26: Vazão de pico Método de Snyder

$$Qp = 2,76 \left(\frac{Cp * A}{Tp} \right)$$

Onde a vazão Qp é dada em m^3/s , A em km^2 .

- O tempo de base é calculado Equação 27:

Equação 27: Tempo de base Método de Snyder

$$Qp = 3 \left(\frac{Tb}{8} \right)$$

Onde “ Tb ” é dado em dia, para T uma precipitação de duração D , em horas, e chuva e l cm de altura.

2.4.2 Método do Soil Concervation Service

O Soil Concervation Service (SCS) é um dos métodos mais utilizados sendo recomendado para bacias com áreas superiores a dois km^2 , é aplicada onde não se dispõem de dados hidrológicos.

A metodologia “SCS” é explicada e bem detalhada por Tucci (2004) que permite estimar o escoamento Superficial causado pela precipitação em qualquer bacia hidrográfica através dos dados de solos e cobertura vegetal, e leva em consideração três condições de umidade anterior a precipitação efetiva ocorrente.

Tabela 11: Condição de Umidade:

Condição de Umidade	
Condição 01	Situação na qual os solos da bacia estão secos, porém não até o ponto de murchamento das plantas. É quando se ara ou se cultiva bem o solo.
Condição 02	Situação média das condições dos solos das bacias que precederam a ocorrência de cheia máxima anual em numerosas bacias.
Condição 03	: Quando choveu muito nos 5 dias anteriores a tormenta, e o solo está quase saturado.

Fonte: SCS, 1957 apud Genovez 2003).

De acordo com as classificações do solo, pode ser determinado o valor da curva (CN) para tanto urbanas como rurais (Tucci 2004). Pois cada solo tem suas características, sendo elas porosidade, índices de vazios, cobertura vegetal, ou qualquer uma alteração antrópica, pois nas

zonas urbanas a taxa de impermeabilização do solo tem uma porcentagem significativas em relação as demais áreas.

Tabela 12: Taxa de infiltração mínima

Taxa de infiltração mínima para solos e suas classes	
Solo A:	Produz baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos profundos com pouco silte e argila;
Solo B:	Menos permeáveis do que o A, solos arenosos menos profundos do que o tempo A e com permeabilidade superior à média;
Solo C:	Que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo;
Solo D:	Contém argilas expansivas e pouco profundas com muita baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: SCS, 1957 apud Genovez 2003).

O grupo de solo poderá ser verificado através da tabela a seguir utiliza as características dos solos para se avaliar a infiltração no solo (SCS, 1957 apud Genovez 2003).

Tabela 13: Valores da taxa de infiltração mínima usadas na identificação do grupo hidrológico do solo.

Grupo	Taxa de Infiltração mínima (mm/h)
A	7,6 - 11,4
B	3,8 - 7,6
C	1,3 - 3,8
D	0 - 1,3

Fonte: McCuen, 1982 apud Genovez 2003.

2.4.3 Método do Hidrograma Unitário

A precipitação efetiva é a parcela da precipitação ocorrente que se transforma em escoamento superficial, pois a outra parte da precipitação será transformada em evapotranspiração ou irá infiltrar no solo.

Conforme Paz (2004), [...] “o papel hidrológico da BH é o de transformar uma entrada de volume de água concentrada no tempo – a precipitação – em uma saída de água mais distribuída no tempo – a vazão –. Isso é o que se chama de transformação chuva-vazão”.

Portanto a precipitação que será transformada em escoamento superficial é de fundamental importância para os estudos hidrológicos aplicados a obras de construção civil, a área da BH tendo sido alterada constantemente, e na maioria das vezes nas APP, e esse dado vem se alterando constantemente pois a população tem crescido de forma desordenada e exponencial, e por muitas vezes essas áreas onde tem sido desmatada tem ganha características impermeáveis, e quanto maior o CN-SCS maior vai ser as vazões.

O método do Hidrograma unitário é uma dos mais simples e usual, segundo o DNIT (2005). O MHTU considera que o escoamento unitário é função da precipitação antecedente, impermeabilidade do solo, cobertura vegetal, uso da terra e prática de manejo do solo, agrupando todos estes fatos em um só coeficiente (grupo de curvas CN). Portanto é calculado a vazão de pico ($m^3/s/mm$), que é a máxima vazão ocorrente na bacia para 1 mm de precipitação.

- t = tempo unitário de duração de chuva, em função de T_c , sendo expresso em horas;
- t_p = Tempo de pico. É o tempo em que decorre uma máxima de cheia na bacia considerada, sendo também expresso em horas;

Equação 28: Tempo de Pico Método MHTU

$$t_p = t/2 + 0,6 t_c$$

- t_r = Tempo de descida ou retomo. É o tempo decorrente até a normalização da descarga da bacia considerada após a precipitação. É fornecido em horas;

Equação 29: Tempo de retorno Método MHTU

$$t_r = 1,67 t_p$$

- t_b = Tempo base. É o tempo medido entre o início e o final da precipitação, enquanto a bacia volta a ter a sua descarga normal, sendo obtido em horas;

Equação 30: Tempo de base Método MHTU

$$t_b = 2,67 t_p$$

- Q_p = Descarga de pico unitária para uma Precipitação efetiva (P_e) igual a 1 cm de altura ocorrida no tempo unitário t , fornecido em $m^3/s.mm$.

Equação 31: Vazão de pico Método MHTU

$$Q_p = 0,208 A / t_p$$

Onde “ T_p ” é tempo de pico, e “ A ” é a área da bacia drenada.

Como já citado anteriormente a vazão de pico calculado no Hidrograma unitário e para cada mm de precipitação ocorrente na bacia hidrográfica, portanto, para se ter a vazão real de uma precipitação excedente em uma bacia faz se necessária calcular o princípio da proporcionalidade e superposição dos Hidrogramas de cada precipitação individual, ou seja, para aplicar o método do Hidrograma unitário, faz-se o que se chama de convolução, (PAZ, 2005).

A partir da convolução calculada obtém se os valores de HU que multiplicado pela precipitação real ocorrente na bacia hidrográfica tem como se determinar o Hidrograma afluente que é vazão real escoada no exutório m^3/s .

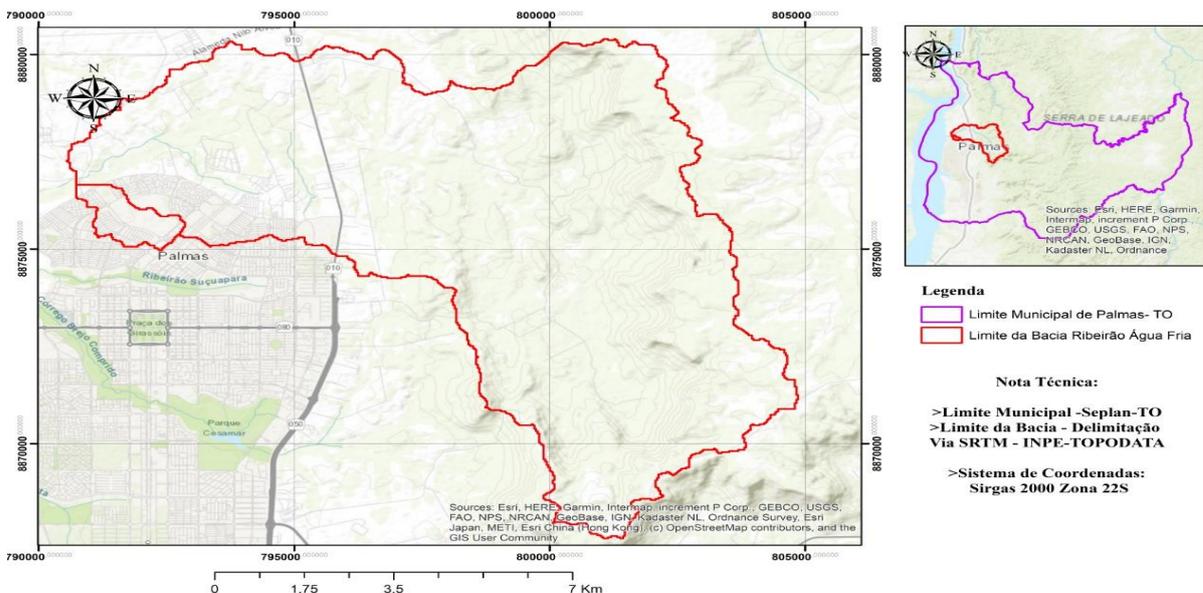
3. METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica escolhida para a criação do modelo é a BH do Ribeirão Água Fria, localizada no município de Palmas, Estado do Tocantins, Brasil. Esta bacia foi escolhida por ser uma bacia com uma parte urbanizada e não urbanizada, e cujo exutório é de fácil localização e acesso dentro da cidade, permitindo eventuais medições e monitoramento, para verificação dos métodos adotados a fim de compor a modelagem.

3.1 LOCALIZAÇÃO E DIMENSÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Ribeirão Água Fria - BHAF está localizada no quadrante S10°07'02" a S10°13'59" de latitude Sul e de W48°21'17" a W48°13'00" de longitude Oeste, no município de Palmas, capital do Estado do Tocantins, possui uma área de aproximadamente 90,17 km² possuindo 22,53 km no sentido leste oeste e engloba grande parte de Palmas, possui um comprimento axial de 14,91 km, tendo a sua nascente em uma área de preservação permanente. Existe um ponto de captação de água e outro ponto onde é lançado os efluentes da estação de tratamento de esgoto.

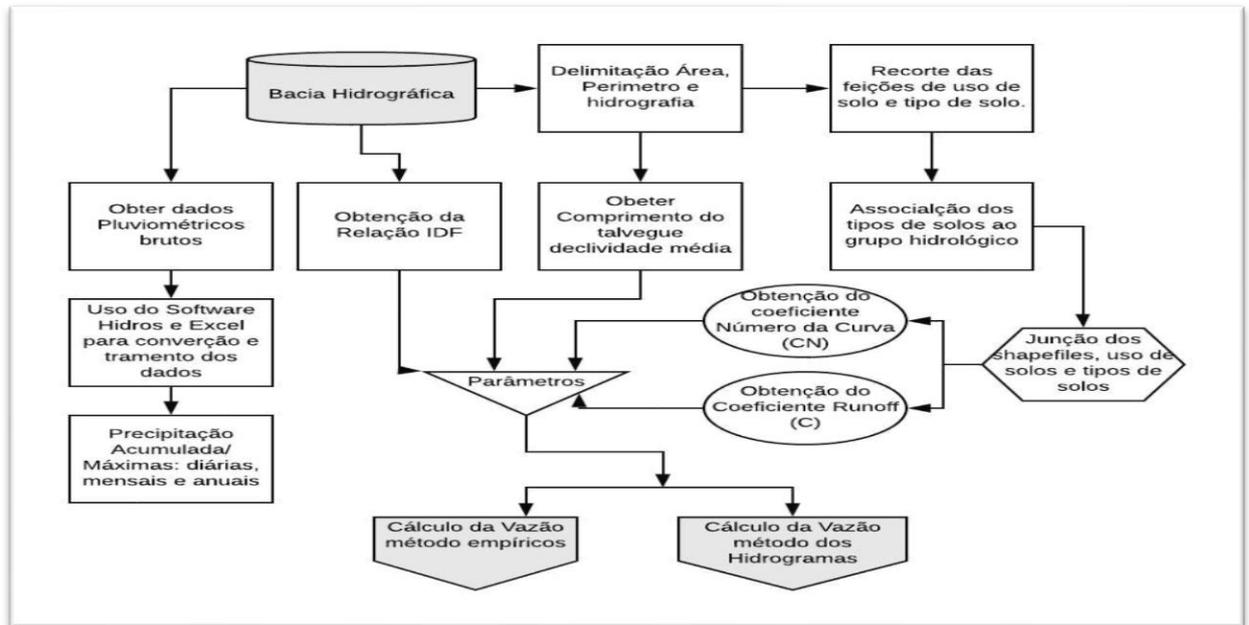
Figura 4: Localização da BHAF, Município de Palmas



Fonte: Autor (2019)

(O fluxograma a seguir demonstra o passo a passo usado para metodologia aplicada)

Figura 5: Fluxograma passo a passo



Fonte: Autor (2019)

3.2 SELEÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos foram extraídos do Agência Nacional das Águas (ANA).

1º Passo: Baixar os dados pluviométricos no formato Excel;

2º Passo: Instalar programa Hidro 1.3;

3º Passo: Importar os dados do Hidro 1.3 e exportar para o Excel no formato xlsx.

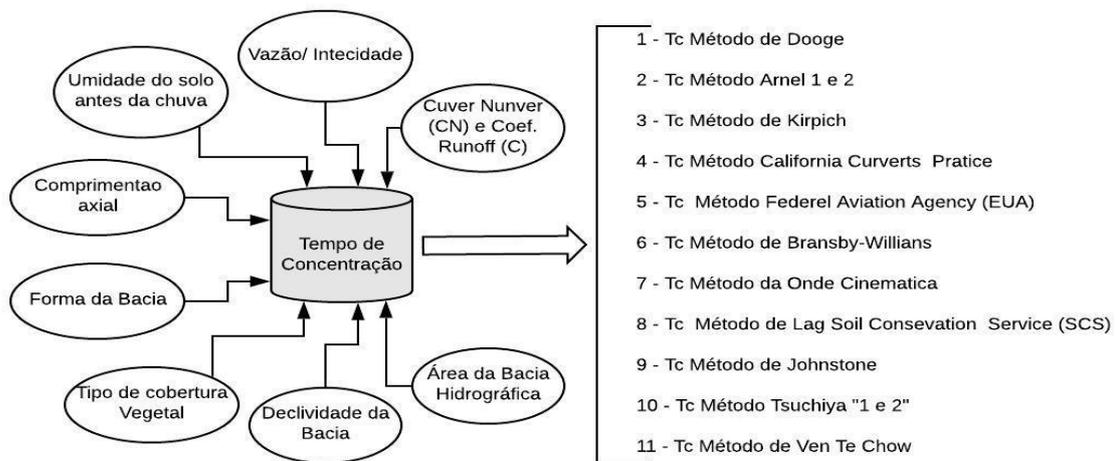
3.3 DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA E O MAPA DE DECLIVIDADE

Para a delimitação da Bacia Hidrográfica e o mapa de declividade foi utilizando o arquivo de shap que tem disponível na Prefeitura de Palmas, para verificar o divisor de águas e determinar a BH, é a porção de determinada área que contribui diretamente com toda a precipitação que é transformada em escoamento superficial. Para o mapa de Hipsômetrico foi utilizado o arquivo vetorial para se extrair a declividade em m/m.

3.4 CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração é uma variável fundamental para se estimar as vazões, para se verificar qual metodologia que melhor representa as características da bacia hidrográfica foram calculados por diversos modelos de equações como citado no Referencial Teórico no Item 2.2.

Figura 6: Fluxograma Tempo de Concentração

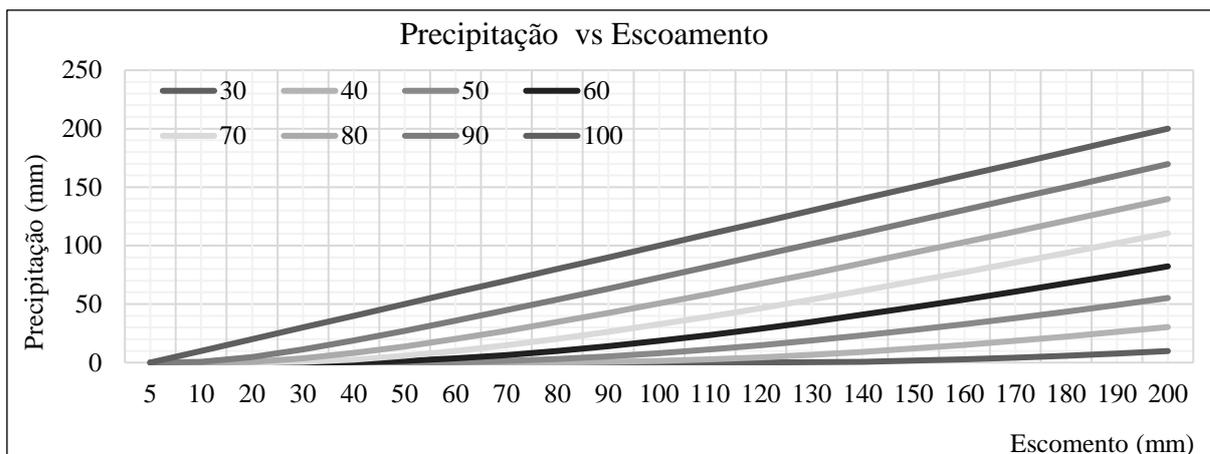


Fonte: Autor (2019)

3.5 OBETENÇÃO DO CN-SCS E O COEFICIENTE DE RUNOFF

Conforme McCuen [...] “O Número da Curva (CN) é um índice que representa a combinação empírica de três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e condições de umidade antecedente do solo (apud Plinio, 2011)”, esse coeficiente é de suma importância pois a partir dele é possível saber através das equações qual foi a parcela da precipitação que se transformou em escoamento superficial, o Gráfico 1 demonstra a correlação do coeficiente com o volume escoado, onde pode ser perceber que quanto maior for o valor do CN maior será o escoamento.

Gráfico 1: Gráfico CN



Fonte: Autor (2019)

Para se estimar o coeficiente do modelo da metodologia SCS é necessário utilizar os critérios recomendados por Tucci (1995). Mais para o presente trabalho foram adotados os coeficientes já calculados pela Prefeitura Municipal de Palmas, que se encontra no Anexo III ao decreto N° 700, de 15 de janeiro de 2014 sendo ele o *Plano Municipal de Saneamento Básico De Palmas – TO*. Esse estudo foi levantado devido ao crescimento acelerado da urbanização que teve nas últimas décadas, pois com esse crescimento aumentou-se a porcentagem de impermeabilização e ocupação inadequada ao longo dos corpos hídricos. A Tabela 14 traz todos os parâmetros necessários para a elaboração do presente trabalho.

Tabela 14: Dados Referente ao Município de Palmas

Bacias Hidrográficas	Á. (km ²)	Per. (km)	L. (km)	i (m/m)	(CN)	Runoff
Ribeirão Água Fria	90,17	48,21	22,53	0,02	62,83	0,43
<i>Córrego brejo Comprido</i>	46,08	32,83	13,9	0,007	68,85	0,61
<i>Córrego suçupara</i>	12,79	17,81	4,4	0,027	74,33	0,78
<i>Córrego Prata</i>	17,77	17,26	3,73	0,005	69,66	0,82
<i>Córrego Taquaruçu grande</i>	458,16	115,26	36,99	0,013	62,24	0,43
<i>Córrego Machado</i>	11,14	15,34	6,19	0,01	81,07	0,81
<i>Córrego Taquari</i>	35,72	26,31	12,1	0,015	63,79	0,49
<i>Córrego Cipó</i>	23,13		8,14	0,03	70,7	0,79
<i>Córrego Pé do Morro</i>	7,5		5,7	0,022	70,14	0,79

Fonte: Jurídicos (2019)

Com o valor do Número da Curva (CN) foi possível estimar o valor de S (retenção parcial do solo), a partir da equação descrita na referencial teórico, com esses parâmetros calculados foi possível se determinar a precipitação excedente, ou seja, a parcela da precipitação ocorrente que se transforma em escoamento superficial.

Mediante as características da bacia hidrográfica, bem como área, comprimento do talvegue e sua declividade, foram estimados os tempos de concentração como descrito no referencial teórico, serão analisados qual se adequa melhor a bacia de estudo. De acordo com o valor de Tc que melhor se adequa a BH foi possível avaliar o as vazões ocorrentes no exutório, os valores que representa o HU, sendo eles o tempo de ascensão, o tempo de recessão a vazão de pico.

3.6 IDF - RELAÇÃO DA “FEQUÊNCIA-DURAÇÃO-INTENSIDADE”

A curva IDF relaciona a intensidade-duração-frequência da chuva para ter dados mais preciso, visto que a poucos lugares que possuem estações com aparelhos pluviógrafos tais com a capacidade de medir a intensidade da chuva. A partir do software Plúvio 2.1 disponibilizados pela GPRH.

1º Passo: Instalar o Plúvio 2.1

2º Passo: Extrair os dados das constantes: $K - a - b - c$.

3º Passo: Substituir os dados

Equação 32: IDF "Intensidade-Duração-Frequência

$$I = K * TR^a / ((td + b)^d)$$

4º Passo: Obtém-se a equação geral de Palmas;

3.7 PRECIPITAÇÃO

É de fundamental importância o estudo das precipitações, pois a partir delas tem como se obter dados relevantes e indispensáveis para quaisquer obras que envolva e a engenharia, que vai desde um pavimento asfáltico, microdrenagem e macrodrenagem, construções de contenções e barragens.

A precipitação é entendida em hidrologia como quaisquer partículas provenientes do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. A diferença entre essas precipitações é o estado em que a água se encontra (BERTONI & TUCCI, 1993).

A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é um fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o fornecimento de água doméstico e industrial. A estimativa da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e da erosão do solo. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (BERTONI & TUCCI, 1993).

Partindo deste princípio foi determinado as precipitações acumuladas diárias, mensais, e anuais, assim, portanto tendo como se estimar o volume de chuva que aconteceu durante esse período.

3.8 TEMPOS DE RETORNO

Com as precipitações obtidas tem foi determinada a frequência, ou seja, o tempo o tempo de retorno de cada precipitação que aconteceu. Reorganizando as vazões máximas para uma ordem decrescente, podemos atribuir uma probabilidade de incidência empírica a cada uma das precipitações máximas da série, utilizando a fórmula de Weibull:

Onde:

Dados

Probabilidade

P – Frequência

m – Ordem da precipitação

$$P = \frac{m}{N + 1}$$

N – Tamanho da amostra

Dados	Tempo de Retorno
TR – Tempo de retorno	$TR = \frac{1}{P}$
1º Passo: Obter os dados pluviométricos;	
2º Passo: Ordenar do menor para o maior e enumerar em ordem crescente;	
3º Passo: Calcular a probabilidade de ocorrência;	
4º Passo: Calcular o tempo de Retorno;	

3.9 FREQUÊNCIA COM INTERVALO DE CLASSES

1º Passo: Obter os valores de mínimo e máximo das precipitações e quantificar o tamanho da amostra.

2º Passo: Calcular a média aritmética.

$$X = \frac{\sum xi}{N}$$

Onde:

X – Média aritmética, Xi – somatório das amostras, N – números das amostras;

3º Passo: Calcular o Desvio Padrão

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{(n - 1)}}$$

Onde: n – número de amostras, X- média aritmética e o Xi o valor da amostra;

4º Passo: Calcular a amplitude total “AT”

$$AT = Vmáx - Vmin$$

5º Passo: Determinar o número de classe da tabela “K”

Critérios:

- Se $N \leq 25$ elementos, o $K = 5$ classes;
- Se $N > 25$ elementos, $k = \sqrt{n}$, modelo de STURBE

$$K = 1 + 3,3 \text{Log} (30)$$

6º Passo: Determinar a amplitude das sequências “AC”:

$$AC = \frac{AT}{K}$$

OBS “Se for preciso aproximar o valor de AC, estar deverá ser feita para o sucessor”

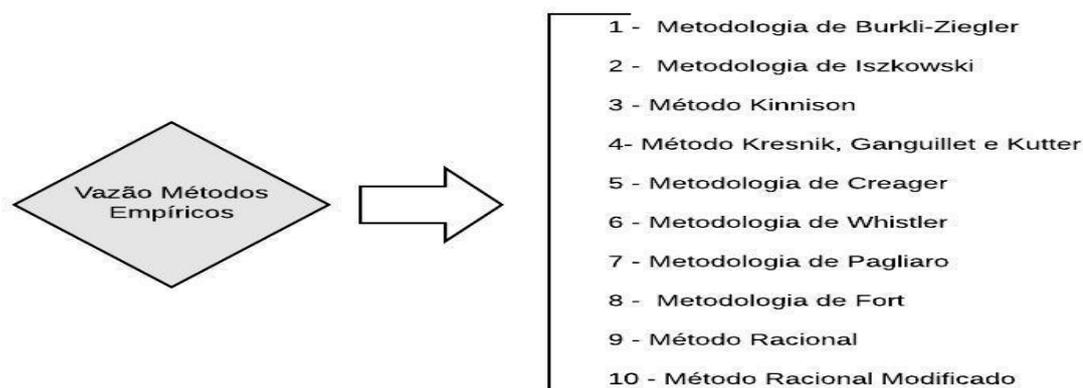
3.10 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES PELO MÉTODO EMPÍRICO

Para as estimativas de vazões para os métodos empíricos que são aqueles que foram estimados através de cálculos, sem levar em consideração dados de probabilidades e estatísticos, levando em consideração os as características das BH.

3.10.1 Cálculo das vazões

Portanto para estimativas de vazões foi usado a metodologia já citado no Referencial teórico, para os seguintes métodos:

Figura 7: Fluxograma Métodos Empíricos



Fonte: Autor (2019)

3.10.2 Método Racional e Modificado

Para se estimar as vazões pelo método racional e o modificado foi estimado o coeficiente de Runoff como já citado no item Referencial Teórico que diz que o Coeficiente de Runoff “C” e definido a partir do tipo de solo. O Coeficiente (C) tem que estar relacionado diretamente com o período de retorno, para terá o uso de uma tabela que traz os fatores de correção, assim, portanto encontrará novos valores de C para ter uma maior precisão nas vazões a serem calculadas.

Portanto as vazões foram calculadas correlacionando a intensidade pluviométrica o coeficiente de deflúvio “C” e a área da bacia hidrográfica.

3.11 CÁLCULO DA VAZÃO PELO MÉTODO HIDRAGRAMAS

3.11.1 Cálculo da vazão pelo método Snyder

Com metodologia desenvolvida por Snyder tem como se estimar os dados das vazões ocorrente em quaisquer bacias, desde que respeitando a limitações imposta pela equação, portanto através da metodologia já citada no item 2.4.2, foi calculado o Hidrograma Unitário adotado por Snyder e a convolução que foi estimado a vazão final no exutório.

3.11.2 Cálculo da vazão pelo método HU Hidrograma Unitário

Como já citado no referencial teórico o cálculo do HU é bastante utilizado devido a sua menor complexibilidade na hora dos cálculos, segundo o DNIT (2005) [...]; “O Método do Hidrograma ou do Hidrógrafo Triangular Unitário (MHTU) foi desenvolvido pelo "U.S SOIL CONSERVATION SERVICE" para o cálculo das descargas do pico das grandes bacias até o limite de 2.500 km² de área drenada”.

A precipitação efetiva é uma pequena parte ou fração da precipitação ocorrente na bacia hidrográfica que irá gerar um escoamento superficial, portando o Hidrograma unitário por sua vez determina a vazão de pico “ Q_p -m³/s/mm”. Contudo essa vazão é apenas para cada mm de chuva que ocorre na bacia, e assim, portanto, faz se necessário estimar a vazão que irá escoar no exutório.

Para determinar o Hidrograma afluente, ou seja, para se estimar a vazão que irá escoar no exutório tem que calcular a convolução, assim estimando a vazão real m³/s. Essa vazão está ligada diretamente ao coeficiente CN, quanto maior for o seu valor, maior será a vazão, portanto a vazão pode ser alterada ao longo dos anos quando ocorrem um crescimento populacional desordenado ocupando as áreas de preservação permanente, essa alteração consiste na adequação do meio, ou seja, onde havia a existência de áreas permeáveis é alterada por ambientes praticamente impermeáveis, que pode ser calçadas, ruas com pavimentação, o locais onde existe concreto ou algo similar.

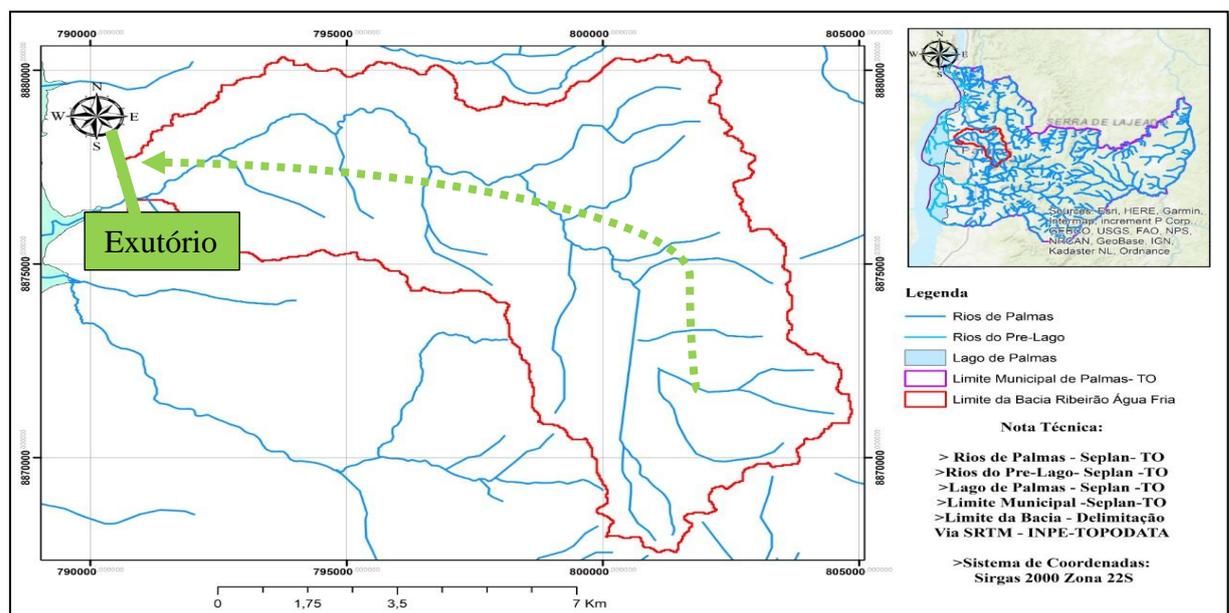
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPEAMENTO

4.1.1 Mapa da rede de hidrografia

O Mapa de hidrografia é a representação dos corpos hídricos que tem em uma Bacia Hidrográfica, A Figura 8 representa graficamente a hidrografia dos percursos dos canais dos corpos hídricos, onde o exutório é o ponto mais baixo de uma bacia hidrográfica, portanto é para onde irá convergir todo o escoamento.

Figura 8: Mapa da Rede de Hidrografia

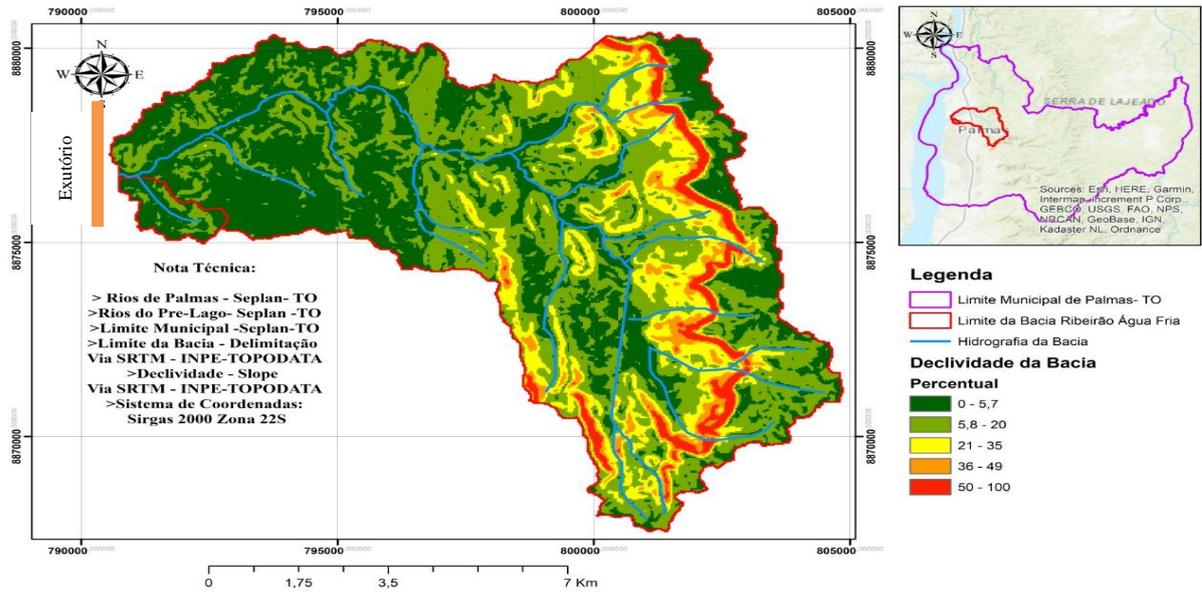


Fonte: Autor (2019)

4.1.2 Mapa de Hipsométrico

A Figura 9 representa o relevo da bacia hidrográfica, e através das curvas de níveis associadas com as cores cujo o vermelho representa as partes mais altas e o verde escuro representa os locais mais baixos, e esses valores, por sua vez, estão representados através de percentuais.

Figura 9: Mapa de Declividade

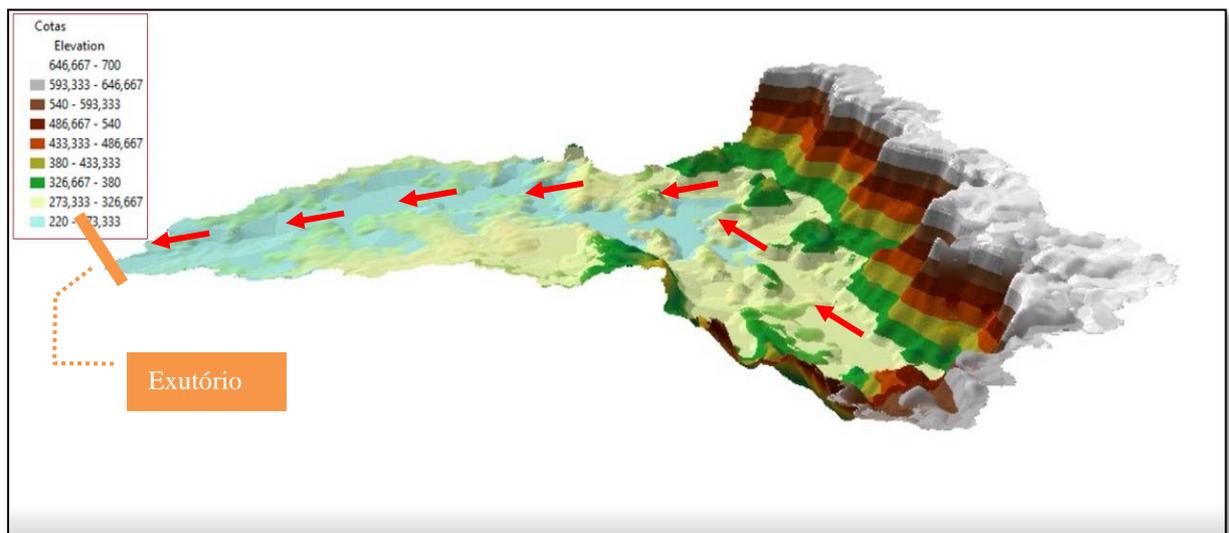


Fonte: Autor (2019)

4.1.3 Mapa 3D da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria

A Figura 10 é a representação em escala da Bacia Hidrográfica em 3D, através dela é possível visualizar o divisor de água geográfico sendo ele as partes mais altas, e a parte mais baixa o exutório, local para onde se converge toda a precipitação efetiva, denominada de “escoamento superficial”.

Figura 10: Mapa 3D



Fonte: Autor (2019)

4.2 CÁLCULO DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

A Tabela 15 apresenta os resultados do tempo de concentração onde são apresentados os valores em horas e em minutos, e através do Gráfico 2 tem como observar melhor os resultados apresentados, tendo valores que variam entre 0,10 horas até 8,79 horas. Essa variação é diretamente proporcional aos modelos matemáticos e suas restrições quanto ao tamanho da bacia hidrográfica, comprimento do talvegue, bem como a localização da bacia, se é em zona rural e urbana.

Tabela 15: Tempo de concentrações

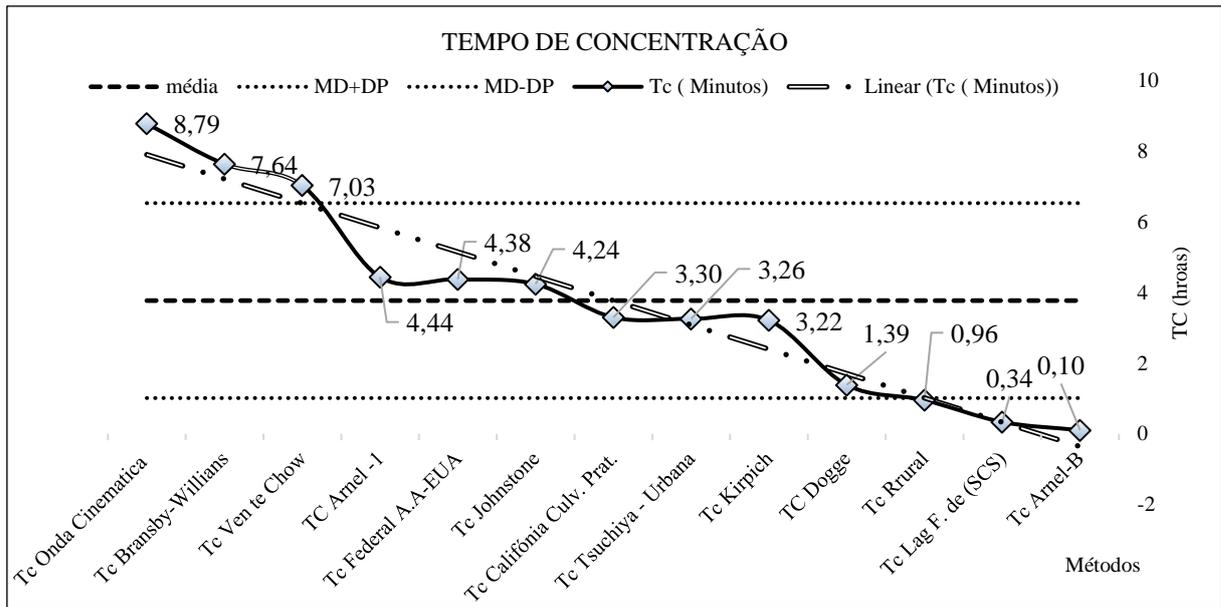
	Tempo de Concentração (Tc)	Tc (Minutos)	Tc (Horas)
8	Tc Onda Cinemática	527,27	8,79
7	Tc Bransby-Willians	458,57	7,64
13	Tc Ven te Chow	421,83	7,03
2	TC Arnel -1	266,46	4,44
6	Tc Federal A.A-EUA	262,85	4,38
10	Tc Johnstone	254,58	4,24
5	Tc Califórnia Culv. Prat.	197,97	3,30
11	Tc Tsuchiya – Urbana	195,53	3,26
4	Tc Kirpich	193,00	3,22
1	TC Dogge	83,26	1,39
12	Tc Rural	57,35	0,96
9	Tc Lag F. de (SCS)	20,21	0,34
3	Tc Arnel-B	6,26	0,10

Fonte: Autor (2019)

Para a escolha do resultado que melhor representa a bacia hidrográfica do Água Fria, foram levados em considerações algumas das suas características, bem como:

- Tipo de Bacia; se é localizada em zona Rural ou Urbana;
- O tamanho da Bacia Hidrográfica foi levado em consideração, pois alguns métodos restringe o seu uso como indicado na Tabela 2, pois a metodologia adota e as características da bacia influenciam de forma a superdimensionar o escoamento superficial.
- O método que mais se aproximou na representação da bacia hidrográfica foi a metodologia de tempo de concentração Johnstone. Através do Gráfico 2 pode notar que ele é o valor que mais se aproxima do valor das médias e que leva em consideração as características da bacia.

Gráfico 2 - Tempo de Concentração



Fonte: Autor (2019)

4.3 RELAÇÃO IDF

A Figura 11 traz os parâmetros necessários para compor a equação da relação do IDF, onde é possível estimar as chuvas mais intensas, de forma a dimensionar projetos com maior eficácia e segurança.

Figura 11: Parâmetros da equação IDF



Fonte: Plúvio 2.1 (2019)

Com os parâmetros fornecido pelo Plúvio 2.1 foi possível compor a equação IDF geral a seguir, e a Tabela 16 traz os valores da respectiva equação de Intensidade Duração e Frequência. Alguns dados foram adotados para chegar aos resultados, tais como:

- Os tempos de retorno adotados foram de 2, 5, 10, 15, 20, 50, 100 e 500 anos;
- A variação da duração da chuva foi adotada de 10 em 10 minutos;
- Com esses valores é possível identificar que quanto menor o tempo de duração de chuva mais intensa ela tende a ser;
- E quanto maior o tempo de retorno maior será a intensidade, logo conclui-se que são grandezas inversamente proporcionais

$$i = 5.958,922 * TR^{0,173} / ((td + 35,301)^{1,043})$$

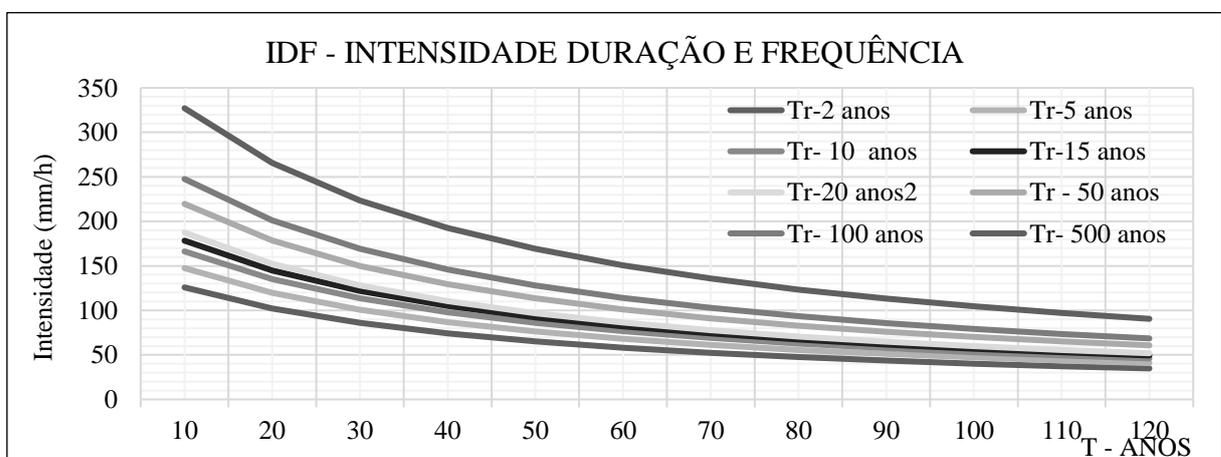
Tabela 16: Relação IDF

Min/ano	Tr-2 anos	Tr-5 anos	Tr - 10 anos	Tr -15 anos	Tr -20 anos2	Tr - 50 anos	Tr - 100 anos	Tr - 500 anos
10	125,87	147,49	166,28	178,37	187,47	219,67	247,66	327,17
20	102,23	119,79	135,05	144,86	152,26	178,41	201,14	265,72
30	85,96	100,72	113,56	121,81	128,02	150,01	169,12	223,42
40	74,09	86,81	97,87	104,99	110,34	129,30	145,77	192,57
50	65,05	76,23	85,94	92,18	96,89	113,53	127,99	169,08
60	57,95	67,90	76,55	82,12	86,31	101,13	114,02	150,62
70	52,22	61,19	68,99	74,00	77,78	91,14	102,75	135,74
80	47,51	55,67	62,76	67,32	70,75	82,91	93,47	123,48
90	43,56	51,04	57,54	61,73	64,88	76,02	85,70	113,22
100	40,21	47,11	53,12	56,98	59,88	70,17	79,11	104,51
110	37,32	43,74	49,31	52,89	55,59	65,14	73,44	97,02
120	34,82	40,80	46,00	49,34	51,86	60,77	68,51	90,51

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 3 demonstra os resultados da relação da Intensidade-Duração-Frequência das precipitações, o que pode ser notado nitidamente e que as intensidades das chuvas tendem a crescer de acordo com o menor tempo da chuva e o tempo de retorno

Gráfico 3: Gráfico IDF

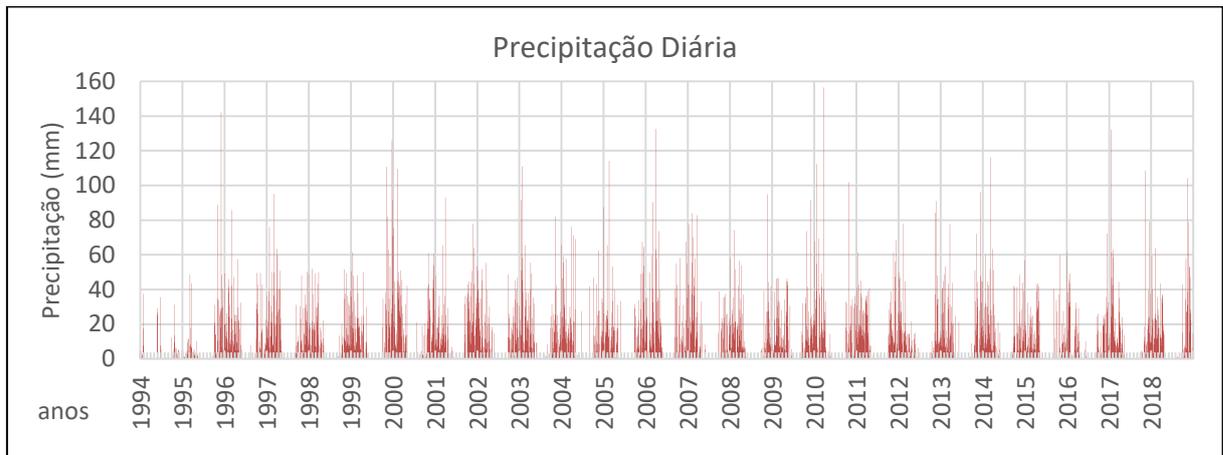


Fonte: Autor (2019)

4.4 PRECIPITAÇÃO

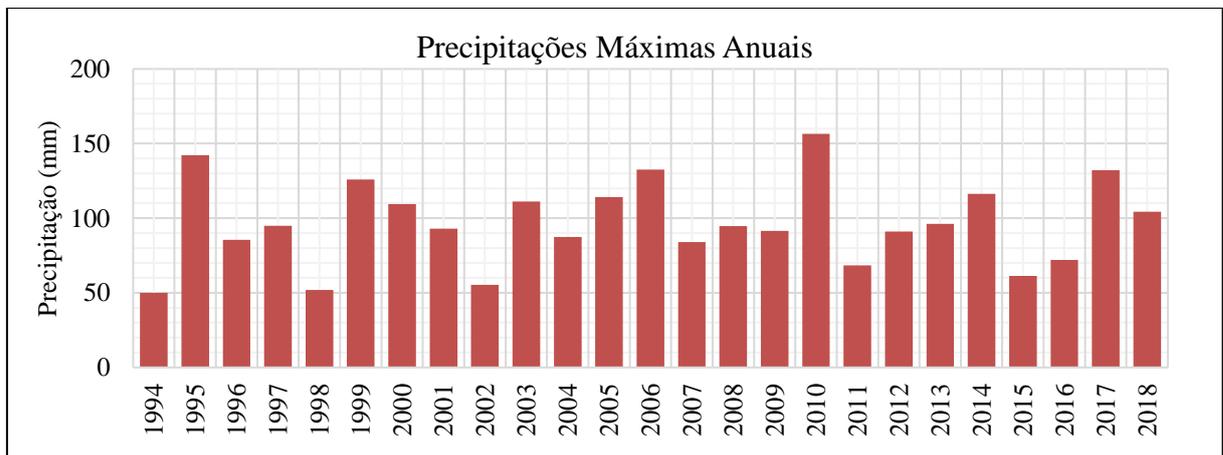
Os gráficos a seguir trazem resultados das precipitações ocorridas durante 25 anos em Palmas, e esses valores foram obtidos na estação PALMAS - TO (OMM: 83033), localizada na **latitude -10°19"**, **longitude -48°30"** e **altitude de 280 metros**, e foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Gráfico 4: Precipitação Diária



Fonte: Autor (2019)

Gráfico 5: Gráfico de Precipitação Máximas

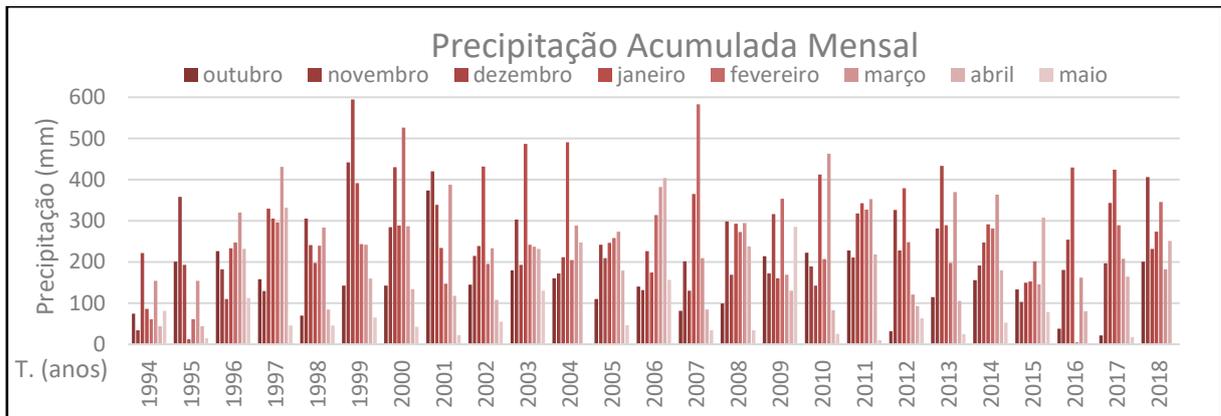


Fonte: Autor (2019)

- O Gráfico 4 traz resultados das precipitações diárias acontecidas durante 25 anos. A partir do gráfico percebe-se que há muitas chuvas com lâminas que se encontram entre 20 e 40 mm de água;

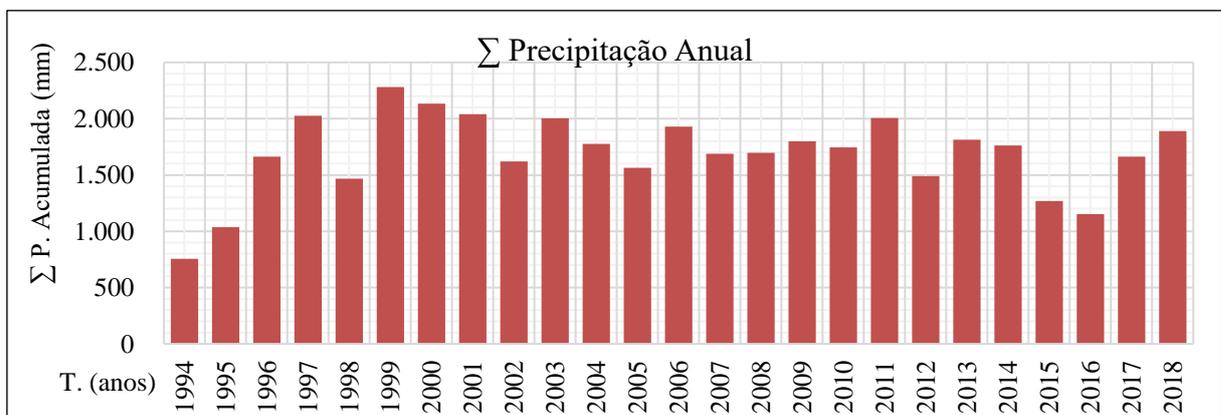
- No Gráfico 4 é possível verificar também os eventos extremos, onde aconteceu precipitações acima da média, sendo possível verificar as maiores precipitações, sendo elas:
 - 1 – Ano de 2010/156,50 mm;
 - 2 – Ano de 1995/142,20 mm;
 - 3 – Ano de 2016/132,50 mm;
 - 4 – Ano de 1999/126,00 mm;
 - 5 – Ano de 2014/116,00 mm;
 - 6 – Ano de 2005/114,10 mm.
- No Gráfico 5 pode ser observado de forma mais visível os valores de precipitações máximas e mínimas acontecidas durante um período de 25 anos;
- O Gráfico 5 apresenta as precipitações máximas ocorridas, onde elas tendem a ocasionar alagamentos em todo perímetro urbano, esses valores ajudam no dimensionamento e construções como barragens, galerias, canais e bacia de detenção.

Gráfico 6: Precipitação acumulada mensal



Fonte: Autor (2019)

Gráfico 7: Precipitação Acumulada Anual



Fonte: Autor (2019)

Todas as precipitações tendem a trazer inundações em maiores escalas, de forma a gerar prejuízos financeiros e culturais quando não existirem locais para onde esse excesso de volume seja escoado.

- Os Gráficos 6 e 7 trazem valores de precipitações acumuladas tanto mensal como anual, e a partir desses resultados é possível verificar o volume que precipitou na bacia hidrográfica, bem como os anos que tiveram maior volume de precipitação excedente, de forma a saber qual o volume escoado, e assim, auxilia no dimensionamento dos projetos de drenagem.

4.5 FREQUÊNCIA

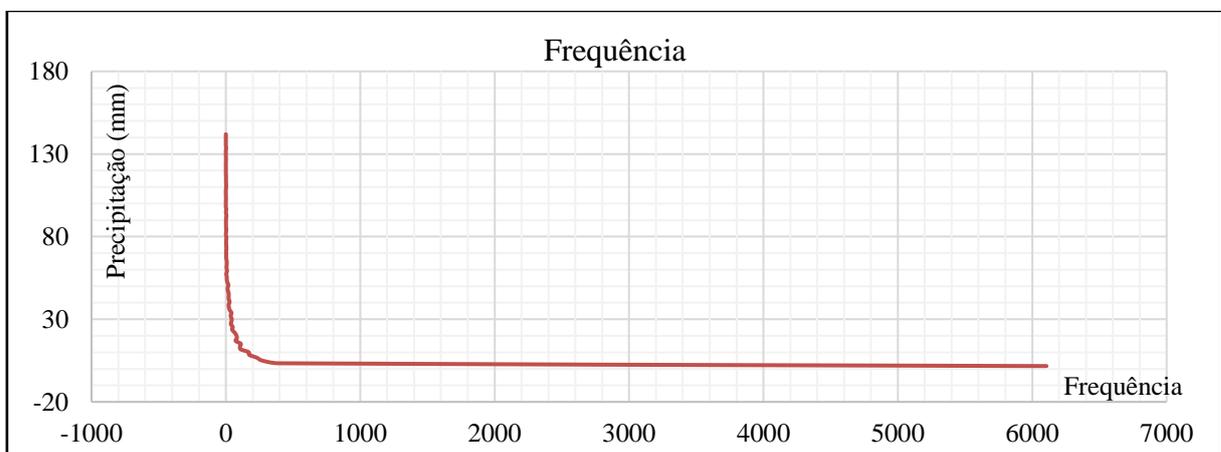
A Partir do Gráfico 8 pode ser observada a frequência das precipitações, ou seja, a quantidade de vezes que o mesmo evento pode se repetir, isso dado a uma amplitude de classe, desvio padrão, valores máximos e mínimos, como apresentados na Tabela 17 a seguir.

Tabela 17: Frequência

Valores	Dados
Mínimo	0,00
Máximo	156,50
Média Aritmética	4,86
Tamanho (n)	8.951,00
K	94,61
K arredondado	94,60
Ac	1,65
S -desvio Padrão	12,03

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 8: Frequência das precipitações



Fonte: Autor (2019)

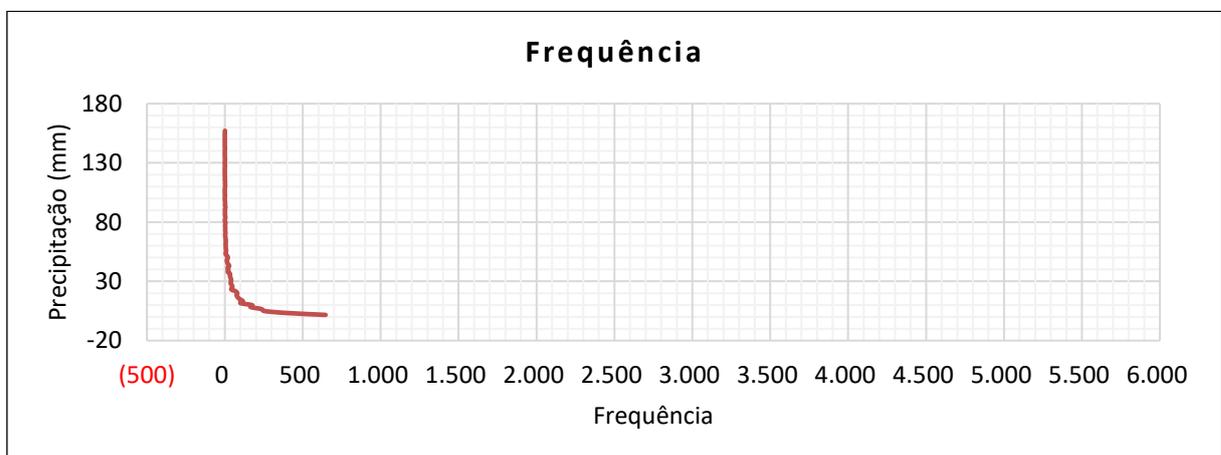
No Gráfico 9 foram desconsiderados os valores de zero, ou seja, os dias que não tiveram precipitação. Foram contabilizados 8.951 dias ao longo de 25 anos e desses, aproximadamente 5.718 dias não tiveram nenhuma precipitação, logo esses valores zero influenciam diretamente nos resultados de frequência, pois os dados de desvio padrão, média e amplitude de classe serão diferentes.

Tabela 18: Frequência

Valores	B
Mínimo	0,10
Máximo	156,50
Média Aritmética	13,45
Tamanho (n)	3.233,00
K	56,86
K arr.	56,80
Ac	2,75
S -desvio. Padrão	12,03

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 9: Frequência



Fonte: Autor (2019)

A Tabela 19 apresenta valores de precipitação e sua respectiva probabilidade de retorno, e através do Gráfico 10 pode-se analisar que as precipitações menores que 2 mm têm a probabilidade de aproximadamente 99% de acontecer. Também pode ser observado que para precipitação de 42 mm tem uma de 50% de ocorrência.

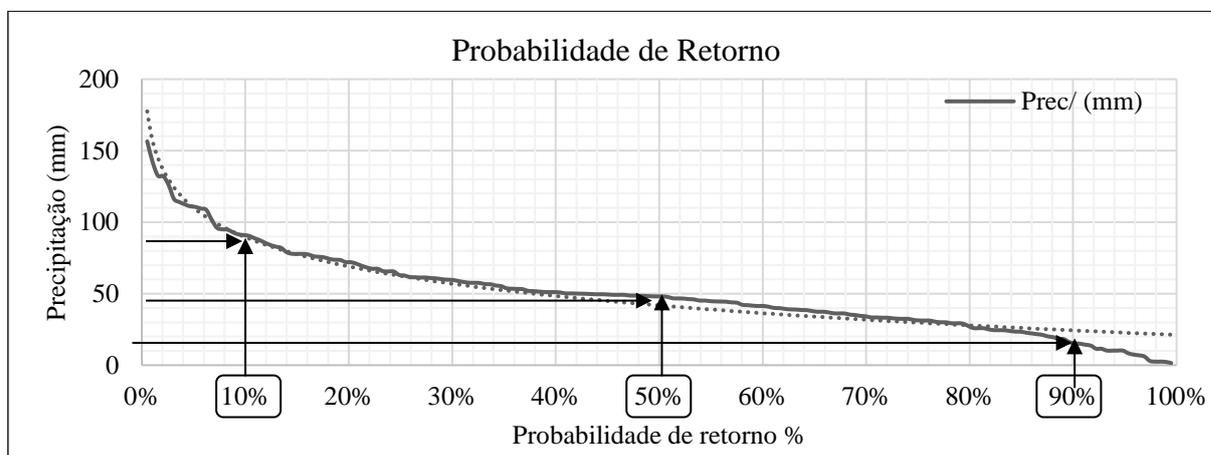
No Gráfico 10 também pode ser observado que para uma probabilidade de 10% de acontecer tem-se uma precipitação média de 84 mm, e que as grandes precipitações, ou seja, acima de 100 mm tem se uma probabilidade de 7% de acontecer em um evento de 8.951 dias. A tabela a seguir traz os valores das probabilidades.

Tabela 19: Probabilidade de precipitação

Data	Probabilidade (%)	Precipitação(mm)
Março, 2010	0,5%	156,50
Fevereiro, 2006	10,4%	90,40
Novembro, 2013	20,0%	72,00
Abril, 1997	30,0%	56,90
Janeiro, 2002	40,0%	51,10
Dezembro, 2012	50,3%	48,10
Outubro, 2014	60,0%	41,40
Abril, 2009	70,0%	30,20
Dezembro, 2007	80,0%	26,00
Outubro, 2016	90,0%	15,30
Janeiro, 1995	99,5%	1,50

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 10: Probabilidade de retorno precipitação



Fonte: Autor (2019)

4.6 CÁLCULO DE VAZÕES

4.6.1 Cálculo das vazões métodos empíricos

A Tabela 20 traz resultados dos métodos de cálculos de vazões de diversas metodologias, onde pode-se observar as variações dos resultados encontrados pelas diversas metodologias abordadas, onde há equações que superdimensionam as vazões devido as restrições que por elas

são aplicadas, e deve ser observado também as variáveis que são incorporadas, pois afeta diretamente aos resultados, tanto por superdimensionar como subdimensionar, podendo levar a erros de projetos, pois as alterações antrópicas feitas na bacia hidrográfica afetam diretamente no comportamento do fluxo dinâmico da bacia.

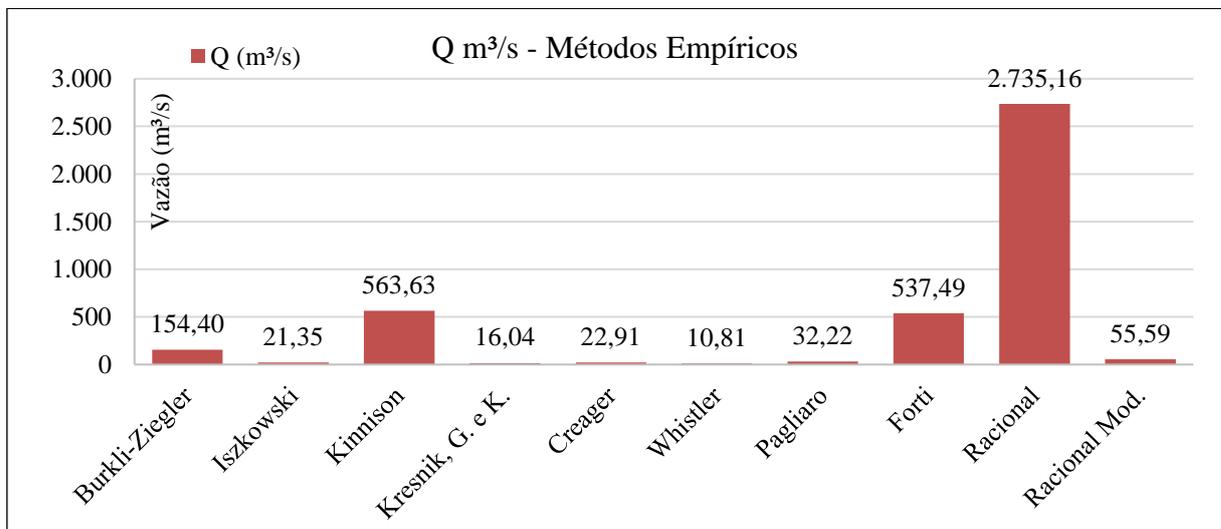
Tabela 20: Métodos Empíricos

Métodos	Q (m ³ /s)
1º Racional	2.735,16
2º Kinnison	563,63
3º Forti	537,49
4º Burkli-Ziegler	154,4
5º Racional Mod.	55,59
6º Pagliaro	32,22
7º Creager	22,91
8º Iszkowski	21,35
9º Kresnik, G. e K.	16,04
10º Whistler	10,81

Fonte: Autor (2019)

No Gráfico 11 é possível verificar que os dados apresentam valores com uma variação muito discrepante quando se trata do método racional, pois este método tem uma limitação, o seu uso só pode aplicado para Bacias Hidrográficas menores que 2,0 km² como regulamentado pelo DNIT, como pode ser observado pela Tabela 7.

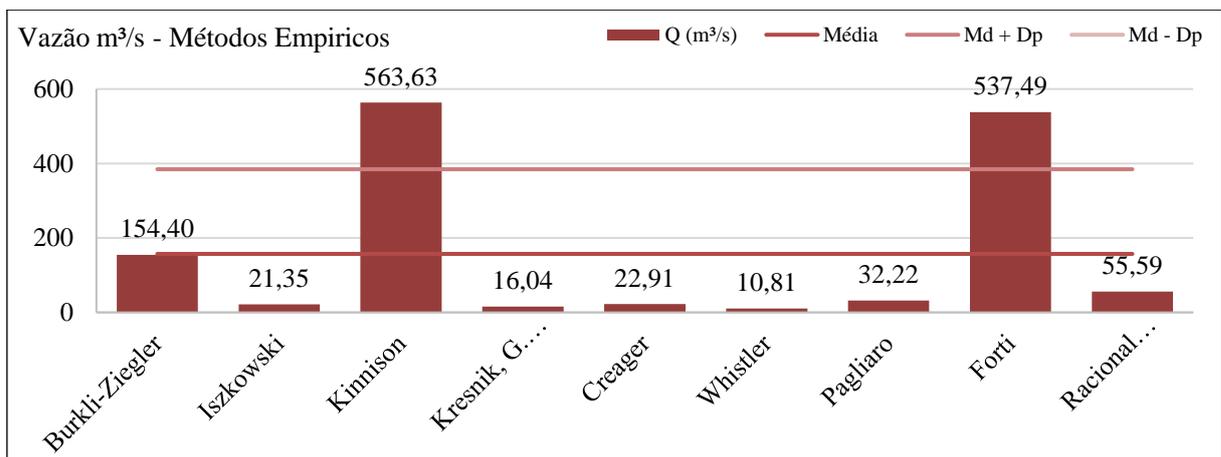
Gráfico 11: Vazões Métodos Empíricos



Fonte: Autor (2019)

- Com os resultados que foram apresentados no Gráfico 11 pode observar que era necessário retirar dos resultados o método racional devido seu valor discrepante influenciar no resultado do desvio padrão.
- Pode se observar ainda que este método tem uma restrição quanto ao seu uso, pois só pode ser aplicado a bacias com área menores do que 2 Km², este método superdimensionou a vazão da bacia em aproximadamente 18 vezes.
- Pela análise do Gráfico 12 observa se qual valor mais se aproxima da média e representa a bacia hidrográfica, sendo ele o método de Burkli-Ziegler, pois leva em consideração as características da bacia hidrográfica, bem como o parâmetro Runoff, a precipitação média durante a chuva crítica, declividade média da bacia e a área da mesma.

Gráfico 12: Vazões Métodos Empíricos



Fonte: Autor (2019)

4.7 CÁLCULO DAS VAZÕES MÉTODOS HIDROGRAMAS

4.7.1 Método de Snyder

Tabela 21: Dados Método de Snyder

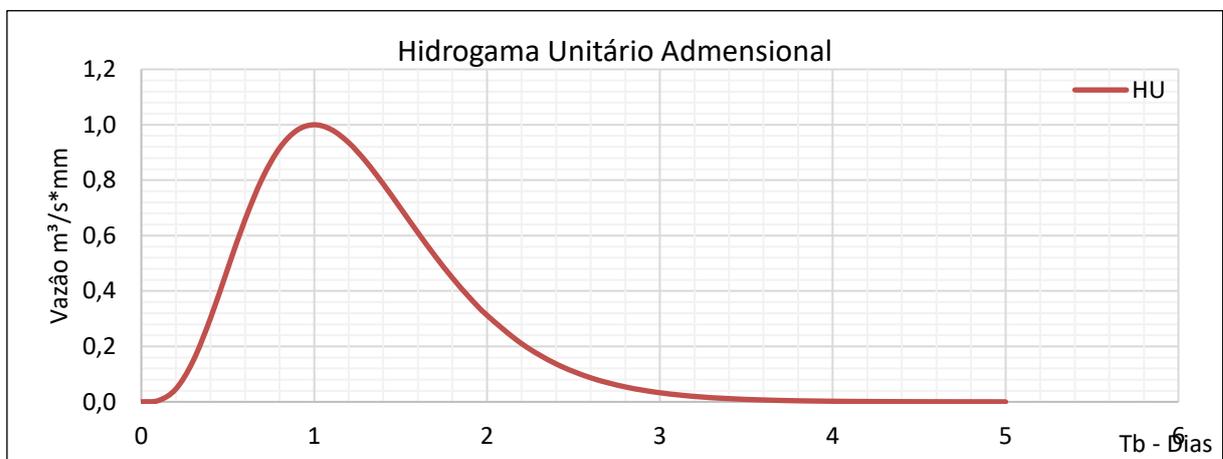
Dados Da Bacia			
A	Área Bacia	90,17	Km ²
L	Extensão	22,53	Km
I	Inclinação	0,02	M/M
Lcg	L. Centro Gravidade	5,00	
Ct	K	0,35	
Cp	K	0,55	
Tpl	Tempo Pico	1,44	Horas
Trl	Tp/5,5	0,26	Horas
Tp	Tp - "Corrigido"	1,63	Horas
Qp	Vazão De Pico	8,375	M ³ /S*mm

W75	Larga De Hu	3,63	Horas
W50	Larga De Hu	6,36	Horas
Tb	Tempo De Base	3,48	Dias

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 13 *Hidrograma Unitário Adimensional Snyder* apresenta resultados que podem ser analisados as vazões $\text{m}^3/\text{s} * 1/\text{mm}$, deve ser observado os resultados com bastante critério pois essa vazão está proporcional a uma precipitação efetiva de 1 mm;

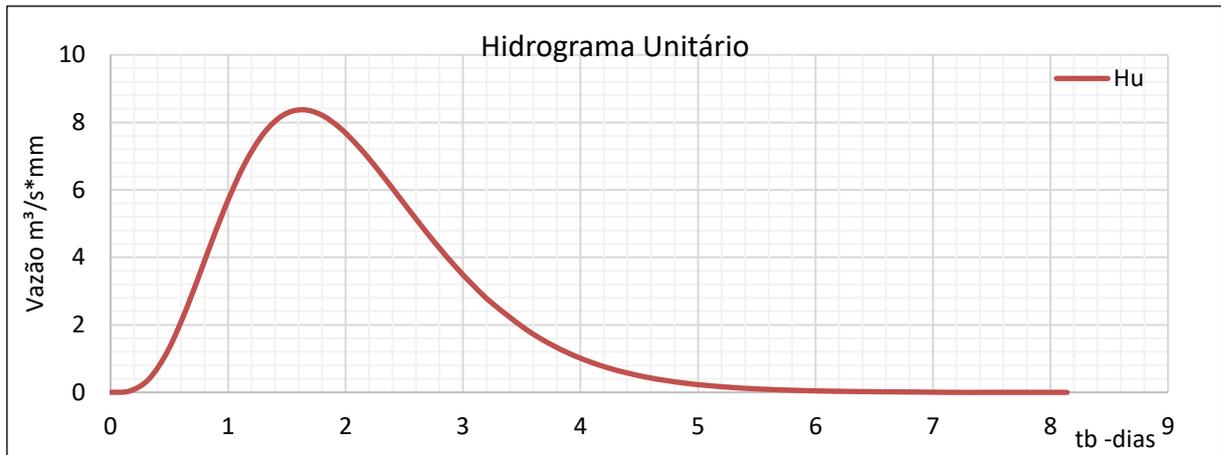
Gráfico 13: Hidrograma Unitário Adimensional Snyder



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 14 apresenta valores já calculados a partir do Hidrograma Adimensional, cujo valores do Hidrograma Unitário Sintético são estimados de forma onde se pode fazer uma proporção com os resultados do tempo de base e da vazão de pico, onde pode ser visto na tabela 17. Vale salientar que o resultado desse gráfico não é a vazão final do exutório, pois ela ainda considera a precipitação que ocorreu de apenas 1 mm.

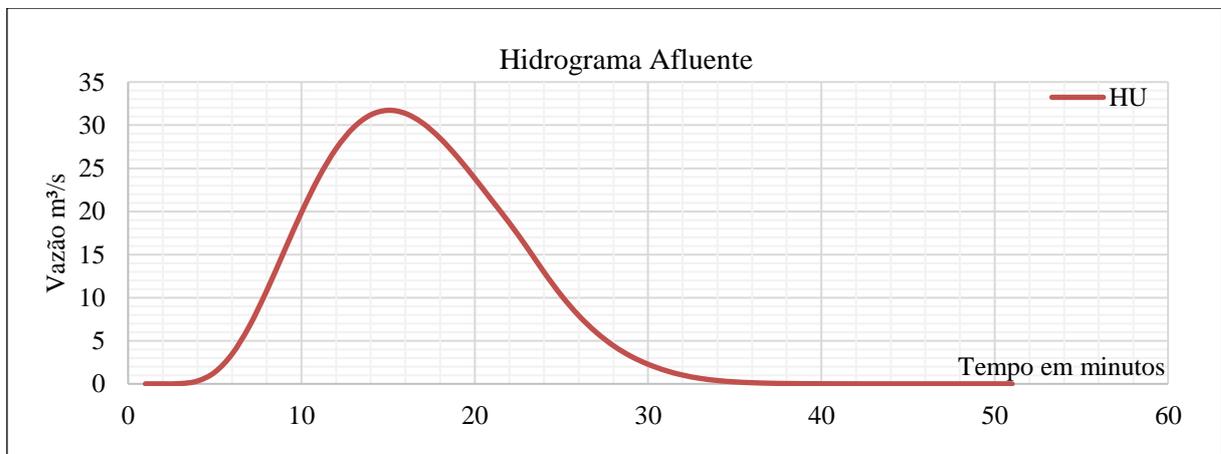
Gráfico 14: Vazão Hidrograma Unitário



Fonte: Autor (2019)

No Gráfico 15 é o resultado dos valores de vazões afluente, de acordo com os resultados obtidos através da convolução, onde o valor de vazão de pico chegar 32,22 m³/s.

Gráfico 15: Hidrograma Afluente

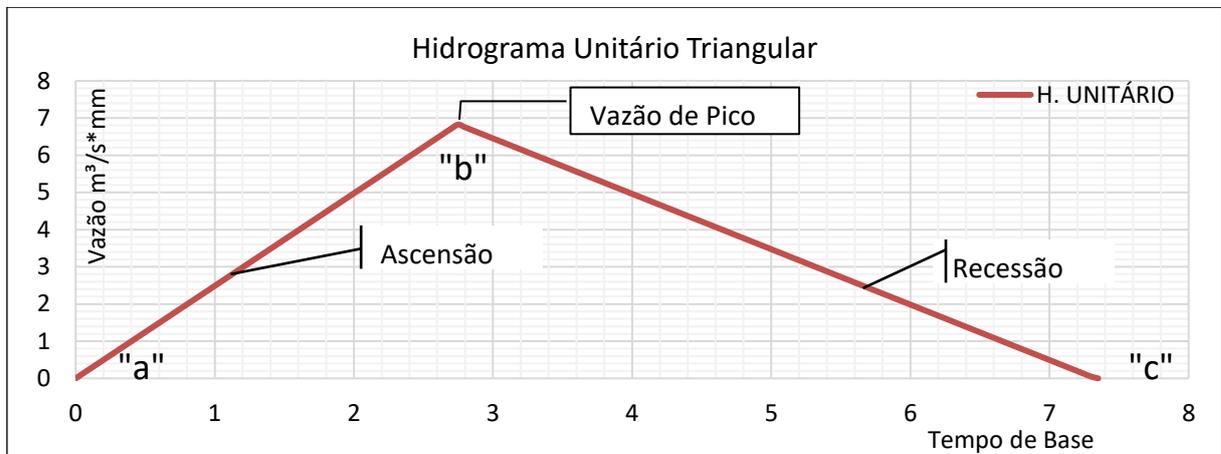


Fonte: Autor (2019)

4.7.2 Método do Soil Concervation Service Hidrograma Unitário Triangular

O Gráfico 16 que representa Hidrograma Unitário Triangular traz valores de uma vazão adimensional, ou seja, para uma precipitação adimensional ocorrida de 1 mm, onde pode ser visualizada a ascensão que é o tempo de chuva que vai entre o início e o pico do hidrograma, e a recessão que vai da vazão de pico até termino no ponto “c” onde a vazão é aproximadamente 0.

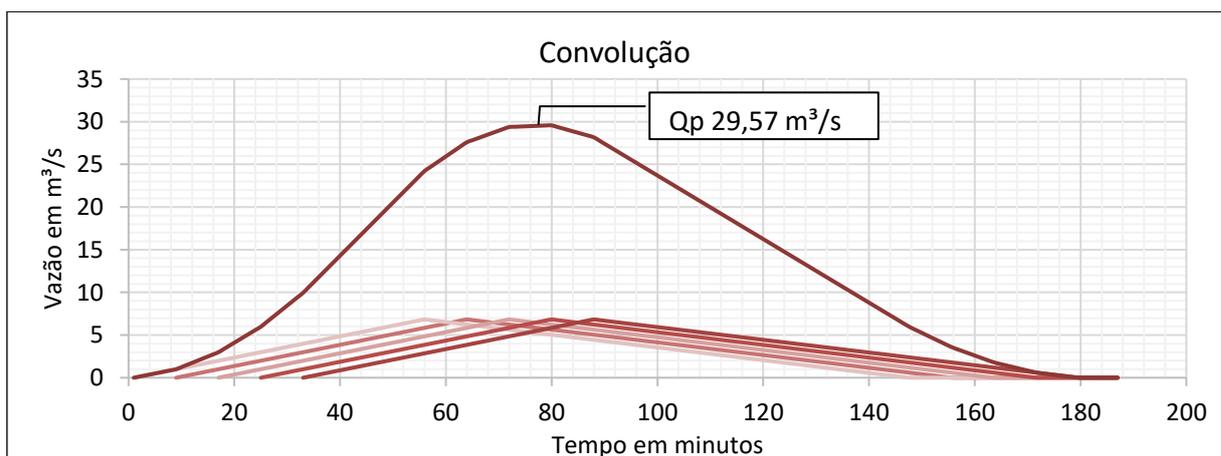
Gráfico 16: Hidrograma Unitário Triangular



Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 17 apresenta valores da convolução. Anteriormente no hidrograma unitário triangular foi considerado apenas uma precipitação adimensional de 1 mm, ou seja, esse valor não leva em consideração a saturação do solo, portanto para a convolução foi considerada uma duração de chuva de 24 minutos com 5 chuvas consecutivas, sendo assim o solo irá se encontrar cada vez mais saturado, e conseqüentemente o escoamento superficial irá aumentar gradativamente e no final terá uma vazão de 29,57 m³/s.

Gráfico 17: Convolução Hidrograma Unitário



Fonte: Autor (2019)

Com os dados da convolução foi calculado o Hidrograma Afluente, ou seja, a vazão real que irá passar pelo exutório, para se calcular a vazão afluente foi considerado na intensidade pluviométrica a duração da chuva de 10 minutos com o tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50,

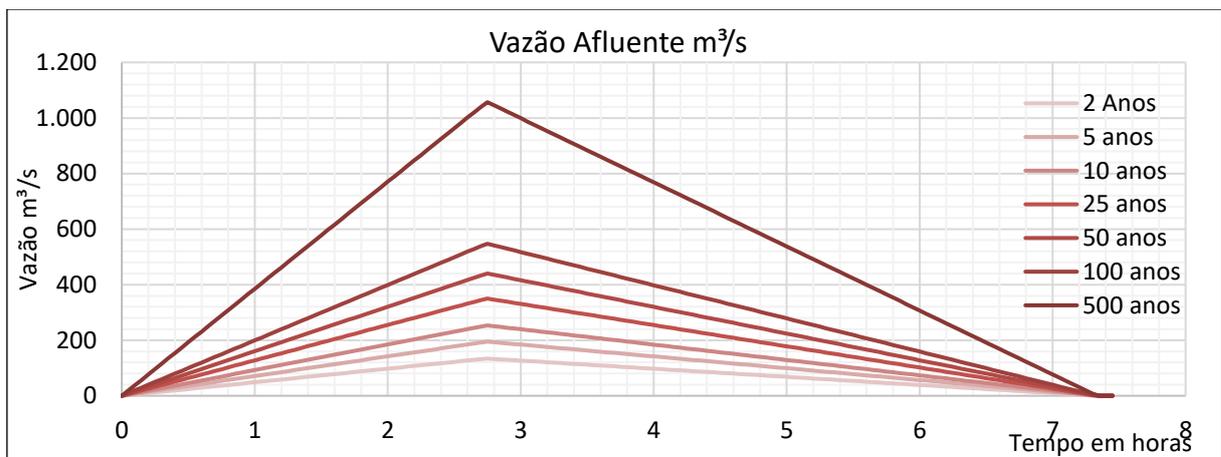
100 e 500 anos, essa intensidade foi transformada em escoamento que foi multiplicada pela ordenada do hidrograma, sendo assim os valores que estão apresentados pela Tabela 22 e representado pelo Gráfico 18.

Tabela 22: Vazões Afluentes

Vazões	
TR (anos)	Q (m ³ /s)
2	133,92
5	194,87
10	253,29
25	349,90
50	440,05
100	547,22
500	1056,63

Fonte Autor (2019)

Gráfico 18: Vazões afluentes



Fonte: Autor (2019)

CONCLUSÃO

A precipitação ocorrida no Município de Palmas qual afeta a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria tem uma variabilidade muito grande, dos quais os 8.951 dias “25 anos” contabilizados apenas 3.233 dias que houve uma precipitação e do total teve 5.718 dias que não houve nenhuma precipitação.

Ao se analisar as precipitações máximas ocorridas pode se observar que houve picos em que ultrapassaram os 100 mm, no qual o maior valor registrado chegou a aproximadamente a 156 mm, causando um volume grande de vazão portando, assim, causando enchentes e inundações.

Para o cálculo de Vazões utilizando dos métodos empíricos, a metodologia que apresentou maior valor discrepante foi o método racional, no qual ele superdimensionou o volume da bacia em aproximadamente 17 vezes ao valor que ficou próximo da média, portando a aplicação desta metodologia deve se restringir ao que o DNIT regulamenta que não deve ser usada para Bacias Hidrográficas maiores que 2 km², pois este método tem poucas informações da característica da bacia, e ele considera que a bacia se encontra sempre num estado em que seu solo nunca esteja saturado. Entre os métodos empíricos os que mais se aproximou da média foi o do Burkli-Ziegler com um valor de 154,40 m³/s

Dentro os métodos do hidrograma unitário tanto o SCS quanto o Sydenher, que são indicados por alguns autores, estes deve ser usado com bastante cuidado, pois eles usam parâmetros que quando mal dimensionados ou usados para aplicação diferente quanto a sua restrição poderá superdimensionar várias vezes a vazão real, entre eles deve ser analisados os seguintes:

- O tempo de concentração deve ser calculado de acordo com as suas restrições quanto ao tipo de bacia, a sua localização se estar em zona urbana ou rural, e também a área da mesma, o método que mais se aproximou dos resultados esperado foi do tempo de concentração Johnstone com aproximadamente 4,24 horas;
- Para os parâmetros que representam as características do solo como o Cuper Number (CN) e coeficiente de Runoff (C), para o presente trabalho os valores foram extraídos do estudo feito para de drenagem do Município de Palmas;
- Outros parâmetros também que deve ser calculado e analisado com cuidados são, comprimento do talvez, declividade, e sua área.

Ao se analisar os métodos empíricos de cálculo de vazão apresentam valores muito diferentes entre si, pois na sua elaboração foram considerados parâmetros distintos, foram baseados em dados experimentais feitos em bacias diferentes e de muitos países, com características diferentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria, portanto deve se aplicar esses métodos com bastante cautela.

Portando o método que melhor se aplicada a Bacia Hidrográfica é o hidrograma unitário triangular, pois este leva em consideração, todos parâmetros que os métodos empíricos, e ainda considera a umidade do solo quando elaborado a convolução, pois uma vez que se tem precipitações consecutivas deve ser analisadas a saturação do solo, pois ela estar diretamente proporcional ao escoamento visto que os vazios dos solos se encontra preenchidos, e de acordo com o Gráfico 1, quando o CN se aproxima de 100 toda a precipitação excedente se transforma em escoamento superficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNELL, N. Human influences on hydrological behavior. In: UNESCO. International Literature Survey. International Hydrological Programme. **Technical Documents in Hydrology**, Paris, IHP III, Project 6.1, 195p, 1989.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: 2002, ABRH, 943p. 3.ed.

CCN Planejamento e Engenharia S/C Ltda. **Metodologia de Cálculo Regional de Vazões Máximas para Córregos Urbanos**. (In: Plano Diretor de Drenagem: Campo Grande - MS). Campo Grande, 1991.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **MANUAL DE HIDROLOGIA BÁSICA PARA ESTRUTURAS DE DRENAGEM**. Rio de Janeiro: Impresso no Brasil, 2005. 137 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf>. Acesso me: 03 out. 2018.

FCTH. **Manual do Modelo Hidrológico CABR**, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, FCTH, São Paulo, 1999.

FRANCO, E. J. Dissertação de Mestrado. **Dimensionamento de bacias de retenção das Águas pluviais com base no método racional**, UFRP, Curitiba, dezembro de 2004.

GENOVEZ, A. M.; **Vazões Máximas**. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacia Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2003.

JURÍDICOS, Prefeitura Municipal de Palmas Secretaria Municipal de Assuntos. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO: Volume III: Drenagem Urbana**. Disponível em: <<https://www.palmas.to.gov.br/servicos/pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico/179/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

HIDRICOS, Grupo de Pesquisa em Recurso. **PLÚVIO**. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 28 ago. 2019

LATUF, Marcelo de Oliveira. **MODELAGEM HIDROLÓGICA APLICADA AO PLANEJAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ACRE**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011. Cap. 1.

PAZ, Adriano Rolim da Paz Adriano Rolim da Paz Adriano Rolim da Paz Adriano Rolim da. **HIDROLOGIA APLICADA**. 2004. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acesso em: 24 out. 2018.

PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

PORTO, R. L. L. Escoamento Superficial Direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. P. (org.). **Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos**, vol. 5, Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

PORTO, R.; ZAHED, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. **Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M., org. **Hidrologia- Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2004.

PRODANOV, Cleber; FREITAS, Ernani. Metodologia do trabalho científico: **métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: feevale, 2013.

SANTOS, Luciana Cabral Costa. **ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS DE PROJETO POR MÉTODOS DETERMINÍSTICOS E PROBABILÍSTICO**. 2010. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestre em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

TOMAZ, Plínio. **MÉTODO DE SNYDER**: Curso de Manejo de águas pluviais. 2014. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo114.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

TOMAZ, Plínio. **Método do SCS (Soil Conservation Service) para Várias Bacias**: Curso de Manejo de águas pluviais. Disponível em:

<http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo99.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2001.

TUCCI, Carlos E. M.. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1998.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 3ª ed. Porto Alegre, UFRGS, ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. & GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização. In: Tucci, C. E. M., Porto, R. L.; Barros, M. T. – organizadores; Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 5, Editora da Universidade, Porto Alegre. 1995.

VISSMAN JUNIOR, Warren; LEWIS, Gary L. **Introduction to Hydrology**. 5. ed. Illinois: Pearson Prentice Hall, 2002.

VILLELA S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 1ª ed. São Paulo. McGraw Hill do Brasil, 1975.

