



## **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

Israel de Souza Santos

ESTUDO HIDROGRÁFICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO SUÇUAPARA  
LOCALIZADA NA AVENIDA NS-3, NAS COORDENADAS 10°10'24.7"S  
48°20'33.1"W EM PALMAS - TO

Palmas – TO

2020

Israel de Souza Santos  
ESTUDO HIDROGRÁFICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO SUÇUAPARA  
LOCALIZADA NA AVENIDA NS-3, NAS COORDENADAS 10°10'24.7"S  
48°20'33.1"W EM PALMAS - TO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos.

Israel de Souza Santos  
ESTUDO HIDROGRÁFICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO SUÇUAPARA  
LOCALIZADA NA AVENIDA NS-3, NAS COORDENADAS 10°10'24.7"S  
48°20'33.1"W EM PALMAS - TO

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. M.e Edivaldo Alves dos Santos.

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. M.e Fernando Moreno Suarte Júnior

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. M.e Denis Cardoso Parente

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

## RESUMO

SANTOS, Israel de Souza. **Estudo Hidrográfico Da Sub-Bacia Do Córrego Suçuapara Localizada Na Avenida NS-3, Nas Coordenadas 10°10'24.7"S 48°20'33.1"W Em Palmas – To.** 2020. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2020.

Tendo em vista o colapso da ponte na avenida NS 3 entre as quadras 203 e 303 Norte, o presente trabalho buscou Avaliar a Influência da contribuição hídrica da Sub-bacia do córrego suçuapara a montante da Ponte, a causa para o colapso da estrutura foi o descalçamento da estrutura do lado Sul, em consequência aconteceu a torção e o rompimento da estrutura de concreto armado, provocado pelo direcionamento do canal a montante. Através de um estudo hidrográfico, tornou-se possível caracteriza a sub-bacia e determinar todos os seus parâmetros, que permitiu compreender o comportamento hidrológico da sub-bacia. Para avaliar a contribuição hídrica, fez-se necessário compreender como se chove na sub-bacia, utilizando uma série histórica pluviométrica e equações de chuva, tornou-se possível determinar as precipitações máximas, utilizando diferentes modelos matemáticos, para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, com probabilidades de ocorrência na sub-bacia. Com os dados obtidos na caracterização junto as precipitações máximas, pode-se definir vazões para cada modelo matemático utilizado para determinação das precipitações máximas.

**Palavras-chave:** Hidrologia. Sub-bacia. Precipitação. Ponte.

## **ABSTRACT**

SANTOS, Israel de Souza. **Hydrographic Study of the Suçuapara Sub-Basin Located at Avenida NS-3, at Coordinates 10 ° 10'24.7 "S 48 ° 20'33.1" W In Palmas** - To. 2020. 64 f. Course Completion Work (Bachelor) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2020.

In view of the collapse of the bridge on Avenida NS 3 between blocks 203 and 303 North, the present work sought to Assess the Influence of the Water Contribution of the Sub-Basin of the Suçuap Stream upstream of the Bridge. descaling of the structure on the south side, as a consequence, the reinforced concrete structure was twisted and ruptured, caused by the direction of the channel upstream. Through a hydrographic study, it became possible to characterize the sub-basin and determine all its parameters, which allowed to understand the hydrological behavior of the sub-basin. To assess the water contribution, it was necessary to understand how it rains in the sub-basin, using a historical series of rainfall and rain equations, it became possible to determine the maximum rainfall, using different mathematical models, for the return times of 50 and 100 years, with probabilities of occurrence in the sub-basin. With the data obtained in the characterization along with the maximum precipitations, it is possible to define flows for each mathematical model used to determine the maximum precipitations.

**Keywords:** Hydrology. Sub-basin. Precipitation. Bridge.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico .....	14
Figura 2 - Precipitações Frontais .....	16
Figura 3 - Precipitações Orográficas .....	17
Figura 4 - Precipitações Térmicas .....	17
Figura 5 - Foto de um pluviômetro .....	18
Figura 6 - Bacia Hidrográfica .....	22
Figura 7 - Esquema de balanço hídrico de uma Bacia Hidrográfica .....	22
Figura 8 - Divisores topográficos e freáticos de uma bacia hidrográfica .....	24
Figura 9 - Delimitação da área contribuinte .....	25
Figura 10 - Bacias hipotéticas de mesma área, onde o tempo entre a precipitação e a vazão no exutório tende a ser na seguinte ordem: $t_2 < t_1$ .....	27
Figura 11 - Classificação dos cursos d'água de uma bacia quanto à ordem segundo Strahler.....	28
Figura 12 - Retângulo auxiliar de área igual à da bacia, para determinação da extensão média do escoamento superficial. ....	29
Figura 13 - Representação do comprimento do rio principal ( $LC$ ) e a distância entre sua foz e nascente ( $dc$ ) .....	30
Figura 14 - Exemplo de uma curva hipsométrica, segundo a qual, por exemplo, 38% da área da bacia está em cotas superiores à 50 m.....	31
Figura 15 - Parâmetros temporais de um hidrograma típico .....	32
Figura 16 - Postos com dados disponíveis para estimativa da precipitação .....	37
Figura 17 - traçado dos polígonos de Thiessen .....	38
Figura 18 - polígonos de Thiessen e das áreas de influência dos postos .....	39
Figura 19 - Exemplo de isoietas mensais, com valores em mm.....	39
Figura 20 - Mapa de localização .....	45
Figura 21 - Sinuosidade do curso d'água .....	50
Figura 22 - Ordem dos Cursos D'água Segundo Strahler (2005).....	50
Figura 23 - Parâmetro para Equação .....	51
Figura 24 - Localização da estação pluviométrica.....	52
Figura 25 - Determinação de Precipitação Máxima .....	53
Figura 26 - Indicação das Deformações na Estrutura .....	60
Figura 27 - Deslocamento de solo.....	60

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Tempo de recorrência recomendado .....	33
Tabela 2 - Coeficientes de escoamento superficial .....	41
Tabela 3 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Kirpich.....	54
Tabela 4 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Califonia Culverts Practice.	54
Tabela 5 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Ven Te Show .....	54
Tabela 6 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Kirpich .....	54
Tabela 7 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Califonia Culverts .....	55
Tabela 8 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Ven Te Show .....	55
Tabela 9 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Kirpich .....	55
Tabela 10 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Califonia Culverts .....	55
Tabela 11 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Ven Te Show .....	55
Tabela 12 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Kirpich .....	55
Tabela 13 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Califonia Culverts Practice .....	55
Tabela 14 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Ven Te Show .....	56

Tabela 15 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação deter. através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Kirpich .....	56
Tabela 16 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Califonia Culverts Practice .....	56
Tabela 17 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Ven Te Show .....	56
Tabela 18 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação deter. através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Kirpich .....	56
Tabela 19 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Califonia Culverts Practice .....	56
Tabela 20 - Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Ven Te Show .....	56
Tabela 21 - Resumo de Vazões Para Tempo de Retorno de 50 anos .....	57
Tabela 22 - Resumo de Vazões Para Tempo de Retorno de 100 anos .....	57
Gráfico 1 - curvas de intensidade-duração e frequência .....	51
Gráfico 2 - Precipitação máxima diária .....	53

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CN	Curver number
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IDF	Intensidade Duração e Frequência
IDW	Inverse Distance Weighted
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
RHN	Rede Hidro meteorológica Nacional
SCS	Soil Conservation Service
SEPLAN	Secretaria da Fazenda e Planejamento
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
TR	Tempo de Retorno
TC	Tempo de Concentração
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	12
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1 HIDROLOGIA.....	13
<b>2.1.1 Estudo Hidrológico .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2 Ciclo Hidrológico.....</b>	<b>13</b>
2.1.2.1 Precipitação .....	15
<b>2.1.2.1.1 Tipos de Precipitações .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2.1.2 Pluviômetro .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2.1.3 Escoamento Superficial .....</b>	<b>18</b>
2.1.2.2 Série Histórica .....	18
<b>2.1.2.2.1 Método da Duplas Massas.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2.2.2 Frequência e Probabilidade de Eventos Extremos .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2.2.3 Hidrologia Estatística .....</b>	<b>19</b>
2.1.2.3 Precipitações Máximas – Curva IDF .....	21
<b>2.1.3 Bacia Hidrográfica .....</b>	<b>21</b>
2.1.3.1 Balanço Hídrico .....	22
2.1.3.2 Área, Perímetro, Declividade e Altitude Média da Bacia .....	23
2.1.3.3 Delimitação da Área da Bacia Hidrográfica .....	24
2.1.3.4 Classificação da Área da Bacia Hidrográfica.....	26
2.1.3.5 Forma da Bacia .....	26
2.1.3.6 Rede de Drenagem .....	27
<b>2.1.3.6.1 Ordem dos Cursos D'água .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3.6.2 Densidade De Drenagem .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.3.6.3 Extensão Média do Escoamento Superficial .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.3.6.4 Sinuosidade do Curso D'água Principal .....</b>	<b>30</b>
2.1.3.7 Relevo da Bacia .....	30
2.1.3.8 Hidrograma Unitário .....	31
<b>2.1.3.8.1 Tempo de Retorno (Tr) .....</b>	<b>33</b>

<b>2.1.3.8.2 Tempo de Concentração (Tc)</b>	<b>33</b>
<b>2.1.3.8.3 Tempo de Pico</b>	<b>34</b>
<b>2.1.3.8.4 Tempo de Base</b>	<b>35</b>
<b>2.1.4 Preenchimento de Falhas</b>	<b>35</b>
2.1.4.1 Método da Ponderação Regional	35
2.1.4.2 Método da Regressão Linear	35
2.1.4.3 Média Aritmética dos Postos Vizinhos	36
2.1.4.4 Interpolador Inverse Distance Weighted (IDW)	36
<b>2.1.5 Determinação Precipitação Média</b>	<b>37</b>
2.1.5.1 Método Aritmético	37
2.1.5.2 Método de Thiessen	38
2.1.5.3 Método das Isoietas	39
<b>2.1.6 Vazão: Método Racional</b>	<b>40</b>
<b>2.1.7 Vazão: Método Racional Corrigido</b>	<b>40</b>
<b>2.1.8 Método Hidrograma Unitário Triangular – SCS</b>	<b>41</b>
<b>2.1.9 Método do SCS Curve Number</b>	<b>42</b>
<b>2.1.10 Solos</b>	<b>43</b>
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>45</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	45
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS	46
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	46
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	46
3.5 CURVAS DE INTENSIDADE-DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF)	47
3.6 SÉRIE HISTÓRICA ESTATÍSTICA PLUVIOMÉTRICA	47
3.7 CÁLCULO DO MÉTODO RACIONAL CORRIGIDO	47
3.8 ANÁLISES DA ESTRUTURA DA PONTE	48
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>49</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA	49
4.2 CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA 50 E 100 ANOS	51
4.3 DETERMINAÇÃO PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ATRAVÉS DA SÉRIE HISTÓRICA PLUVIOMÉTRICA	52
4.4 CÁLCULO DE VAZÃO UTILIZANDO O MÉTODO RACIONAL CORRIGIDO	54
4.5 ANÁLISES DA ESTRUTURA DA PONTE	59

<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Modelos hidrológicos são ferramentas importantes para representar os processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, isto é, permitem entender o seu comportamento, tornando possível prever as consequências de condições diferentes das observadas (TUCCI, 1993). O estudo hidrológico é parte essencial a ser considerado na parte subsequente de projeto, quando da elaboração do detalhamento e planejamento construtivo da obra.

A sub-bacia do córrego Suçuapara, presente na avenida Ns 3 entre as quadras 203 e 303 norte. Para realizar a determinação da produção hídrica da sub-bacia e quantificação das vazões máximas de projeto, consequência do excesso de precipitação sobre a área construída da sub-bacia, ou sobre montante da estrutura, é uma das tarefas mais importantes da hidrologia, pois é através desta quantificação que se dimensionam e operam todas as estruturas hidráulicas relacionadas com o ciclo hidrológico.

A inexistência de séries observadas de vazões afluentes em pontos de interesse da bacia hidrográfica impossibilita o emprego de métodos diretos para estimativa de vazões. Neste caso, o cálculo deve ser feito de forma indireta a partir de dados pluviométricos e através de modelos matemáticos de transformação de chuva em vazão (CANHOLI, 2005; FENDRICH, 2008).

Os hidrogramas obtidos de forma indireta são denominados sintéticos, e sua determinação requer essencialmente características geomorfológicas da bacia, suas condições de impermeabilização, tempos de concentração, bem como as precipitações de projeto (CANHOLI, 2005).

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando o recalque do aterro causado pela possível erosão subterrânea de águas infiltradas, que levou o surgimento de uma cratera na cabeceira da ponte, impossibilitando assim o tráfego naquele trecho da avenida, causando transtorno a população e sobrecarregando outras avenidas, quais os, estudos necessários a fim de conter a insuficiência do dimensionamento hidráulico da obra de arte especial?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a Influência da contribuição hídrica da Sub-bacia a montante da Ponte, sobre o córrego Suçuapara, localizada na avenida Ns 3, nas coordenadas 10°10'24.7"S 48°20'33.1"W, verificando eventuais rupturas na estrutura.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização da sub-bacia do córrego suçuapara.
- Determinar a chuva de projeto.
- Avaliar a vazão da sub-bacia.
- Verificar as possíveis causas do colapso da estrutura da ponte.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com o aumento populacional das grandes cidades, ocorre uma urbanização desordenada que gera vários agravantes, como enchentes, uma vez que esse crescimento amplia as áreas desmatadas e aumenta as áreas impermeáveis. A remoção dessa vegetação natural, diminui a interceptação da água, fazendo-a cair diretamente sobre o solo, que sem essa cobertura vegetal, acentua a parcela de escoamento superficial e, conseqüentemente, os picos de vazões, essa alteração no ciclo da água acarretam mudanças hídricas da bacia, podendo desencadear ou aumentar a erosão e o assoreamento de rios urbano.

Esses problemas estão relacionados com a falta de planejamento adequado durante a implantação das cidades, causando impactos no ciclo da água. Por isso, é necessário que haja um bom planejamento urbano para que o solo seja ocupado e se tenha dispositivos adequados para drenagem urbana e para transpor pontos não acessíveis separados por rios.

Diante do apresentado, este estudo revela na sua importância acadêmica e social, o intuito de identificar alterações que ocorreram na Sub-bacia alterando a vazão do córrego Suçuapara que afetou diretamente a estrutura da obra de arte em questão que ficou impossibilitada de tráfego, servindo este de exemplo para elaboração de projetos futuros para a própria cidade de Palmas e outras cidades.

O estudo tem como objetivo, verificar qual a vazão a montante ponte, que pode ter ocasionado aquele dano, compreender e reconhecer a importância do bom funcionamento dessa obra sobre o córrego Suçuapara, presente na avenida Ns 3 entre as quadras 203 e 303 norte, nas coordenadas 10°10'24.7"S 48°20'33.1"W, perto do Parque Sussuapara e da Unidade de Pronto Atendimento Norte.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 HIDROLOGIA**

A Hidrologia pode ser compreendida como uma ciência que procura estudar várias propriedades físicas, químicas, circulação, distribuição, ocorrência, e características das diferentes formas de água existentes na superfície terrestre, bem como a sua interação com o meio ambiente. Portanto, uma boa definição adotada por vários autores, é a seguinte:

“Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas” (Definição do U.S. Federal Council of Service and Technology, citada por Chow, 1959, apud Tucci, 2000).

#### **2.1.1 Estudo Hidrológico**

A ciência hidrológica dedica-se a processos que acontecem em sistemas moldados pela natureza. Os processos físicos ocorrem num meio que o homem não projetou, mas ao qual se deve adaptar, procurando conviver com o componente deste meio ambiente (TUCCI, 2001). De acordo com Tucci, temos que:

No âmbito da utilização da Hidrologia em recursos Hídricos ou como às vezes chamada Engenharia Hidrológica, a mesma é entendida como a área que estuda o comportamento físico da ocorrência e o aproveitamento da água na bacia hidrográfica, quantificando os recursos hídricos no espaço e no tempo e avaliando o impacto da modificação da bacia hidrográfica sobre o comportamento dos processos hidrológicos. A quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. (TUCCI, 2002, p. 25 – p. 26).

A hidrologia pode ser empregada na Engenharia para a determinação de recursos hídricos de uma certa região, características da água, construções de obras hidráulicas (pontes, bueiros e galerias, barragens, etc.), irrigações, projetos de drenagem e aproveitamento hidrelétrico. (GARCEZ E ALVAREZ 1988).

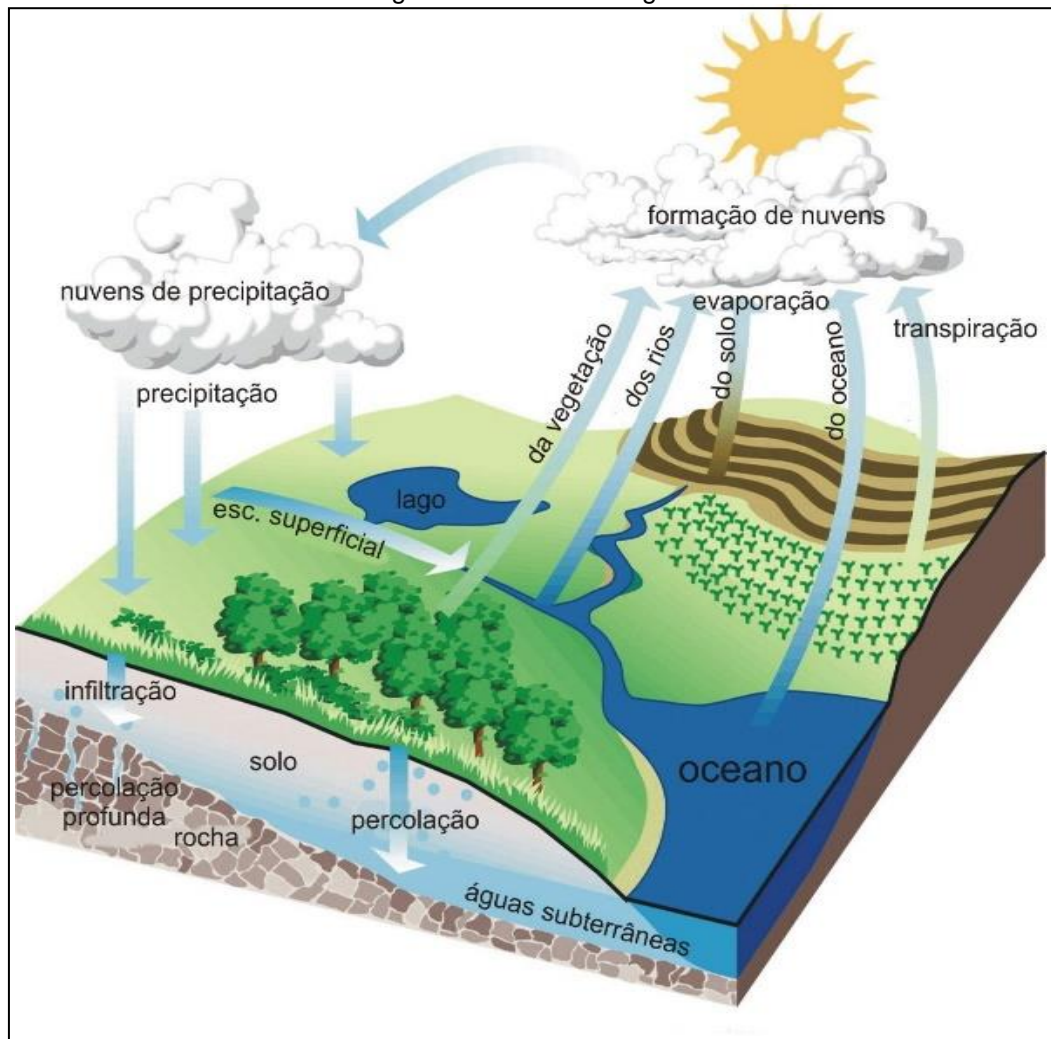
#### **2.1.2 Ciclo Hidrológico**

Entende-se por ciclo hidrológico o processo de formação, transferência e acúmulo de água. Nestes processos faz-se presente a precipitação, que é criada a partir do resfriamento do ar e com a condensação do vapor na forma de gotas, que tende aumentar de tamanho por coalescência e aderência até se precipitarem na forma de chuva. O termo precipitação abrange toda a água que cai sobre a superfície da Terra, seja na forma de chuva, neve, granizo ou orvalho.

Segundo Pinto et al. (1976), a água tem três estados, são eles: sólido, líquido ou gasoso, e pode ser encontrada na atmosfera e na superfície terrestre, a água, através da movimentação em círculos, pode-se designar o ciclo hidrológico, onde muda de estado ou de posição em relação à Terra, os elementos principais desse ciclo são: precipitações, escoamentos. Para Chow (1988) o ciclo hidrológico é de suma importância para estudo da hidrologia, o autor menciona que o ciclo não tem início ou fim, são inúmeros processos que acontecem constantemente.

A figura 1 traz uma demonstração do ciclo hidrológico e suas respectivas fases.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.



Fonte: adaptado de EPA, 1998.

Segundo Rolim (2004) o ciclo hidrológico pode ser descrito de maneira simplificada da seguinte.

- Ocorre evaporação da água e formação do vapor de água;
- Sob determinadas condições, o vapor precipita na forma de chuva, dentre outras formas, neve, etc. (precipitação);

- Parte da precipitação evapora antes mesmo de chegar a atingir a superfície terrestre, sendo evaporada;
- Boa grande parte da precipitação cai diretamente sobre a superfície de lagos e oceanos, daí evaporando parcela;
- Dá precipitação que atinge a superfície terrestre, uma parte é interceptada pela cobertura vegetal (interceptação), de onde parte evapora e parte acaba escorrendo até o solo;
- Dá precipitação que chega ao solo, parcela infiltra sub-superficialmente (infiltração), e desta uma parte escoam até corpos d'água próximos, como rios e lagos (escoamento sub-superficial);
- Uma parte infiltrada percola atingindo os aquíferos (percolação), que escoam lentamente até rios e lagos (escoamento subterrâneo);
- Ainda quanto à parte da precipitação que atinge o solo, esta vai escoar superficialmente (escoamento superficial), sendo retida em depressões do solo, sofrendo infiltração, evaporação ou sendo absorvida pela vegetação. O “restante” do escoamento superficial segue para rios, lagos e oceanos, governada pela gravidade;
- A vegetação, que retém água das depressões do solo e infiltrações, elimina vapor d'água para a atmosfera (transpiração), através do processo de fotossíntese;
- A água que alcança os rios, seja por escoamento superficial, sub-superficial ou subterrâneo, ou mesmo precipitação direta, segue para lagos e oceanos, governada pela gravidade.

#### 2.1.2.1 Precipitação

Precipitação atmosférica se caracteriza por um conjunto chuva formado por vapores d'água que pendem sobre o solo, a qual pode estar em estado líquido ou sólido. (ALVAREZ, GARCEZ, & ACOSTA, 1988).

A precipitação em uma bacia durante o ano é um fator determinante para quantificar, entre outros, a obrigação de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A cotação da amplitude da 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 (TUCCI, 1993).

Na hidrologia toda água que vem da atmosfera e cai sobre a superfície pode ser conceituada como precipitação, as diferentes formas de precipitação ocorrem como chuva, neve, neblina, granizo e geada, a chuva cai em forma de precipitação que possui grande importância para os estudos hidrológicos, pois é através da chuva que a água tem a capacidade de escoar sobre a superfície. Através do estudo da intensidade de uma precipitação é possível controlar inundações e erosão do solo. A precipitação tem como características: distribuição de tempo e espaço, duração e seu total. (TUCCI, 2002).

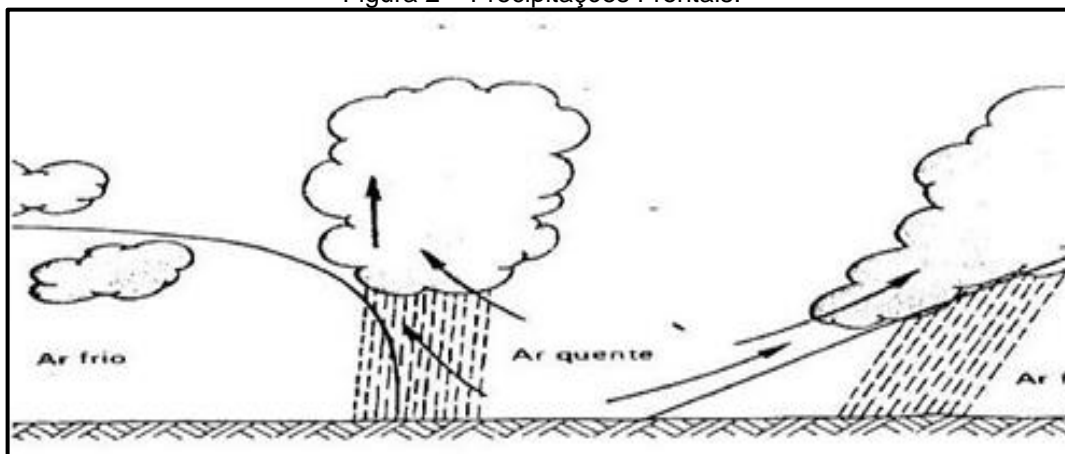
#### 2.1.2.1.1 Tipos de Precipitações

Deve-se a variação dos tipos de chuva devido a ascensão do ar em altitude, os quais dão origem aos três principais tipos de chuva (ALVAREZ, GARCEZ, & ACOSTA, 1988).

- Frontal

Segundo Ayoade (2001), a precipitação do tipo frontal, ou ciclônica é causada por um movimento de interação vertical de massas de ar quente e fria e é associada com sistemas de baixa pressão, como as depressões. Moderadamente intensa, contínua e tende a afetar áreas muito extensas à medida que a depressão se desloca, e podem produzir cheias em grandes bacias.

Figura 2 – Precipitações Frontais.



Fonte: Villela & Mattos, 1975.

- Orográfica

A precipitação orográfica é caracterizada pela sua formação muito ligada à elevação do ar úmido sobre o terreno elevado. As massas de ar quente que saem do oceano em direção ao continente trazem consigo a umidade proveniente do mar. Ao chegarem à superfície e encontrarem terrenos com alto relevos, essas massas se elevam como se fossem superar as barreiras naturais do alto relevo.



Figura 5 – Foto de um pluviômetro.



Fonte: STUDART, 2003.

#### 2.1.2.1.3 Escoamento Superficial

A água que percorre sobre a superfície terrestre devido ao efeito da gravidade, é conhecida como escoamento superficial, sendo uma de suas fases que compõe o ciclo hidrológico a ser estudado. Onde o escoamento superficial está inteiramente relacionado a precipitação atmosférica e possui grande importância para diversos estudos na área da engenharia. A previsão de cheia dos cursos de água, no caso os rios, está diretamente ligada a um estudo minucioso da análise quantitativa desses dois fenômenos, escoamento superficial e precipitação. (GARCEZ E ALVAREZ, 1988).

#### 2.1.2.2 Série Histórica

As séries originais possuem todos os dados de precipitações registrados. Se os eventos extremos são de maior interesse, então o valor máximo do evento em cada ano é selecionado e assim é ordenada uma série de amostras. Essa série é denominada série de máximos anuais.

##### 2.1.2.2.1 Método da Duplas Massas

$$P_A = \frac{M_A}{M_O} \cdot P_O \quad \text{EQ01}$$

O estudo de “duplas massas” é o método que busca verificar a homogeneidade dos dados, isto é, se houve alguma anormalidade na estação pluviométrica, tais como mudança de local ou das condições do aparelho ou modificação no método de observação.

### 2.1.2.2.2 Frequência e Probabilidade de Eventos Extremos

A frequência ( $F$ ) é determinada pelas equações abaixo, conforme se opte pelo método da Califórnia ou de Kimball:

- Método da Califórnia

$$F = \frac{m}{n} \quad \text{EQ02}$$

- Método de Kimball

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad \text{EQ03}$$

Onde;

- $m$  – Ordem do evento
- $n$  - número de anos da observação

O tempo de recorrência ou “período de retorno” é o período de tempo médio (medido em anos) em que um determinado evento deve ser igualado ou superado pelo menos uma vez, tendo-se a seguinte relação:

$$T = \frac{1}{F} \quad \text{ou} \quad T = \frac{1}{P} \quad \text{EQ04}$$

### 2.1.2.2.3 Hidrologia Estatística

Conforme Naghettini e Pinto (2007), a hidrologia estatística tem como objetivo determinar os fundamentos da estatística matemática, onde são utilizados na interpretação e aleatoriedade dos processos hidrológicos. Para o estudo de estatística na hidrologia, é preciso conhecimento nos seguintes itens: variáveis hidrológicas, séries hidrológicas e dados hidrológicos.

- Média Aritmética

Ferrari (2004) diz que a média aritmética é o quociente entre a soma dos valores de uma variável pelo número de valores.

$$média = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{EQ05}$$

- Mediana

Ferrari (2004) define mediana como o valor que divide a série em dois conjuntos com o mesmo número de valores, ou seja, é o valor localizado no meio da distribuição dos dados. Desta forma, sabe-se que metade dos dados são maiores ou iguais a mediana, e os outros 50% dos dados são inferiores ou iguais à mediana.

Para análise, usa-se as regras;

- Se o número de amostras (n) for ímpar, usa-se o valor localizado ao meio;
- Se o número de amostras (n) for par, o valor usado será a média dos dois valores centrados.
- Moda

A moda (Mo) é definida por Ferrari (2004) como o valor que ocorre com mais frequência na distribuição dos dados.

Ex: Considerando a distribuição de dados: 100, 90, 110, 100, 2500.

A moda é o valor que com mais frequência aparece, ou seja, Mo = 100

- Desvio Padrão

Para determinar a dispersão de uma série de dados pode-se usar a soma dos desvios dos valores em relação à média dividida pelo número de valores, obtendo assim a média dos desvios (FERRARI, 2004).

Como a variância envolve a soma de quadrados, diferentemente das unidades dos dados, para que se tenha um resultado da dispersão dos dados nas mesmas unidades de medida tiramos a raiz quadrada da variância, obtendo o desvio padrão por:

$$S = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \text{média})^2}{n - 1}} \quad \text{EQ06}$$

- Distribuição Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{EQ07}$$

$$\mu = \bar{x}, \quad \sigma = s_x$$

Distribuição Log-Normal

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad \text{EQ08}$$

$$y = \log x \quad \mu_y = \bar{y}, \quad \sigma_y = s_y$$

Existe uma relação entre as distribuições Log-Normal, o logaritmo de uma variável com distribuição Log-Normal com parâmetros  $\mu$  e  $\sigma$  tem uma distribuição Normal com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ . Os dados provenientes de uma distribuição Log-Normal podem ser analisados segundo uma distribuição Normal se trabalharmos com o logaritmo dos dados ao invés dos valores originais.

### 2.1.2.3 Precipitações Máximas – Curva IDF

Assim, para caracterizar a precipitação máxima em uma área, são normalmente empregadas as chamadas curvas i-d-f ou curvas intensidade-duração-frequência. Tais curvas são obtidas a partir de dados de pluviógrafos, como apresentado por Tucci (2000).

Para um determinado tempo de retorno ( $Tr$ ), a curva i-d-f estabelece as máximas intensidades da precipitação ( $i$ ) para cada duração ( $t$ ), tendo geralmente a seguinte forma:

$$i = \frac{C_1 \cdot Tr^{C_2}}{(t + C_3)^{C_4}} \quad \text{EQ09}$$

onde  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , são coeficientes ajustados para cada região;  $i$  é a intensidade da precipitação em mm/h;  $t$  é a duração em minutos e  $Tr$  é o tempo de retorno em anos.

### 2.1.3 Bacia Hidrográfica

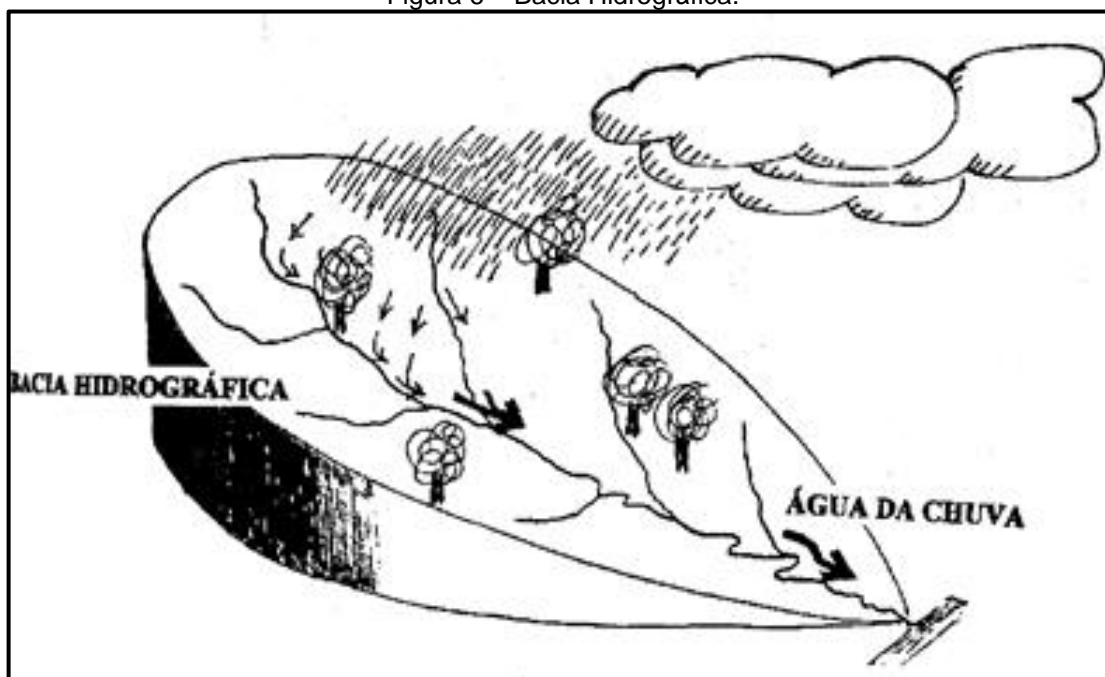
Uma bacia hidrográfica é basicamente composta de um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em leito único no exultório (TUCCI, 2001).

Pode-se também referir a bacia hidrográfica como área determinada topograficamente, delimitada pelos divisores de águas (linhas que unem os pontos de cotas mais elevadas), que é drenada por um curso de água ou por um conjunto desses cursos conectados, de forma que toda vazão efluente seja drenada por uma simples saída (CECILIO e REIS, 2006).

A função hidrológica da bacia hidrográfica é o de mudar uma entrada de volume concentrada no tempo, que é a precipitação, resultando em uma saída de água que é o escoamento de forma mais distribuída no tempo (TUCCI, 1993). A bacia hidrográfica é considerada como um sistema físico, sendo sua entrada representada pelo volume de água precipitado e sua saída o a quantidade de água escoada, levando em consideração as perdas de toda água que sai do sistema por evaporação, transpiração e infiltração para o subterrâneo (SILVEIRA, 2000).

Neste contexto, a vantagem de ter a bacia hidrográfica como unidade de estudo é o fato da mesma ser uma unidade natural e não uma unidade arbitrada pelo pesquisador. Além de ter na rede de drenagem a destinação de boa parte dos resultados das ações antrópicas de uso e ocupação do seu solo (LANNA, 1995).

Figura 6 – Bacia Hidrográfica.



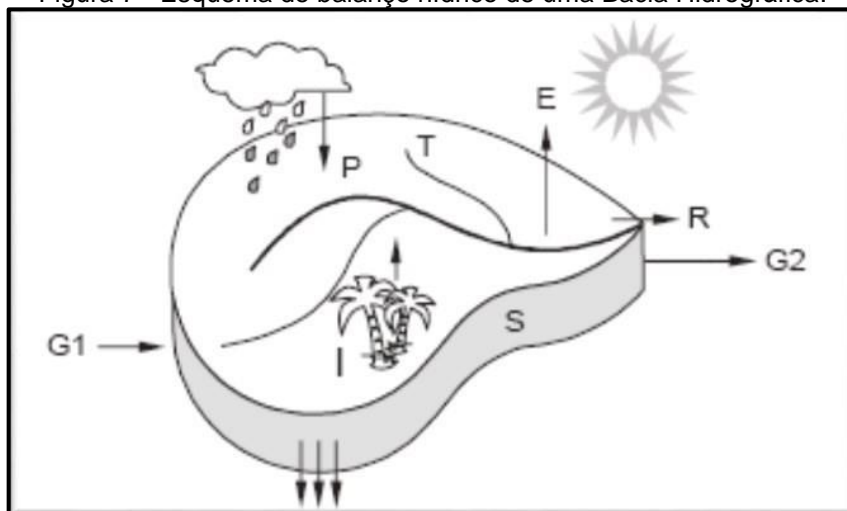
Fonte: Pedrazzi, 2003.

### 2.1.3.1 Balanço Hídrico

Segundo Villela e Mattos (1975), a aplicação do balanço hídrico em uma estipulada bacia Hidrográfica, é um fenômeno que ocorre quando se inicia a precipitação em um local e a água que cai sobre o solo começa a ser armazenada, devido a superfície não ser totalmente plana, parte desta água poderá sofrer evaporação ou infiltração, a água armazena-se por um determinado tempo no solo e parte para camadas mais profundas dando origem aos lençóis subterrâneos, ou pode-se mover lateralmente formando o escoamento superficial.

A figura 7 mostra como pode ser apresentado o balanço hídrico de uma bacia Hidrográfica:

Figura 7 - Esquema de balanço hídrico de uma Bacia Hidrográfica.



Fonte: Villela e Mattos (1975).

Onde:

P = precipitação;

E = evaporação;

T = transpiração;

I = infiltração;

S = armazenamento.

Para os autores Villela e Matos (1975) conhecer o sistema de drenagem, ou seja, quais os tipos de curso d'água que está drenando uma definida região é de grande importância para o estudo de bacias Hidrográfica. Os cursos d'água são classificados de acordo com o escoamento, são eles:

- a) Perenes: cursos d'água que possui água durante o tempo todo, ou seja, não desce abaixo do nível do leito do curso d'água, mesmo estando em tempos bastante seco.
- b) Intermitentes: é um tipo de curso d'água escoam nos períodos de chuvas onde transportam todo os tipos de deflúvio e secam na estiagem.
- c) Efêmeros: são aqueles cursos d'água que existe durante ou logo após o período de chuva e transportam apenas o escoamento superficial.

#### 2.1.3.2 Área, Perímetro, Declividade e Altitude Média da Bacia

A área da bacia (A) é a sua área de drenagem, cujo valor corresponde à área plana, considerando entre os seus divisores topográficos projetada verticalmente. O conhecimento da área da bacia permite descobrir qual o volume precipitado de água, para uma certa lâmina de precipitação, pela expressão:

$$\text{volume precipitado} = \text{lâmina precipitada} \times \text{área da bacia}$$

O perímetro representa o comprimento total da projeção dos divisores de água, já o comprimento está dividido entre o caminhamento principal da rede de drenagem, ou seja, o comprimento do rio principal desde a foz até a cabeceira em linha reta, ou do exultório até a cabeceira quando se pretende estudar um ponto inserido na bacia de contribuição

Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor o tempo de concentração e maior as perspectivas de picos de enchentes, porém essa comparação é válida relativamente entre bacias de mesma extensão. A magnitude desses picos de enchente e a infiltração da água, trazendo como consequência, maior ou menor grau de erosão, dependem da declividade média da

bacia (determina a maior ou menor velocidade do escoamento superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra (CARVALHO e SILVA, 2006).

Existe uma relação direta entre as cheias e a declividade, pois quanto maior a declividade maior os picos de cheia e menor a vazão de estiagem.

A Declividade da bacia pode ser determinada pela equação:

$$S(\%) = \frac{H_1}{L} \cdot 100 \quad \text{EQ10}$$

Onde:

S: Declividade média da bacia (%);

$H_1$ : Diferença de cotas da nascente ao exultório (m);

L: Comprimento do curso de água (m);

A Altitude Média, é determinada pela seguinte expressão

$$E = \frac{H_i - H_f}{2} + H_i \quad \text{EQ11}$$

Onde:

E: Cota de elevação média da bacia (m);

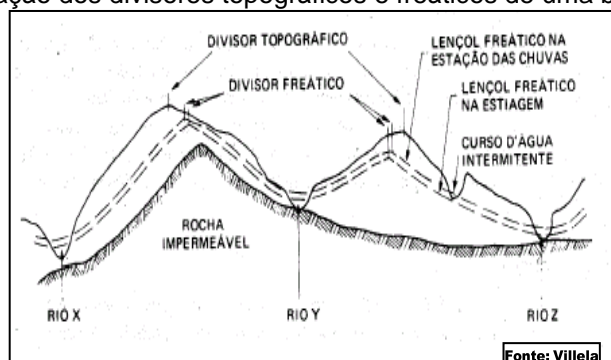
$H_i$ : Cota nascente do curso d'água (m);

$H_f$ : Cota exultório (m);

#### 2.1.3.3 Delimitação da Área da Bacia Hidrográfica

Para delimitação de uma bacia Hidrográfica, leva em consideração os divisores de bacias, que se dividem em três tipos existentes: divisor topográfico, que se baseia no relevo; divisor geológico, que observa as características geológicas; e divisor freático, estabelecido de acordo com a posição do lençol freático, Mas com a falta de informações e à não praticidade no estabelecimento dos divisores geológicos e freáticos, geralmente são empregados apenas os divisores topográficas para identificar e delimitar uma bacia.

Figura 8 – Indicação dos divisores topográficos e freáticos de uma bacia hidrográfica.



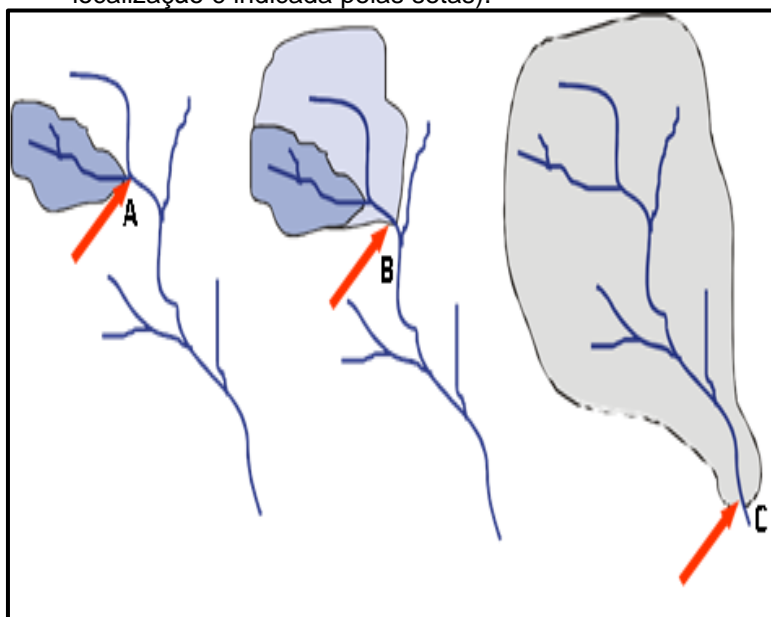
Fonte: Villela, 1975.

Segundo SANTOS e ELOI (2015) deve seguir o roteiro abaixo para delimitar qual perímetro e área da bacia hidrográfica:

1. Localizar o exultório (local onde se pretende desaguar o reservatório, iniciar a canalização ou efetuar a travessia).
2. Identificar o caminhamento da rede de drenagem do curso de água principal.
3. Identificar o caminhamento da rede de drenagem dos cursos de água secundários existentes que desaguem no principal.
4. Identificar onde estão localizadas as maiores altitudes dos locais das nascentes.
5. Delimitar os divisores de água, ligando os pontos de maiores altitudes e traçar uma linha perpendicular as curvas de nível da planta cartográfica.
6. Verificação por meio da diferença de cota por onde a gota de água tende a ser escoada nas regiões próximas aos divisores traçados.

Torna-se de suma importância ter em mente o conceito de “bacias dentro de bacias”, o qual é ilustrado pela Figura 9.

Figura 9 – Delimitação da área contribuinte conforme o ponto considerado (A, B ou C, cuja localização é indicada pelas setas).



Fonte: ROLIM, 2004.

É muito importante realizar o estudo da área da bacia, pois é através da área que se consegue definir a potência hídrica que a bacia pode oferecer. Através do valor da área pode-se multiplicar pelo valor da lâmina da chuva precipitada irá resultar no volume de água recebido na bacia. Também pode-se encontrar a área de uma determinada bacia através de mapas no Sistema de Informação Geográfica. (TUCCI, 2002)

#### 2.1.3.4 Classificação da Área da Bacia Hidrográfica

De acordo com SANTOS e ELOI (2015) a bacia hidrográfica pode ser classificada em função de diversos parâmetros, dentre quais são destacados o Desague, Cursos de Água, Padrão de Drenagem, Área, Perímetro e Comprimento, Declividade, Hipsimetria, Altitude Média, Tempo de Concentração, Coeficiente de Compacidade, Fator de Forma, Ordenamento dos Curso de Água, Densidade de Drenagem, Sinuosidade, Rugosidade, Extensão Média do Escoamento Superficial e Razão de Relevo.

#### 2.1.3.5 Forma da Bacia

A forma superficial de uma bacia é importante devido ao tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção de estudo ou, em outras palavras, o tempo que leva a água do limite da bacia para chegar à saída do curso do rio principal (VILELLA & MATTOS, 1975).

Por meio das comparações de forma, é possível entender como duas bacias hidrográficas que tenham a mesma área poderão ter respostas hidrológicas completamente diferentes em função de sua forma, já que esta condicionará o tempo de concentração. Entre os parâmetros utilizados para medir a forma de uma bacia hidrográfica encontram-se os índices de Greavelius ou coeficiente de compacidade e o fator de forma (TASSI & COLLISCHONN, 2008).

Dois coeficientes são comumente empregados, Fator forma e coeficiente de compacidade, eles são utilizados como indicativos.

- Fator de forma: o coeficiente é definido pela relação da a largura média da bacia e o comprimento axial do curso d'água principal ( $L_c$ ). A largura média  $\bar{L}$  é calculada pela expressão:

$$\bar{L} = \frac{A}{L_c} \quad \text{EQ12}$$

e, portanto, o fator de forma  $k_f$  é determinado por:

$$k_f = \frac{\bar{L}}{L_c} = \frac{A}{L_c^2} \quad \text{EQ13}$$

Esse coeficiente dá uma ideia da tendência da bacia a cheias e, a princípio, comparando-se duas bacias, aquela que tiver de maior fator de forma estaria mais propensa a cheias do que a outra bacia comparada.

- Coeficiente de compacidade: coeficiente é tem por definição a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de mesma área da bacia. Assim, considerando uma bacia de área A e um círculo também de área A, tem-se que:

$$Kc = \frac{P_{bacia}}{P_{cículo}} = \frac{P}{2\pi r} \text{ e } A = \pi r^2 \quad \text{EQ14}$$

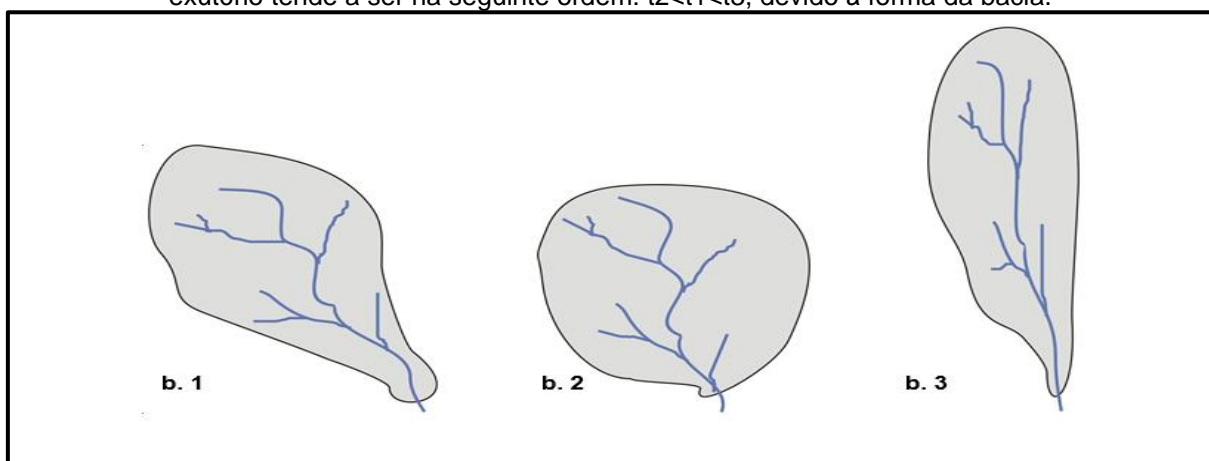
Logo:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{EQ15}$$

Pela sua definição, se  $K_C = 1$  a forma da bacia é um círculo, sendo mais “irregular” quanto maior o valor desse coeficiente, o que implica em uma menor tendência a cheias.

Em bacias de formato mais arredondado esse tempo tende a ser menor do que em bacias mais compridas, como ilustra a Figura 10 para três bacias hipotéticas.

Figura 10 – Bacias hipotéticas de mesma área, onde o tempo entre a precipitação e a vazão no exutório tende a ser na seguinte ordem:  $t_2 < t_1 < t_3$ , devido à forma da bacia.



Fonte: ROLIM, 2004.

#### 2.1.3.6 Rede de Drenagem

A rede de drenagem é basicamente constituída pelo rio principal e seus afluentes. O rio principal é amplamente identificado a partir do exutório da bacia, “subindo o rio”, ou seja, ele percorrendo o sentido inverso do fluxo da água, até percorrer a maior distância (em outras palavras, o rio principal é aquele maior curso d’água do exutório até a cabeceira da bacia). Quatro indicadores são utilizados, geralmente, para descrever a rede de drenagem de uma bacia: ordem dos cursos d’água, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial e sinuosidade do curso d’água principal.

O sistema de drenagem de uma bacia é formado pelo rio principal e seus tributários. A classificação dos rios quanto à ordem reflete no alcance da ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Os cursos d'água maiores possuem seus tributários, que por sua vez possuem outros até que chegue aos minúsculos cursos d'água da extremidade. Normalmente, quanto maior o número de ramificações maior serão os cursos d'água. Dessa forma, podem-se classificar os cursos d'água de acordo com o número de bifurcações (PEDRAZZI, 2003).

O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

O padrão de drenagem de uma bacia depende da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia e clima. Esse padrão também influencia no comportamento hidrológico da bacia. (SILVA & CARVALHO).

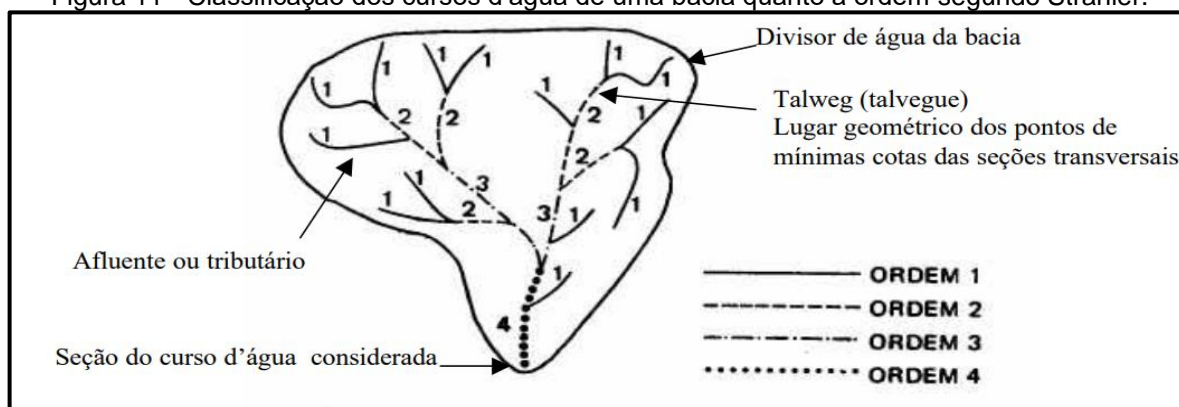
#### 2.1.3.6.1 Ordem dos Cursos D'água

Segundo Strahler (2005) Ordem dos cursos d'água e razão de bifurcação: De acordo com a Figura 11, adota-se o seguinte procedimento:

- Os cursos primários recebem o número 1;
- A união de 2 de mesma ordem dá origem a um curso de ordem superior;
- A união de 2 de ordem diferente faz com que prevaleça a ordem do maior.

Quanto maior  $R_b$  média, maior o grau de ramificação da rede de drenagem de uma bacia e maior a tendência para o pico de cheia.

Figura 11 - Classificação dos cursos d'água de uma bacia quanto à ordem segundo Strahler.



Fonte: adaptado de Strahler, 2005.

#### 2.1.3.6.2 Densidade De Drenagem

Esse índice é definido pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água da bacia ( $\sum lc$ ) e sua área:

$$Dd = \frac{\sum lc}{A} \quad \text{EQ16}$$

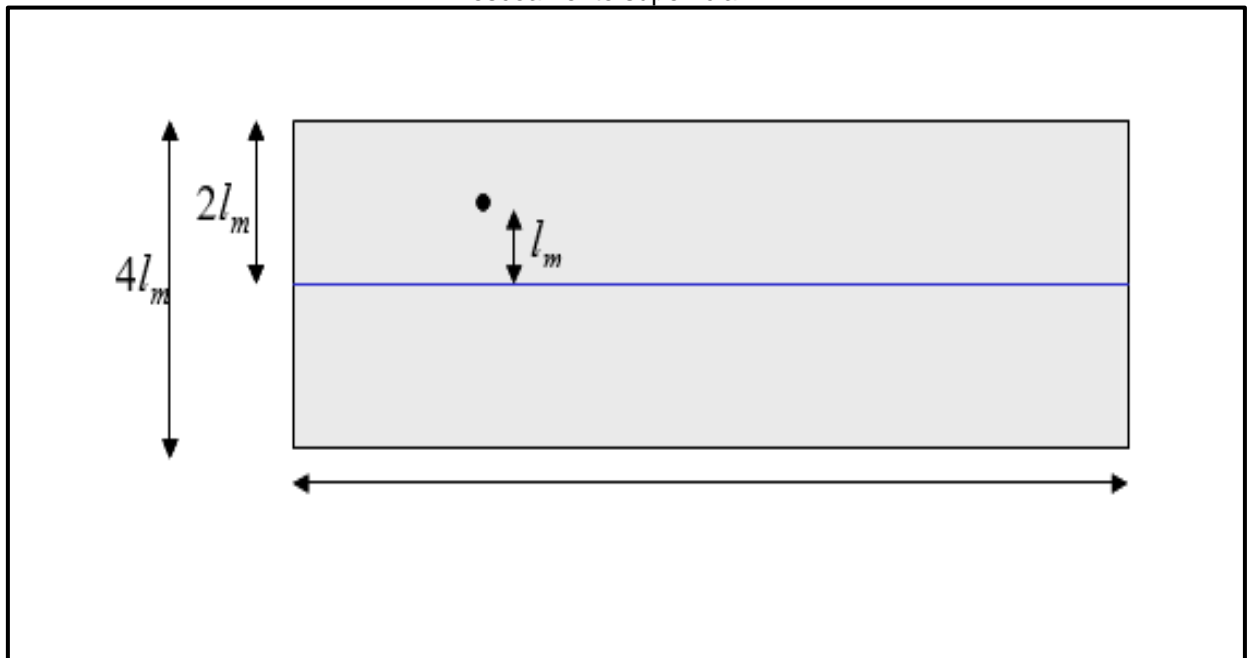
Os valores mais usuais da densidade de drenagem são:  $0,5 \leq Dd \leq 3,5 \text{ Km/Km}^2$

- Drenagem pobre  $\rightarrow Dd < 0,5 \text{ Km/Km}^2$
- Drenagem regular  $\rightarrow 0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ Km/Km}^2$
- Drenagem boa  $\rightarrow 1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ Km/Km}^2$
- Drenagem muito boa  $\rightarrow 2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ Km/Km}^2$
- Bacias excepcionalmente bem drenadas  $\rightarrow Dd \geq 3,5 \text{ Km/Km}^2$

#### 2.1.3.6.3 Extensão Média do Escoamento Superficial

representa a distância média que água teria que percorrer, em linha reta, do ponto onde atingiu o solo até a rede de drenagem. Para sua determinação, considera-se um retângulo de área igual à da bacia e com o maior lado igual à soma do comprimento total dos cursos d'água, como exemplifica a Figura 12.

Figura 12 – Retângulo auxiliar de área igual à da bacia, para determinação da extensão média do escoamento superficial.



Fonte: ROLIM, 2004.

Interpretando a figura anterior como sendo a bacia, é fácil perceber que a distância média que a água precipitada percorre até alcançar a rede de drenagem é um quarto do seu lado menor. No caso do retângulo, a rede de drenagem se limita ao curso d'água central, cujo comprimento é equivalente ao comprimento total dos cursos d'água da bacia original.

Como o retângulo da Figura 7 tem área igual à da bacia, tem-se que:

$$A = x \cdot 4l_m \rightarrow l_m = \frac{A}{4 \sum l_c} \quad \text{EQ17}$$

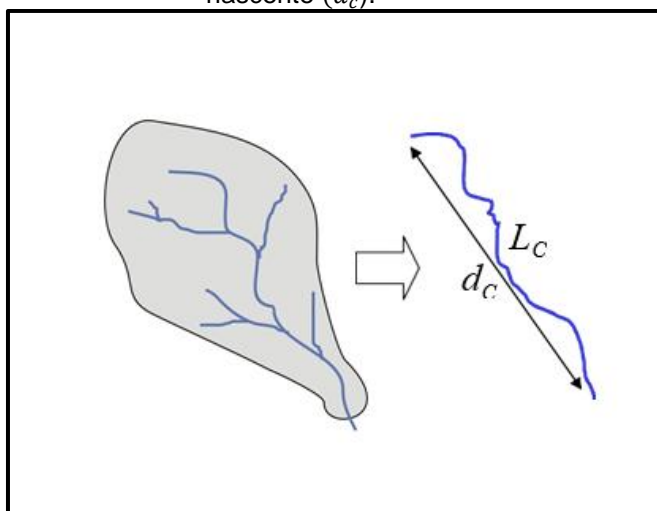
#### 2.1.3.6.4 Sinuosidade do Curso D'água Principal

representa a relação entre o comprimento do rio principal ( $L_c$ ) e a distância entre a nascente (cabeceira) e a foz ( $d_c$ ), medida em linha reta. Esse termo dá uma ideia da “quantidade” de curvatura do rio, sendo determinado pela expressão:

$$S_c = \frac{L_c}{d_c} \quad \text{EQ18}$$

A Figura 13 ilustra a definição das variáveis  $L_c$  e  $d_c$

Figura 13 – Representação do comprimento do rio principal ( $L_c$ ) e a distância entre sua foz e nascente ( $d_c$ ).



ROLIM, 2004.

#### 2.1.3.7 Relevo da Bacia

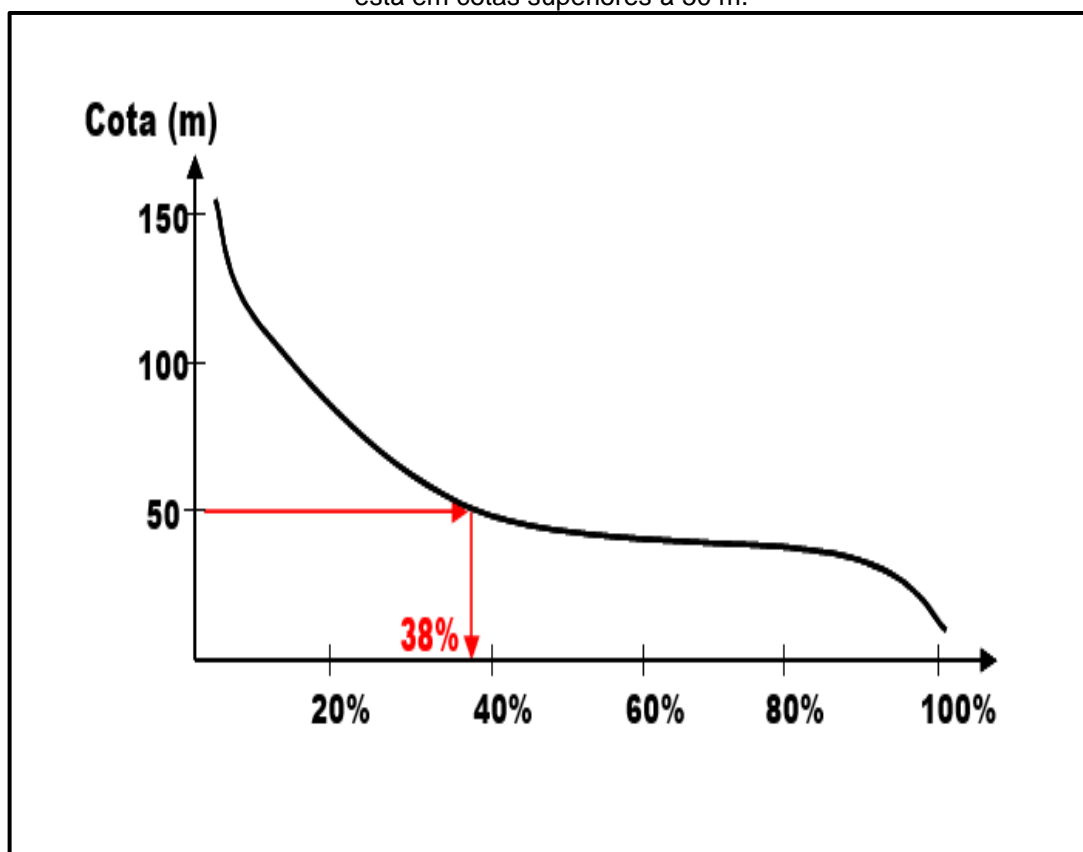
As características do relevo da bacia têm influência direta sobre o escoamento superficial, principalmente na velocidade do escoamento e na maior ou menor tendência ao armazenamento da água na superfície ou depressões do solo. Entretanto, o relevo também influencia a evaporação, a precipitação e a temperatura, por serem função da altitude, dentre outras variáveis. (ROLIM,2004).

- Declividade da bacia: bacia com maior declividade tende a ter maior velocidade do escoamento e ser mais susceptível à erosão do solo, caso este esteja descoberto; a declividade da bacia é geralmente estimada pelo método das quadrículas, analisando as curvas de nível do terreno. O referido método foge ao escopo desta disciplina e não é descrito neste texto.
- Declividade do curso d'água principal: para dois pontos quaisquer do curso d'água, a declividade é determinada pela relação entre a diferença total de elevação do leito (cotas) e a distância horizontal entre eles:

$$Dc = \frac{\Delta Cota}{dist. horiz.} \quad \text{EQ19}$$

- Curva hipsométrica: representação gráfica do relevo médio da bacia, indicando para cada cota do terreno a porcentagem da área da bacia situada acima ou abaixo dessa cota. A Figura 14 mostra um exemplo típico de uma curva hipsométrica, na qual 38% da área da bacia está situada acima da cota 50 m.

Figura 14 – Exemplo de uma curva hipsométrica, segundo a qual, por exemplo, 38% da área da bacia está em cotas superiores à 50 m.



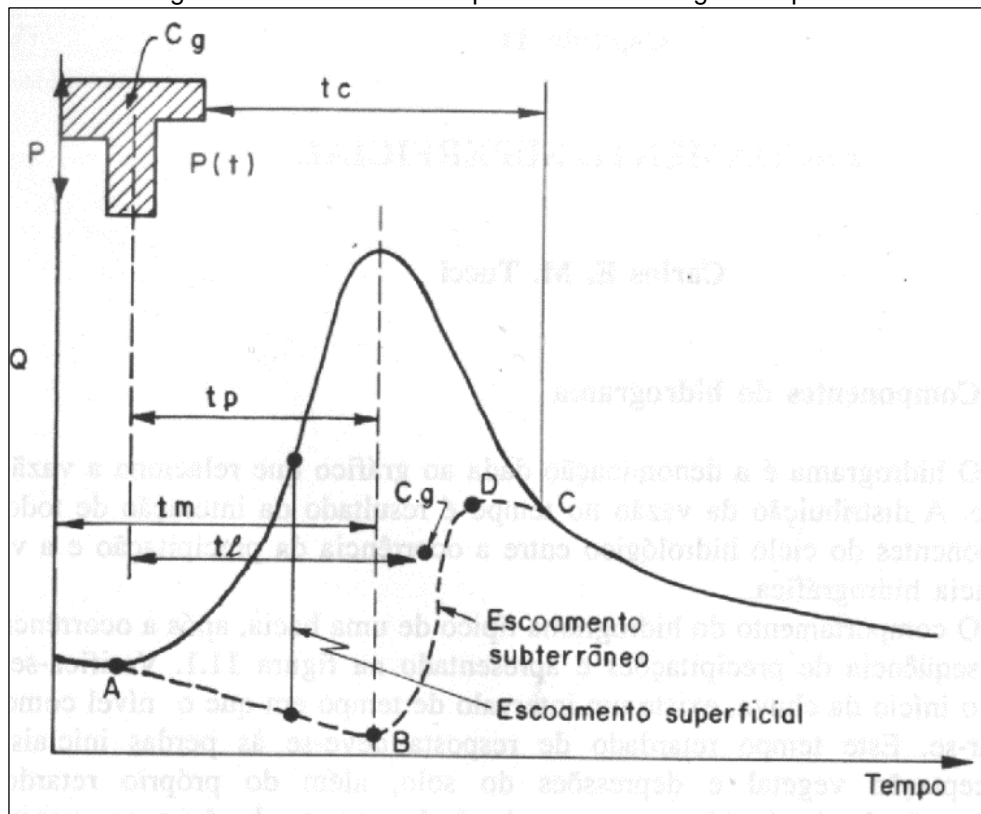
Fonte: ROLIM, 2004.

#### 2.1.3.8 Hidrograma Unitário

Segundo Porto *et al.* (1999), hidrograma unitário é um hidrograma de escoamento superficial direto, onde a área sob a curva corresponde a um volume unitário de escoamento superficial direto, resultante de uma chuva efetiva com intensidade e duração unitárias. Este método visa possibilitar a determinação do hidrograma de projeto de uma bacia hidrográfica qualquer seja a sequência de eventos chuvosos.

conforme, Tomaz (2013), o hidrograma unitário possui intensidade de chuva efetiva constante durante uma determinada tormenta onde produz o hidrograma unitário. A chuva efetiva está distribuída uniformemente em toda a área da bacia. O tempo de duração do deflúvio superficial é devido a ocorrência da chuva efetiva que possui.

Figura 15: Parâmetros temporais de um hidrograma típico.



Fonte: Tucci (1998).

Tempo de retardo  $t_l$

Tempo entre os intervalos dos os centros de gravidade do hidrograma e do hietograma;

Tempo de pico  $t_p$

Tempo entre o intervalo do centro de gravidade do hietograma e o tempo em que ocorre o pico do hidrograma;

Tempo de recessão

Tempo entre o intervalo de pico e o ponto C, onde acaba o escoamento superficial;

Tempo de ascensão  $t_m$

Tempo entre o intervalo de início da chuva e o pico do hidrograma;

Tempo de concentração  $t_c$

Tempo entre o intervalo de fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma;

Tempo de base

Intervalo de tempo de duração do escoamento superficial direto, corresponde ao trecho AC.

### 2.1.3.8.1 Tempo de Retorno ( $T_r$ )

Jabôr (2015) define tempo de recorrência, podendo ser denominado também como: período de recorrência, período de retorno ou tempo de retorno como sendo a média de anos em que se pode ocorrer ou ser superado um dado evento. Indica por análise de frequência o espaço médio entre eventos maiores ou iguais que uma dada grandeza ou a probabilidade de que tal evento aconteça em um ano qualquer. O valor do tempo de ocorrência é proporcional aos valores das vazões, ou seja, se aumentar o valor do tempo de ocorrência aumenta-se os valores da vazão, fazendo com que a obra tenha um coeficiente de segurança maior.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2005), escolher o período de recorrência e a vazão para projetar uma obra de engenharia, depende da sua importância e do resultando na escolha de um valor para poder saber qual o risco de superação adequado à segurança da rodovia.

Cada projeto de drenagem deve ser analisado o tempo de recorrência, entretanto são recomendados os seguintes períodos de recorrência apresentado na tabela 1 apresenta, sendo um determinado tempo de recorrência para cada tipo de obra de drenagem. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT 2006)

Tabela 1 - Tempo de recorrência recomendado

<b>Tipo de dispositivo de drenagem</b>	<b>Tempo de recorrência (anos)</b>
Drenagem Superficial.	5 a 10
Drenagem Sub-superficial.	10
Bueiros tubulares.	15 (como canal) ou 25 (como orifício)
Bueiros celulares.	25 (como canal) ou 50 (como orifício)
Pontilhão.	50
Ponte.	100

Fonte; Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006).

### 2.1.3.8.2 Tempo de Concentração ( $T_c$ )

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2005), o tempo de concentração pode ser representado no hidrograma unitário, onde está definido pelo intervalo de tempo entre o início de uma precipitação até instante que a vazão está sendo contribuída por todos os pontos da bacia, que é um fator de importância na conformação e na descarga máxima da enchente do projeto.

Na prática, há diversas equações empíricas que correlacionam aspectos físicos da bacia com o tempo de concentração, sendo uma forma usual de estimar esse parâmetro.

Kirpich

$$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad \text{EQ20}$$

Onde;

$t_c$  é o tempo de concentração (min);

$L$  é o comprimento do rio principal (km);

$S$  é a declividade do rio principal (m/m);

California Culverts Practice

$$t_c = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385} \quad \text{EQ21}$$

Onde;

$t_c$  é o tempo de concentração (min);

$L$  é o comprimento do rio principal (km);

$H$  é a diferença de cota entre o exutório e o ponto mais a montante (m);

Ven Te Show

$$t_c = 0,8773 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0,64} \quad \text{EQ22}$$

Onde;

$t_c$  é tempo de concentração em horas;

$L$  é o estirão em Km;

$i$  a declividade do rio principal em m//km;

### 2.1.3.8.3 Tempo de Pico

“É o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazões do hidrograma.” (TUCCI, 1993)

É o tempo em que decorre uma máxima de cheia na bacia considerada, sendo também expresso em horas.

$$t_p = 0,5 \cdot t_r + 0,6 \cdot t_c \quad \text{EQ23}$$

Onde;

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

#### 2.1.3.8.4 Tempo de base

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.

$$t_b = 2,67 \cdot t_p \quad \text{EQ24}$$

#### 2.1.4 Preenchimento de Falhas

Para realizar o preenchimento de falhas em séries de dados de precipitação, tornando-as contínuas, são usualmente empregados os métodos da ponderação regional, regressão linear, combinação dos dois anteriores e Inverse Distance Weighted.

##### 2.1.4.1 Método da Ponderação Regional

Este método consiste em estimar a precipitação ocorrida no posto com falha considerando-a proporcional às precipitações em postos vizinhos, sendo o fator de proporcionalidade função da precipitação média em tais postos, levando em consideração ainda a precipitação média no próprio posto com falha. (ROLIM, 2004).

Por exemplo, considerando que em uma série de dados de um posto X tenham sido encontradas falhas, e considerando que existem os postos Y, Z e W situados em regiões de clima semelhante e com dados disponíveis, as falhas citadas podem ser preenchidas pela seguinte equação, conforme o método da ponderação regional:

$$P_X = \frac{1}{3} \left( \frac{P_Z}{P_{Zm}} + \frac{P_Y}{P_{Ym}} + \frac{P_W}{P_{Wm}} \right) \cdot P_{Xm} \quad \text{EQ25}$$

Onde  $P_{Xm}$ ,  $P_{Ym}$ ,  $P_{Zm}$  e  $P_{Wm}$  são as precipitações médias nos postos X, Y, Z e W, respectivamente;  $P_X$  é a precipitação no posto X a determinar;  $P_Y$ ,  $P_Z$  e  $P_W$  são as precipitações nos postos Y, Z e W, respectivamente, no intervalo de tempo referente àquele da precipitação no posto X a determinar.

Esse método é normalmente usado para séries mensais ou anuais, não sendo recomendado para séries diárias, devido à grande variabilidade temporal e espacial da precipitação.

##### 2.1.4.2 Método da Regressão Linear

Outro método de preenchimento de falhas de dados de precipitação consiste em utilizar a técnica da regressão linear simples ou múltipla, segundo a qual a precipitação no posto com falhas é correlacionada estatisticamente com a precipitação em um posto vizinho com dados disponíveis, no caso da regressão simples, ou vários postos vizinhos, no caso da regressão múltipla.

Basicamente, o referido método consiste em ajustar uma equação do tipo (para regressão linear múltipla):

$$P_X = a \cdot P_Y + b \cdot P_Z + c \cdot P_W + d \quad \text{EQ26}$$

Onde  $P_X$  é a precipitação a ser determinada no posto X com falha;  $P_Y$ ,  $P_Z$  e  $P_W$  são as precipitações nos postos vizinhos Y, Z e W, respectivamente;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  são coeficientes a ajustar com base nas séries de dados disponíveis dos quatro postos.

O método mais comum de determinar os coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  é o método dos mínimos quadrados, que procura ajustar tais valores de modo a minimizar o somatório do quadrado das distâncias de cada valor em relação à média e cuja descrição foge ao escopo deste texto, mas é facilmente encontrada em qualquer livro de Estatística, como por exemplo Spiegel (1972).

#### 2.1.4.3 Média Aritmética dos Postos Vizinhos

$$P_X = \frac{1}{N} \cdot (P_A + P_B + P_C) \quad \text{EQ27}$$

Onde  $P_X$  é a precipitação a ser determinada no posto X,  $N$  a quantidade de postos, e  $P_A, P_B, P_C$ , os diferentes postos.

#### 2.1.4.4 Interpolador Inverse Distance Weighted (IDW)

O método Inverse Distance Weighted (IDW) prediz um valor para algum local não medido utilizando-se os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta. Desta forma, a influência de cada ponto é proporcional ao inverso da distância do nó da malha. (Vargas, Gasparetto, Belladonna, & Duarte, 2018).

O sistema IDW pode ser caracterizado como um interpolador tanto suavizante quanto exato, do tipo global, razoavelmente fiel aos dados amostrados, com rápida velocidade de processamento e que não estima valores do ponto vizinho amostrado maiores ou menores que os quantitativos máximos e mínimos dos dados informados. (Vargas, Gasparetto, Belladonna, & Duarte, 2018).

O método é dado pela equação 26.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad \text{EQ28}$$

Sendo,  $Z$ : valor interpolado para o nó do reticulado,  $Z_i$ : valor do ponto amostrado vizinho ao nó,  $h_{ij}$ : distância entre o nó da grade e  $Z_i$ ,  $\beta$ : expoente de ponderação,  $n$ : número de pontos amostrados utilizados para interpolar cada nó.

### 2.1.5 Determinação de Precipitação Média

Os postos pluviométricos registram a precipitação pontual, naquele local onde estão instalados e, devido à variabilidade espacial e temporal da precipitação, as medições em postos geograficamente próximos são distintas. Para os estudos hidrológicos acerca de uma bacia hidrográfica, uma das informações mais imprescindíveis é o regime pluviométrico da região. Uma forma, então, de incorporar as medições pontuais dos postos e especializar tais informações para a área da bacia é determinando a precipitação média. (ROLIM, 2004).

Com base nos dados disponíveis de postos inseridos na área da bacia hidrográfica ou em regiões próximas, costuma-se estimar a precipitação média em uma bacia empregando o método aritmético, o método de Thiessen ou o método das isoietas.

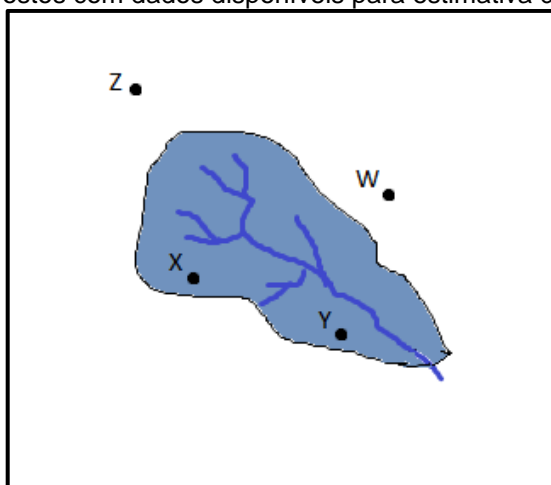
#### 2.1.5.1 Método Aritmético

Esse método é o mais simples e consiste apenas em obter a precipitação média a partir da média aritmética das precipitações nos postos selecionados. Assim, supondo que estejam disponíveis dados dos postos X, Y, Z e W, a precipitação média na bacia da Figura 10 pode ser estimada como:

$$P_m = \frac{P_X + P_Y + P_Z + P_W}{4} \quad \text{EQ29}$$

onde  $P_X$ ,  $P_Y$ ,  $P_Z$ ,  $P_W$ , são as precipitações nos postos X, Y, Z e W, respectivamente, e  $P_m$  é a precipitação média na bacia.

Figura 16 – Postos com dados disponíveis para estimativa da precipitação.



Fonte: Elaborado Pelo Autor.

### 2.1.5.2 Método de Thiessen

Esse método determina a precipitação média em uma bacia a partir das precipitações observadas nos postos disponíveis, incorporando um peso a cada um deles, em função de suas “áreas de influência”. Com base na disposição espacial dos postos, são traçados os chamados polígonos de Thiessen, que definem a área de influência de cada posto em relação à bacia em questão. (ROLIM, 2004).

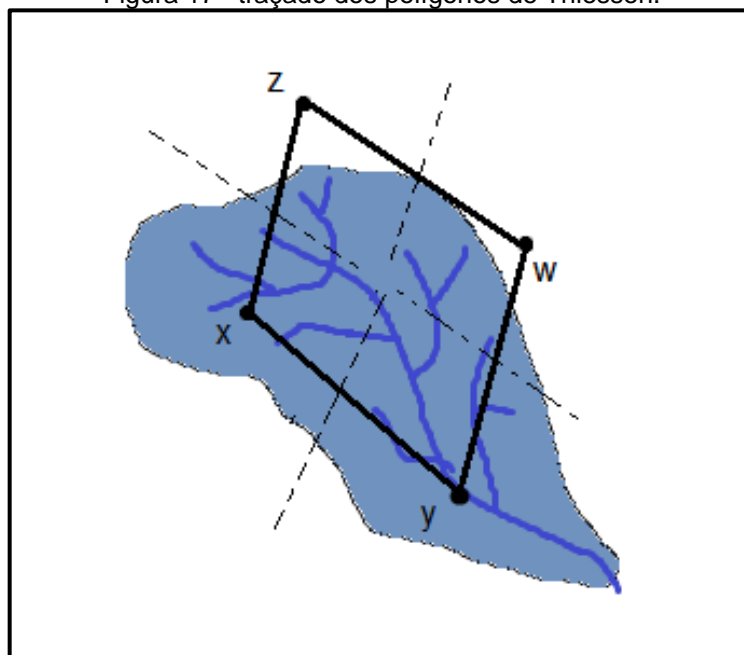
Dessa forma, a precipitação média é obtida pela ponderação dos valores registrados em cada posto e de suas áreas de influência. Considerando quatro postos com informação disponível (postos X, Y, Z e W), a precipitação média estimada por esse método é:

$$P_m = \frac{A_X \cdot P_X + A_Y \cdot P_Y + A_Z \cdot P_Z + A_W \cdot P_W}{A} \quad \text{EQ30}$$

onde:  $P_X$ ,  $P_Y$ ,  $P_Z$ ,  $P_W$  são as precipitações nos postos X, Y, Z e W, respectivamente;  $A_X$ ,  $A_Y$ ,  $A_Z$ ,  $A_W$  são as áreas de influência dos postos X, Y, Z e W;  $P_m$  é a precipitação média na bacia; A é a área da bacia que, no caso, corresponde à soma das áreas  $A_X$ ,  $A_Y$ ,  $A_Z$ ,  $A_W$ .

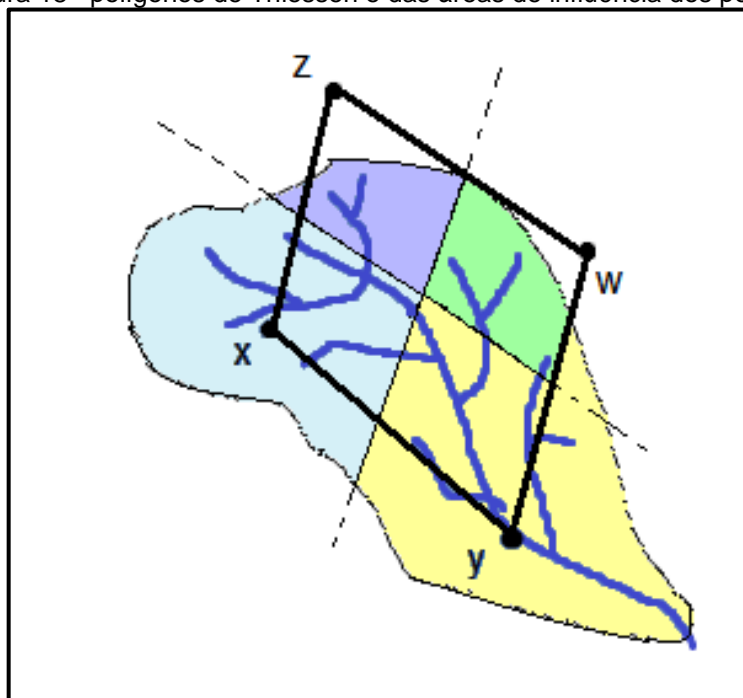
Para o traçado dos polígonos de Thiessen, inicialmente os postos são unidos por linhas retas formando um polígono; em seguida, são traçadas retas perpendiculares aos segmentos que unem os postos, essas retas perpendiculares são prolongadas (Figura 17) até o cruzamento com as demais, definindo os polígonos de Thiessen e, portanto, as áreas de influência de cada posto na bacia (Figura 18).

Figura 17 –traçado dos polígonos de Thiessen.



Fonte: Elaborado Pelo Autor.

Figura 18 –polígonos de Thiessen e das áreas de influência dos postos.

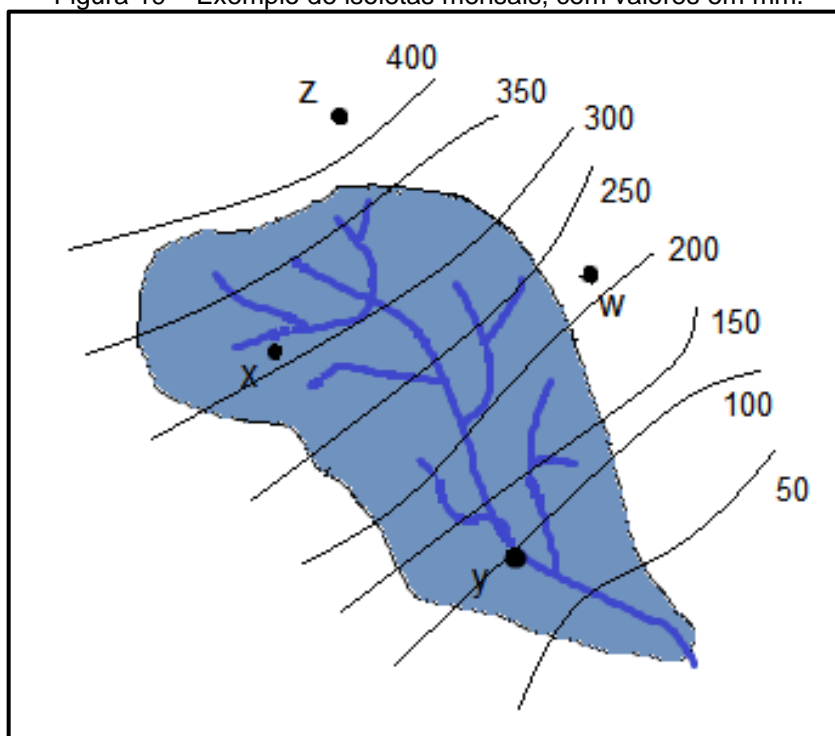


Fonte: Elaborado Pelo Autor.

#### 2.1.5.3 Método das Isoietas

As isoietas são determinadas por interpolação a partir dos dados disponíveis nos postos da área em estudo, podendo depois ser ajustadas conforme o relevo. Na Figura 19 é apresentado um exemplo fictício das isoietas em uma bacia hidrográfica, correspondendo a valores mensais.

Figura 19 – Exemplo de isoietas mensais, com valores em mm.



Fonte: Elaborado Pelo Autor.

A precipitação média na bacia pode ser obtida, portanto, a partir das isoietas traçadas, fazendo uma média ponderada em função das áreas entre duas isoietas consecutivas e o valor médio entre elas, como mostra a expressão a seguir:

$$P_m = \frac{\sum \left( A_{i,i+1} \cdot \left( \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \right)}{A} \quad \text{EQ31}$$

onde  $A_{i,i+1}$  é a área entre a isoietas  $i$  e a consecutiva  $i+1$ ;  $P_i$  e  $P_{i+1}$  são as precipitações referentes às isoietas  $i$  e  $i+1$ ;  $P_m$  é a precipitação média na bacia; e  $A$  é a área da bacia que, no caso, é equivalente ao somatório das áreas entre as isoietas.

### 2.1.6 Vazão: Método Racional

O método racional consiste em determinar a descarga máxima de uma bacia através de uma expressão onde o valor desta descarga está relacionado com a área da bacia e a intensidade da chuva. Este método exige a determinação de um parâmetro único que expressa o comportamento que a área exerce na formação do deflúvio, este parâmetro é denominado como coeficiente de deflúvio, onde representa a relação existente entre vazão e precipitação. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT, 2006).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006), o método racional é utilizado de acordo com a área da bacia, portanto a área para análise tem que ser menor ou igual a 4 km<sup>2</sup>.

Seguinte equação para cálculo:

$$Q = \frac{C.i.A}{36 \times 10^4} \quad \text{EQ32}$$

Onde:

Q = Vazão ou descarga máxima (m<sup>3</sup>/s);

i = Intensidade, duração e frequência de chuva (mm/h);

C = Coeficiente de deflúvio (adimensional);

A = Área de contribuição (km<sup>2</sup>);

### 2.1.7 Vazão: Método Racional Corrigido

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), para as bacias hidrográficas que possuírem área entre 4 km<sup>2</sup> e 10 km<sup>2</sup>, é necessário utilizar o método racional corrigido. Sendo assim, a fórmula para a determinação da vazão através do método racional corrigido é representada pela equação 33:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A^n \quad \text{EQ33}$$

Onde:

i = Intensidade, duração e frequência de chuva (mm/h);

C = Coeficiente de deflúvio (adimensional);

A = Área de contribuição (km²);

n = Coeficiente de distribuição.

De acordo com Tucci (2002), coeficiente de deflúvio é conhecido como coeficiente de Runoff onde tem definição de ser a razão entre o volume de total precipitado e o volume total do escoamento superficial. Os valores do coeficiente de escoamento são indicados pela tabela 2, onde cada valor depende do tipo de solo e revestimento. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT 2006)

Tabela 2 - Coeficientes de escoamento superficial.

<b>Características da superfície</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>
Revestimento de concreto de cimento Portland	0,70 – 0,90
Revestimento betuminoso	0,80 – 0,95
Revestimento primário	0,40 – 0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40 – 0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10 – 0,30
Taludes gramados	0,50 – 0,70
Prados e campinas	0,10 – 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 – 0,30

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006).

### 2.1.8 Método Hidrograma Unitário Triangular – SCS

Segundo, Da Paz (2004), o método SCS baseia-se em estudos que procuram correlacionar a precipitação de uma chuva unitária e CN, onde a precipitação efetiva é representada pela equação 34.

$$P_e = \frac{(P - \frac{5080}{CN} + 50,8)^2}{(P - \frac{20320}{CN} - 203,2)} \quad \text{EQ34}$$

Onde:

P = Precipitação para uma chuva unitária (mm);

Pe = Precipitação efetiva (mm); CN = Curver Number.

### 2.1.9 Método do SCS Curve Number

O Soil Conservation Service (SCS) do Departamento de Agricultura dos estados Unidos propôs um método simplificado para estimar o escoamento superficial em pequenas bacias rurais. Esta estimativa se baseia em dados que são relativamente facilmente obtidos, como uso e cobertura do solo, precipitação e tipo de solo. O método se popularizou em estudos hidrológicos devido à sua fácil aplicação. Posteriormente, maneiras de estimar os parâmetros de entrada a partir de imagens de satélite foram propostos, como o estudo de Ragan; Jackson (1980). O método consiste em estimar a chuva efetiva, a parcela do volume precipitado que forma o escoamento superficial, e com isto o escoamento superficial.

A chuva efetiva é dada por:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{EQ35}$$

Onde

Pe: precipitação efetiva acumulada;

P: precipitação acumulada;

Ia: perda inicial;

S: retenção potencial máxima;

A perda inicial representa as perdas por armazenamento. Somente após o preenchimento dessa parcela é que pode haver escoamento superficial. O método sugere que (Ia) seja uma parcela de S, conforme a relação abaixo:

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad \text{EQ36}$$

A capacidade de recarga máxima está associada às características físicas da bacia, em termos de solos e cobertura vegetal.

$$S = \left( \frac{24500}{CN} \right) - 254 \quad \text{EQ37}$$

Onde

S: retenção potencial máxima, em mm;

CN: número de deflúvio;

Para seu cálculo, é necessário determinar o parâmetro CN, Curve Number, que é um valor tabelado que descreve a combinação de tipo de solo, a umidade antecedente e o uso e cobertura na bacia.

Como uma bacia não apresenta características uniformes em termos de solo e cobertura vegetal, o valor representativo da bacia pode ser obtido ponderando cada valor presente na bacia pela proporção de área associada a este valor:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n cn_i a_i}{A} \quad \text{EQ38}$$

Onde

CN = número da curva;

A= área da bacia;

cn = número da curva de uma parte da bacia;

a = área associada a um número de curva na bacia.

### 2.1.10 Solos

O solo, juntamente da luz solar, o ar e a água, é um dos quatro condicionantes da vida na Terra (Lepsch, 2002). A Pedologia, que afamou como ciência por volta da segunda metade do século XIX, estuda o solo como um adequado e peculiar corpo vivo da natureza. No entanto, antes de chegar à qualidade de ser estudado na conformação de uma ciência, com seus vários ramos, muitas vezes o solo foi avaliado como um simples meio de suporte às plantas, ou um mero fornecedor de subsídios nutritivos, ou ainda um simples manto de intemperismo das rochas (ESPINDOLA, 2008).

Neste sentido, a definição de solo varia de acordo com a especialidade, formação, utilidade e ponto de vista com que tal recurso é analisado. Multiplicidades de características surgem em função da abordagem utilizada. Enquanto para um agrônomo o solo é a base para o crescimento de vegetais, para o engenheiro civil é o suporte para sua construção; já para o geólogo é o produto do intemperismo das rochas (MILLER, 1993).

No Brasil, o mapeamento de solos possui uma demanda constante, em todo o território nacional, das instituições de pesquisa e órgãos de planejamento, dado que, quando em escala adequada, é uma importante ferramenta para o planejamento da ocupação racional das terras. É comum a carência dessas informações, já que várias são as limitações para a aquisição de dados de solos ou de seus atributos, entre elas o custo elevado dos levantamentos de solos (MENCONÇA, SANTOS & SANTOS, 2003).

O levantamento de solos, combinado com Sistemas de Informação Geográfica, permite que os planejadores de uso da terra tomem importantes decisões sobre alocação de recursos. Os mapas de solos e as informações descritivas finais são usadas de várias formas práticas, tanto por pedólogos como por não pedólogos (BRADY & WEIL, 2010).

Segundo (CAMPOS, 2004), o geoprocessamento constitui uma técnica fundamental para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento.

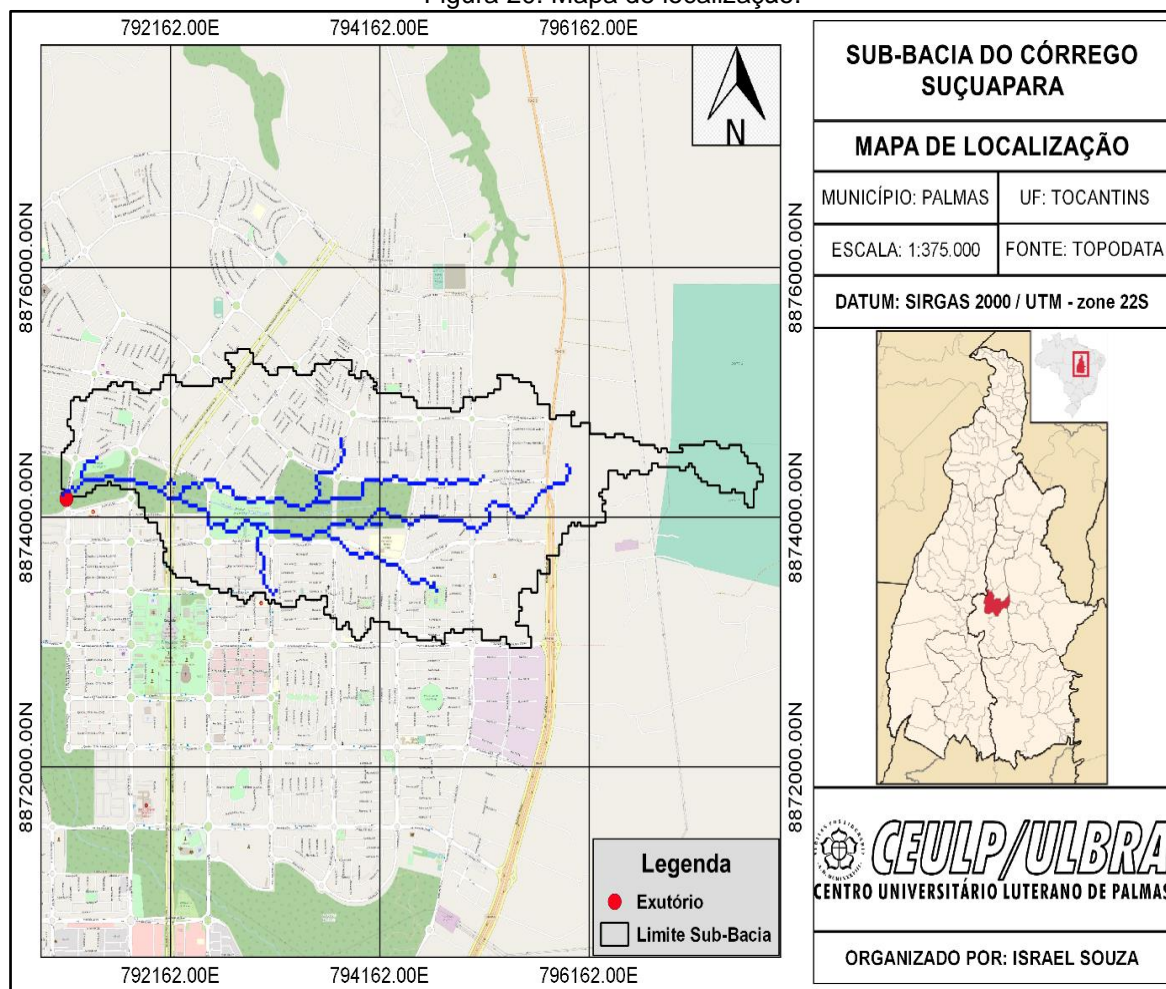
Verifica-se então que a identificação e mapeamento dos solos servem como auxílio para planejamentos agrícolas, levantamentos do uso da terra, estudos de terras para irrigação, monitoramentos ambientais, entre outros. Com isso, o desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre uso da terra, obtidos a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informações sobre uso da terra dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas sensores. (CAMPOS, 2004)

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido na Sub-bacia do Córrego Suçuapara, sendo que a mesma se encontra município de Palmas, conforme demonstrado no mapa de localização abaixo.

Figura 20: Mapa de localização.



Fonte; elaborado pelo autor.

O exutório fictício para o estudo da sub-bacia do córrego suçuapara, se encontra nas coordenadas 10°10'24.7"S 48°20'33.1"W, O período de centralização das precipitações acontece entre os meses de outubro e abril, correspondendo a grande parte da pluviosidade anual, sendo que em compensação entre os meses de maio e setembro é o período considerado seco.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Com intenção de conhecer, e explorar todos os dados pluviométricos para desenvolver histogramas, gráficos, conhecer volume precipitado e todos pontos relacionados, encontrou-se a necessidade de conhecer a região que se encontra a Sub-bacia do córrego suçuapara, para avaliar qual estação ou estações se encontrava mais próxima da Sub-bacia. Todas estações e dados pluviométricos foram buscados e retirados no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

As bases vetoriais, imagens raster e o Modelo Digital de Elevação, que serviram para realizar o georreferenciamento da Sub-bacia, foram buscados e retirados do site da Secretaria da Fazenda e Planejamento - SEPLAN e do site Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA.

### 3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Em direção ao avanço do estudo fez-se necessário a utilização de ferramentas computacionais, são elas Google Earth, AutoCAD, Qgis, ArcGis, Pluvio 2.1, Excel, e Word. Estas ferramentas foram utilizadas para o desenvolvimento e planejamento das atividades, elaboração, criação e organização de dados e informações

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA

Para se conhecer algumas características da sub-bacia, fez-se necessário a utilização do software Qgis, com a utilização de um marcado do Google Earth, localizando o exutório fictício. Iniciou-se a interação de bases vetoriais, imagens raster e o Modelo Digital de Elevação, tornando possível a criação de mapas que possibilitou determinar dados como área, perímetro, cotas de elevação e comprimento do córrego.

Utilizando algumas equações matemática que determinam aspectos de uma bacia ou sub-bacia, pode-se complementar a caracterização, utilizando os dados encontrados com Qgis nas equações, pode se conhecer, declividade média da bacia EQ08, Cota de elevação média da bacia EQ11, fator de forma EQ13, Coeficiente de compacidade EQ15, Densidade De Drenagem EQ16, Sinuosidade do córrego EQ18 e a ordem dos cursos D'água.

### 3.5 CURVAS DE INTENSIDADE-DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF)

com destino a elaborar a curva de intensidade-duração e frequência, para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, levando em consideração o tempo de duração da precipitação, torna-se necessário conhecer os parâmetros ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ ) da equação EQ09, esses parâmetros são encontrados através do software pluvio 2.1, onde esses coeficientes são ajustados para cada região, possibilitando assim conhecer a intensidade de precipitação.

Aplicando a equação EQ09 com os seus coeficientes, para vários intervalos de tempo, pode-se obter várias intensidades de precipitação, gerando assim a curva de intensidade-duração e frequência. Fez-se uma regressão que permitiu comparar o comportamento da intensidade com o tempo de duração.

### 3.6 SÉRIE HISTÓRICA ESTATÍSTICA PLUVIOMÉTRICA

A série Histórica pluviométrica foi busca e retirada no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, os dados foram reorganizados pela maior precipitação diária anual, essa reorganização foi realizada utilizando a ferramenta computacional Excel. Com as precipitações máximas diárias de cada ano do intervalo encontrado, permitiu-se realiza um histograma, que facilitou compreender os dados.

Realizou-se duas distribuições para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, as distribuições realizadas foram a Normal e a Log-normal, para iniciar as distribuições fez-se necessário conhecer a média e os desvio padrão dos dados. A média foi determina pela EQ05 já o desvio padrão foi encontrado através da EQ06, tornando possível assim realiza a distribuição Normal, que é representada pela EQ07 e a distribuição Log-Normal que é encontrada pela EQ08.

### 3.7 CÁLCULO DO MÉTODO RACIONAL CORRIGIDO

A vazão gerada por um evento de chuva é resultado da combinação de dados da própria precipitação com as características da Sub-bacia em questão; dependendo destas duas variáveis, seleciona-se o modelo mais adequado para obtenção da resposta. Um dos métodos mais simples e mais utilizados para obtenção do volume de escoamento superficial é o Método Racional Corrigido, representado pela equação EQ33.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A^n \quad \text{EQ33}$$

Onde:

i = Intensidade, duração e frequência de chuva (mm/h);

C = Coeficiente de deflúvio (adimensional);

A = Área de contribuição (8,45 km²);

n = Coeficiente de distribuição.

Para determinar a intensidade, duração e frequência de chuva, fez necessário conhecer o tempo de concentração da sub-bacia, os métodos escolhidos para ter um comparativo foram, Kirpich demonstrado pela EQ20, Califonia Culverts Practice que é representado pela EQ21 e Ven Te Show simbolizado pela EQ22, logo após encontrar o tempo de concentração, tornou-se possível determinar a precipitação máxima (EQ09) para os tempos de retorno de 50 e 100 anos.

O Coeficiente de deflúvio foi encontrado utilizando uma ponderação entre as áreas de contribuição, analisando a cobertura do solo e determinando a área para cada tipo de cobertura, através da ferramenta computacional Google Earth, tornou-se possível determinar respectivos coeficientes de deflúvio para cada área, encontrando assim um coeficiente médio.

### 3.8 ANÁLISES DA ESTRUTURA DA PONTE

A análise da estrutura partiu da necessidade de se compreender toda a estrutura e suas peculiaridades, e a possível causa do colapso na ala norte da pista sentido sul/norte que se desprende da cabeceira norte, a inspeção da estrutural foi visual. Realizando um acervo fotográfico pode-se importar algumas imagens para o AutoCad, as imagens importadas foram colocadas em escala permitindo assim retirar medidas e ângulos, que possibilitaram compreender o comportamento que a estrutura teve.

Para complementar o estudo da estrutura, algumas informações foram buscadas em uma visita na Secretaria De Infraestrutura E Serviços Públicos do município de Palmas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA

Com auxílio da ferramenta computacional Qgis, permitiu-se, iniciar a caracterização da Sub-bacia do córrego suçuapara, onde pode-se obter a área da sub-bacia que é de 8,45 km<sup>2</sup>, com um perímetro de 24,63554 km<sup>2</sup>, outros dados também encontrados, foi a cota do exutório (235), da nascente do córrego (278), e o comprimento do córrego 2,879 km.

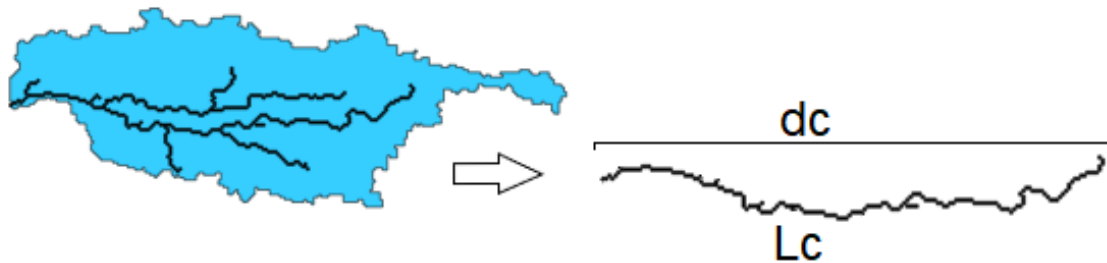
De acordo com os dados encontrados através da ferramenta computacional, fez-se possível determinar a declividade média da bacia EQ10  $S(\%) = 1,49\%$  e sua cota de elevação média da bacia EQ11  $E(m) = 299,5$ , essa menor declividade e elevação média do terreno, aponta que a sub-bacia terá menor velocidade de escoamento, maior o tempo de concentração e menores perspectivas de picos de enchentes.

Outras características encontradas foram fator de forma EQ13  $k_f = 1.019$  e Coeficiente de compacidade EQ15  $K_c = 2,373$ , esses dois coeficientes mostram que a sub-bacia tende para uma forma de um círculo, sendo mais “irregular”, o que implica em uma menor tendência a cheias. A classificação da Densidade de drenagem é representada pela EQ16  $D_d = 0,34$ , esse valor mostra que a sub-bacia tem uma drenagem pobre  $\rightarrow D_d < 0,5 \text{ Km/Km}^2$ .

A Sinuosidade do Curso D'água Principal é representada pela EQ18  $S_c = 1,002$ , esse valor mostra que o canal de drenagem desta sub-bacia não tem forma retilínea, mas também, não podem ser considerados como sinuosos, ou seja, o canal têm uma forma transitória, como demonstra a figura 21.

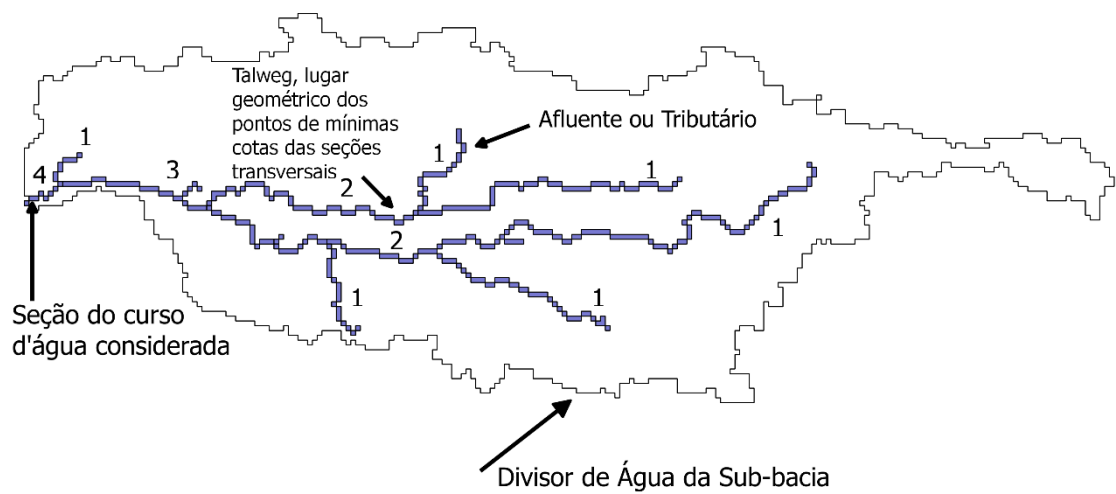
Com relação as ordem dos Cursos D'água, os afluentes de primeira ordem correspondem às nascentes, onde o volume de água ainda é baixo, os de segunda ordem correspondem à junção de dois afluentes de primeira ordem e os de terceira ordem, a junção de dois de segunda, assim sucessivamente, até formar o córrego principal, concluindo assim que a sub-bacia se encontra na ordem 4, demonstrada na figura 22.

Figura 21 – Sinuosidade do curso d'água



Fonte; Elaborado pelo autor

Figura 22 - Ordem dos Cursos D'água Segundo Strahler (2005)

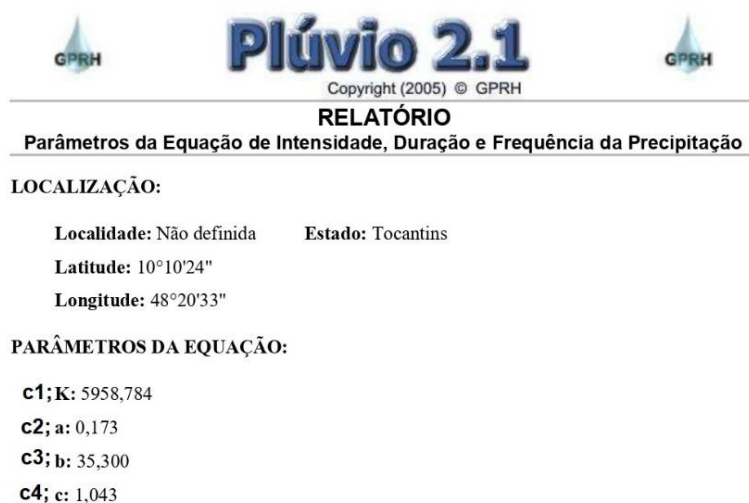


Fonte; Elaborado pelo autor

## 4.2 CURVAS DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA 50 E 100 ANOS

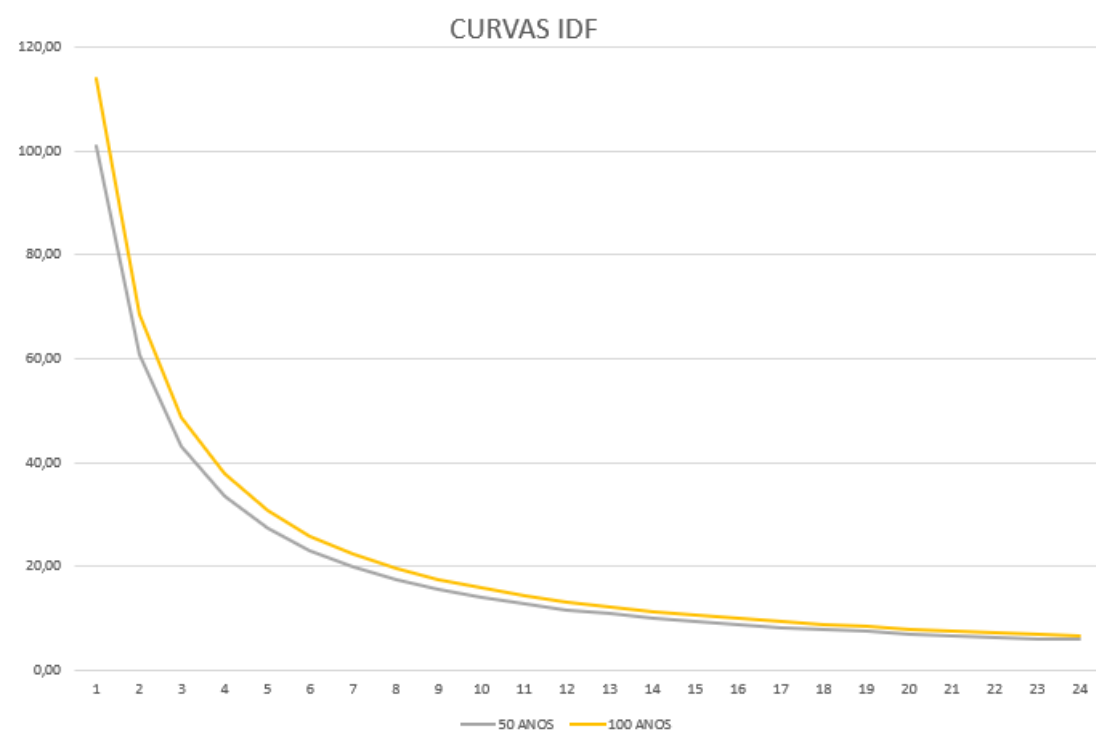
Para a elaboração das curvas de intensidade-duração e frequência, tornou-se necessário conhecer os parâmetros ( $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ ) da equação EQ09, esses coeficientes foram obtidos no software pluvio 2.1 ( $c_1=5958,79$ ;  $c_2=0,173$ ;  $c_3=35,3$ ;  $c_4=1,043$ ), como demonstra a figura 23, possibilitando assim conhecer a intensidade de precipitação. Pode-se realizar uma regressão entre os dados, levando em consideração a intensidade da chuva e sua duração.

Figura 23; Parâmetro para Equação



Fonte; Plúvio 2.1

Gráfico 1 - curvas de intensidade-duração e frequência



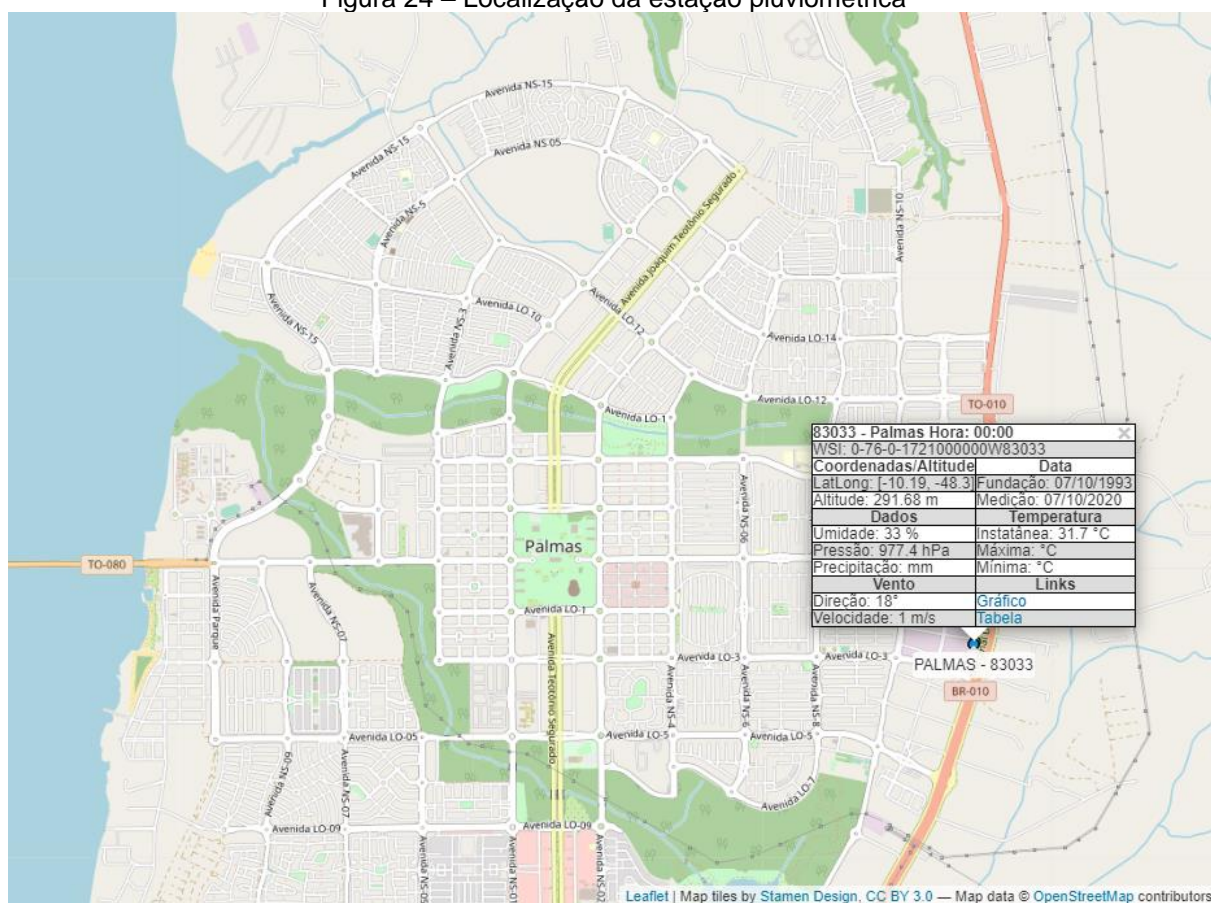
Fonte; Elaborado pelo Autor

### 4.3 DETERMINAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ATRAVÉS DA SÉRIE HISTÓRICA PLUVIOMÉTRICA

Os dados pluviométricos da série histórica foram retirados do site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a estação que se encontra próxima a sub-bacia é a de código 83033, como demonstra a figura 24, realizando a reorganização dos dados através da ferramenta computacional Excel, pode-se elaborar um histograma com as precipitações máximas diárias de cada ano, no intervalo de 1994 a 2019, gráfico 2.

A determinação das precipitações máximas diárias foi realizada através das distribuições Normal EQ07 e Log-Normal EQ08, para realizar a distribuição levou-se em consideração os tempos de retorno de 50 e 100 anos. As precipitações encontradas na figura 25, junto ao tempo de concentração da sub-bacia, permite determinar a intensidade da precipitação em mm/h, essa intensidade é utilizada para determinar a vazão através do método racional corrigido.

Figura 24 – Localização da estação pluviométrica



Fonte; Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Gráfico 2 – Precipitação máxima diária



Fonte; Elaborado pelo Autor

Figura 25; Determinação de Precipitação Máxima através das distribuições Normal e Log-Normal

Ano	Máx diário	lnMáx diário	Tr em anos	50
1994	37,4	3,62	Tr em anos	100
1995	142,2	4,96	Prob. 50 anos	0,02
1996	85,6	4,45	Prob. 100 anos	0,01
1997	95	4,55	Na tab.	0,98
1998	52	3,95	Na tab.	0,99
1999	126	4,84	Z para 50 anos	2,06
2000	109,5	4,7	Z para 100 anos	2,33
2001	92,9	4,53	Média Máx. diário	93,62
2002	55,3	4,01	Média lnMáx. diário	4,48
2003	111,1	4,71	Desvio Pad. Máx. diário	30,23
2004	87,4	4,47	Desvio Pad. lnMáx. diário	0,34
2005	114,1	4,74	lnx=lnTr	-
2006	132,5	4,89	lnTr50	5,18
2007	82,9	4,42	lnTr100	5,27
2008	94,8	4,55	Distribuição Log-Normal	
2009	91,5	4,52		
2010	156,5	5,05		
2011	68,3	4,22	Precipit. Máx. Em mm para Tr 50 anos	177,75
2012	84,1	4,43	Precipit. Máx. Em mm para Tr 100 anos	194,84
2013	77,8	4,35		
2014	116,2	4,76	Distribuição Normal	
2015	61,3	4,12		
2016	72,1	4,28		
2017	132,2	4,88	Precipit. Máx. Em mm para Tr 50 anos	155,89
2018	104,3	4,65	Precipit. Máx. Em mm para Tr 100 anos	164,06
2019	51,2	3,94		

Fonte; Elaborado Pelo Autor

#### 4.4 CÁLCULO DE VAZÃO UTILIZANDO O MÉTODO RACIONAL CORRIGIDO

Uma Sub-bacia é um conjunto que transforma a precipitação em vazão, essa vazão que é gerada, fundamenta o estudo hidrológico, fez-se assim necessário conhecer a vazão que é gerada por um evento de chuva, que é resultado da combinação de dados da própria precipitação com as características da Sub-bacia em questão.

Os dados para se determinar a vazão são apresentados na tabela 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20. Com as características da Sub-bacia foi possível determinar os tempos de concentração EQ20, EQ21 e EQ22, as precipitações máximas foram determinadas pela série histórica pluviométrica utilizando as distribuições Normal e Log-normal, e pela EQ09 que termina a precipitação pelo tempo de retorno e o tempo de concentração, utilizando os parâmetros da região ( $c_1=5958,79$ ;  $c_2=0,173$ ;  $c_3=35,3$ ;  $c_4=1,043$ ), as vazões foram encontradas através do método racional corrigido que representado pela EQ33.

Tabela 3; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Kirpich

L (km)	S (m/m)	T <sub>c</sub> (min)	Tr (anos)	i (mm/h)	A (km <sup>2</sup> )	C	n	Q (m <sup>3</sup> /s)
2,879	0,01494	45,43	50	120,24	8,45	0,63	1	177,94

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 4; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método California Culverts Practice

L (km)	H (m)	T <sub>c</sub> (min)	Tr (anos)	i (mm/h)	A (km <sup>2</sup> )	C	n	Q (m <sup>3</sup> /s)
2,879	43	45,44	50	120,54	8,45	0,63	1	178,39

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 5; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Ven Te Show

L (km)	I (m/km)	T <sub>c</sub> (min)	Tr (anos)	i (mm/h)	A (km <sup>2</sup> )	C	n	Q (m <sup>3</sup> /s)
2,879	14,94	43,59	50	123,16	8,45	0,63	1	182,27

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 6; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Kirpich

L (km)	S (m/m)	T <sub>c</sub> (min)	Tr (anos)	i (mm/h)	A (km <sup>2</sup> )	C	n	Q (m <sup>3</sup> /s)
2,879	0,01494	45,43	100	135,46	8,45	0,63	1	200,47

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 7; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método California Culverts Practice

<b>L (km)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	43	45,44	100	135,54	8,45	0,63	1	200,59

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 8; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da EQ09, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Ven Te Show

<b>L (km)</b>	<b>I (m/km)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	14,94	43,59	100	138,86	8,45	0,63	1	205,50

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 9; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Kirpich

<b>L (km)</b>	<b>S (m/m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	0,01494	0,76	50	177,75	233,88	8,45	0,63	1	346,13

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 10; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método California Culverts Practice

<b>L (km)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	43	0,757	50	177,75	234,80	8,45	0,63	1	347,50

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 11; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Ven Te Show

<b>L (km)</b>	<b>I (m/km)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	14,94	0,76	50	177,75	233,88	8,45	0,63	1	346,13

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 12; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Kirpich

<b>L (km)</b>	<b>S (m/m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	0,01494	0,76	100	194,84	256,36	8,45	0,63	1	379,40

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 13; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método California Culverts Practice

<b>L (km)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km²)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m³/s)</b>
2,879	43	0,757	100	194,84	257,38	8,45	0,63	1	380,91

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 14; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Log-Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Ven Te Show

<b>L (km)</b>	<b>I (m/km)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	14,94	0,76	100	194,84	256,36	8,45	0,63	1	379,40

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 15; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Kirpich

<b>L (km)</b>	<b>S (m/m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	0,01494	0,76	50	155,89	205,11	8,45	0,63	1	303,56

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 16; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método California Culverts Practice

<b>L (km)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	43	0,757	50	155,89	205,93	8,45	0,63	1	304,76

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 17; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 50 anos, utilizando o método Ven Te Show

<b>L (km)</b>	<b>I (m/km)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	14,94	0,76	50	155,89	205,11	8,45	0,63	1	303,56

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 18; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Kirpich

<b>L (km)</b>	<b>S (m/m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	0,01494	0,76	100	164,06	215,86	8,45	0,63	1	319,47

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 19; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método California Culverts Practice

<b>L (km)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	43	0,757	100	164,06	216,72	8,45	0,63	1	320,74

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 20; Dados para cálculo de Vazão, precipitação determinada através da distribuição Normal, com tempo de retorno de 100 anos, utilizando o método Ven Te Show

<b>L (km)</b>	<b>I (m/km)</b>	<b>Tc (h)</b>	<b>Tr (anos)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>i (mm/h)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
2,879	14,94	0,76	100	164,06	215,86	8,45	0,63	1	319,47

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 21; Resumo de Vazões Para Tempo de Retorno de 50 anos

<b>Resumo de vazões Para Tempo de Retorno de 50 anos</b>	<b>Q (m³/s)</b>
Tempo de Concetração Pelo Método Kirpich EQ20	-
Precipitação Máxima determinada através da EQ09	177,94
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Log-Normal	346,13
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Normal	303,56
Tempo de Concetração Pelo Método Califonia Culverts Practice EQ21	-
Precipitação Máxima determinada através da EQ09	178,39
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Log-Normal	347,5
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Normal	304,76
Tempo de Concetração Pelo Método Ven Te Show EQ22	-
Precipitação Máxima determinada através da EQ09	182,27
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Log-Normal	346,13
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Normal	303,56

Fonte; Elaborado pelo autor

Tabela 22; Resumo de Vazões Para Tempo de Retorno de 100 anos

<b>Resumo de vazões Para Tempo de Retorno de 100 anos</b>	<b>Q (m³/s)</b>
Tempo de Concetração Pelo Método Kirpich EQ20	-
Precipitação Máxima determinada através da EQ09	200,47
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Log-Normal	379,4
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Normal	319,47
Tempo de Concetração Pelo Método Califonia Culverts Practice EQ21	-
Precipitação Máxima determinada através da EQ09	200,59
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Log-Normal	380,91
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Normal	320,74
Tempo de Concetração Pelo Método Ven Te Show EQ22	-
Precipitação Máxima determinada através da EQ09	205,5
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Log-Normal	379,4
Precipitação Máxima determinada através da distribuição Normal	319,47

Fonte; Elaborado pelo autor

vazões extremas são importantes em projetos de obras hidráulicas e estabelecimento de níveis seguros para elaboração de projetos para execução de pontes, podemos observar que mesmo com a utilização de três diferentes métodos que permitiram determinar o tempo de concentração levando em consideração as característica e o comportamento da precipitação na sub-bacia, ocorreu uma grande variação nas vazões.

Para determinar as vazões fez necessário determinar as precipitações máximas, que foram encontradas através de três diferentes métodos, pela equação de chuva EQ09, que não leva em consideração a série histórica pluviométrica, e sim os coeficientes da região da sub-bacia, e pelas distribuições estatísticas normal EQ07 e log-normal EQ08, que são aplicadas na série histórica pluviométrica.

As tabelas 3, 4 e 5, apresenta as vazões que se levou em consideração o tempo de retorno de 50 anos e foi utilizado a precipitação determinada através da equação de chuva EQ09. Já as tabelas 6, 7 e 8, foi utilizado os mesmos fatores, só que para um tempo de retorno de 100 anos.

A determinação das vazões apresentadas nas tabelas 9, 10, 11, 12, 13 e 14, foi utilizado a precipitação encontrada através da distribuição log-normal EQ07, levando em consideração os tempos de retorno de 50 e 100 anos. Para definir as vazões presentes nas tabelas 15, 16, 17, 18, 19 e 20, foi empregue a precipitação determinada através da distribuição normal EQ08.

Pode-se observar nas tabelas 21 e 22, que teve uma grande variação entre as vazões que foram determinadas através das precipitações definidas pela equação de chuva e pelas precipitações encontradas através das distribuições estáticas, Normal e Log-normal. As menores vazões encontras tanto para o tempo de retorno de 50 anos como para 100 anos, foi as que foram determinas com as precipitações encontradas através da equação de chuva EQ09, isso demonstra que a probabilidade de ser superada é maior.

Já as vazões encontradas através da determinação das chuvas máximas, pelas distribuições normal e log-normal, apresenta menor probabilidade de ser superada, já que ela leva em consideração a série histórica de precipitações que ocorreu na sub-bacia. Com a probabilidade estática projetando essa série histórica para os tempos de retorno de 50 e 100 anos.

A variação de precipitação máxima entre a distribuição normal e log-normal, ocorre, pois, a distribuição normal tende a subestimar os valores, quanto maior foi o tempo de retorno maior será essa variação entre os valores, como podemos observar nas tabelas 21 e 22. Em vista disso as vazões encontradas pela determinação das precipitações máximas através da distribuição log-normal, são as mais adequadas para elaboração do projeto, pois a probabilidade de ser superada é a menor em relação as outras, gerando segurança.

#### 4.5 ANÁLISES DA ESTRUTURA DA PONTE

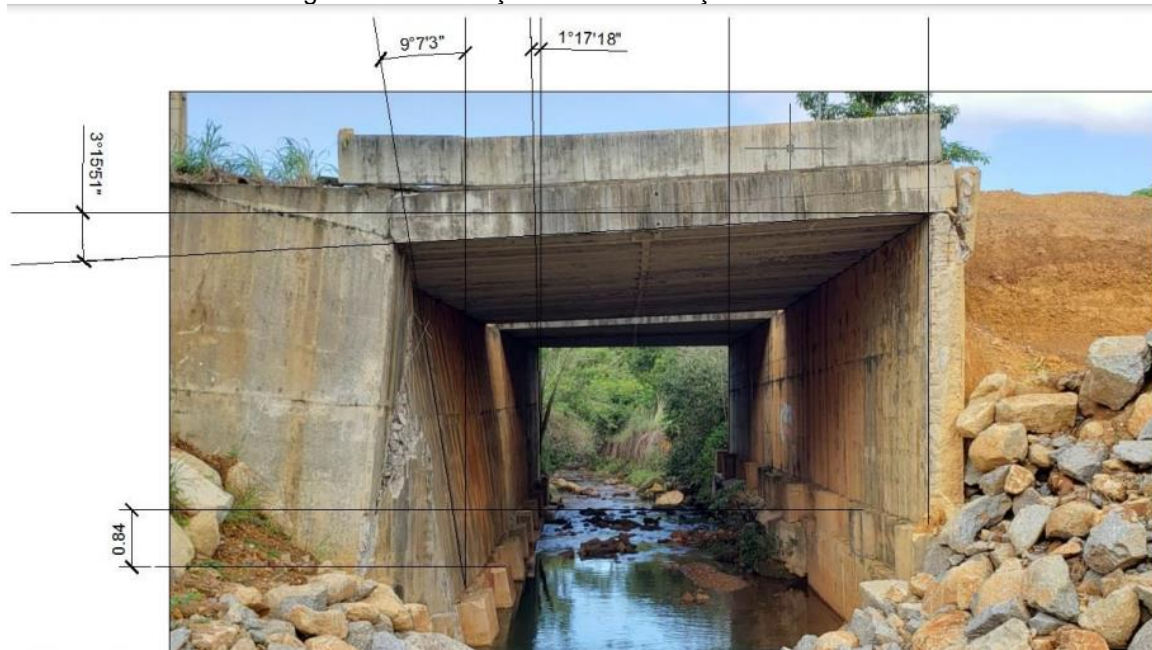
A mesoestrutura possui duas cabeceiras, uma Norte e uma Sul, ambas abrangendo as duas pistas. Verificou-se também que após a largura da ponte, a estrutura possui Alas para a contenção do aterro, o aterro estava sendo contido com lastro de pedra. A superestrutura é executada em longarinas de concreto protendido, a peça possui oitenta centímetros de altura para um vão de dez metros.

Verificou-se que, as Alas da ponte, tem função de apoio das vigas pré-moldadas (simplesmente apoiadas) e contenção do aterro, que é da ordem de 6,00 metros, na cabeceira de jusante. A altura entre o fundo da viga pré-moldada e o leito do córrego na cabeceira de montante é de nove metros.

Conforme demonstra a figura 26, na cabeceira sul ocorreu um tombamento de, aproximadamente, 9º graus, na pista Sentido Sul/Norte, e de, aproximadamente, 1º na pista Sentido Norte/Sul, além de um recalque de, aproximadamente, oitenta e quatro centímetros. Verificou-se que após esse tombamento, a parede da cabeceira trincou, provocando o rompimento e o desprendimento da ala Sul, da pista sentido Sul/Norte, o aparecimento da armadura e a separação do bloco de coroamento da fundação.

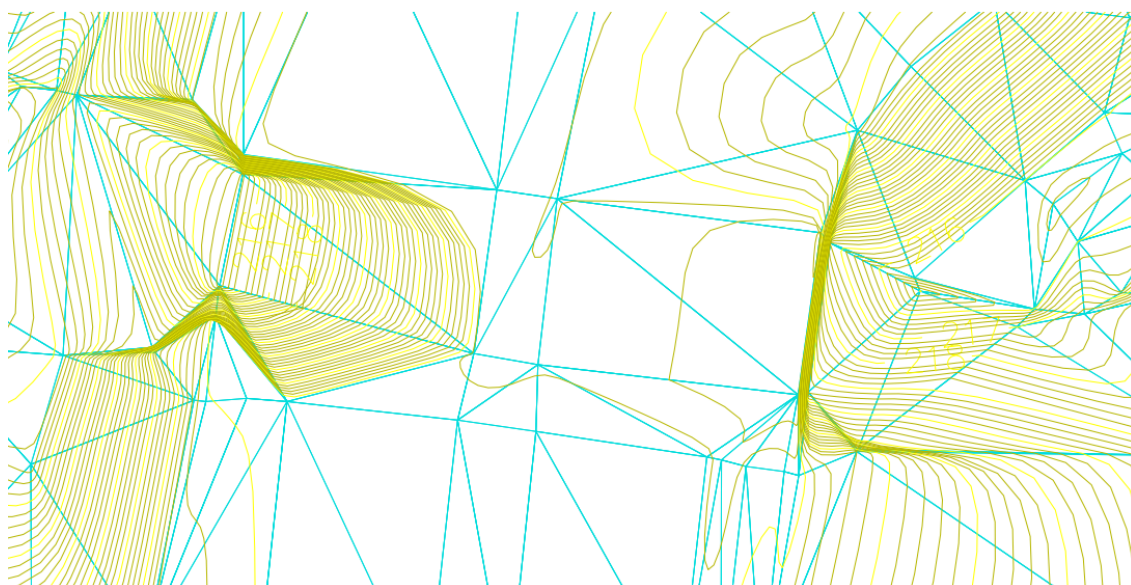
Com relação ao aterro e à pavimentação, verificou-se que houve fuga de material de aterro da cabeceira Sul (Figura 27) e conseqüentemente o recalque do pavimento. Na cabeceira Norte, não houve fuga de material, porém houve aparecimento de trinca no encontro do maciço do aterro com a estrutura, já evidenciando o movimento da Ala Norte, uma vez que o sistema estrutural exige o equilíbrio de empuxos do aterro, não existe Drenos, nas Alas, verificando-se a presença de água, infiltrada, escorrendo nas juntas de concretagem na ala norte.

Figura 26 – Indicação das Deformações na Estrutura



Fonte; Secretaria De Infraestrutura E Serviços Públicos do município de Palmas.

Figura 27 – Deslocamento de solo



Fonte; Secretaria De Infraestrutura E Serviços Públicos do município

Com relação ao aterro e à pavimentação, verificou-se que houve fuga de material de aterro da cabeceira Sul (Figura 27) e consequentemente o recalque do pavimento. Na cabeceira Norte, não houve fuga de material, porém houve aparecimento de trinca no encontro do maciço do aterro com a estrutura, já evidenciando o movimento da Ala Norte, uma vez que o sistema estrutural exige o equilíbrio de empuxos do aterro, não existe Drenos, nas Alas, verificando-se a presença de água, infiltrada, escorrendo nas juntas de concretagem na ala norte.

## 5 CONCLUSÃO

Nesse estudo buscou-se fazer uma Avaliação da Influência da contribuição hídrica da Sub-bacia a montante da Ponte, sobre o córrego Suçuapara, verificando eventuais rupturas na estrutura. Para se realizar o estudo fez-se necessário caracterizar a sub-bacia para se compreender o comportamento da contribuição hídrica, com essas características, tornou-se possível através de métodos matemáticos descritos durante todo trabalho, determinar precipitações máximas para diferentes métodos de análise.

Com essas precipitações para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, fez-se possível determinar diferentes vazões, que eventualmente podem ser utilizadas para elaboração de projetos.

A estrutura da ponte foi estudada e devido a junção dos fatos apresentados anteriormente, a provável e principal causa para o colapso da estrutura foi o descalçamento da estrutura do lado Sul, em consequência aconteceu a torção e o rompimento da estrutura de concreto armado, provocado pelo direcionamento do canal a montante, em função, da esconsidade do fluxo em relação à ponte e aumento do turbilhonamento da água, devido do lançamento das pedras para contenção do aterro.

Com a fuga de material do aterro / recalque da estaca da Ala de montante (lado sul), o equilíbrio de empuxos foi alterado e o tombamento era inevitável, com os fatos apresentados possivelmente a estrutura não tem mais recuperação sendo eventualmente demolida, para dá lugar a uma nova ponte, que eventualmente pode ser projetada levando em consideração as vazões encontradas nesse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ATLAS do Tocantins Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente- SEPLAM, 2000.
- Mendonça-Santos, M., & Santos, H. (2003). *Mapeamento Digital de Classes e Atributos de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa.
- AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro, Brasil: Ed. Bertrand Brasil, 1996.
- Brady, N., & Weil, R. (2010). *Elements of the nature and properties of soils*. Rio de Janeiro: Pearson.
- CHOW, V.T. **Applied Hydrology**. International edition. New York: McGraw-Hill. 1988.
- CAMPOS, S. (8 de maio de 2004). **Sensoriamento Remoto E Geoprocessamento Aplicados Ao Uso Daterra Em Microbacias Hidrográficas, Botucatu - Sp. Geoprocessamento Aplicados Ao Uso Daterra**, pp. 431-435.
- CECÍLIO, R. A. e REIS, E. F. **MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Apostila – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.
- CARVALHO, D. F. e SILVA, L. D. B. – **Hidrologia**. São Paulo, 2006. Cap. 03.
- CAMPOS, S. (8 de maio de 2004). Sensoriamento Remoto E Geoprocessamento Aplicados Ao Uso Daterra Em Microbacias Hidrográficas, Botucatu - Sp. *Geoprocessamento Aplicados Ao Uso Daterra*, pp. 431-435.
- DA PAZ, Adriano Rolim. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: [s.n.] 2004. 138p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2005
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DNIT, **Álbum de projetos – Tipo de dispositivos de drenagem**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de drenagem de rodovias**. 2º ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERRARI, F. **Estatística Básica. Brasil**, 2004. Disponível em:  
<http://www.ferrari.pro.br/home/documents/FFerrari-Curso-Estatistica-Basica.pdf>  
 Acesso em: 05 abr 2020.

Fonseca, A. (27 de jan de 2009). **Indicadores Biológicos Da Qualidade Do Solo Em Sistema. Indicadores Biológicos Da Qualidade Do Solo Em Sistema**, pp. 105-112.

Espindola, C. R. (2008). **Retrospectiva Crítica Sobre a Pedologia**. Campinas: Unicamp.

EPA, 1998. **Stream Corridor Restoration – principles, processes and practices**. Environmental Protection Agency, EUA.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP. 1988.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Disponível em:  
<https://portal.inmet.gov.br> >Acesso em: 05 out 2020.

JABÔR, M. A. **Drenagem de Rodovias: Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem**. Florianópolis. Apostila entregue no curso de drenagem de rodovias promovido pelo DEINFRA, 2015.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

Lepsch, I. F. (2002). **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos.

Lanna. (1995). **Gerenciamento de bacia hidrografica**. interespaco, 64-72.

Miller. (04 de 02 de 1993). **A scope broader than its identity. A scope broader than its identity**, p. 299 e 564.

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

PINTO, N. e. (2007). **Hidrologia Estatística**. São Paulo: CPRM.

PEDRAZZI. (26 de agosto de 2003). **Hidrologia Aplicada**. Palmas, Tocantins, Brasil.

RAGAN, R M.; T J JACKSON (1980). **Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model, Journal of Hydro-logy, Divn., ASCE, Vol. 106 (HYS5): 667-678.**

ROLIM, Adriano da Paz (2004) **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul. Rio Grande do Sul. p. 34-50

SILVEIRA, A. L. (2000). **Equação para os Coeficientes de Desagregação de Chuva**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 141-148.

Softwares – GPRH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares> >Acesso em: 05 out 2020.

SANTOS, J. S. e ELOI, W.M – **Princípios de Hidrologia Ambiental**. Fortaleza: Instituto Federal do Ceará, 2015.

Spiegel, M., 1972. **Estatística**. Coleção Schaum, Ed. McGraw-Hill do Brasil.

Studart, T., 2003. **Apostila da Disciplina de Hidrologia Aplicada**, Universidade Federal do Ceará.

Strahler, A.H.; Strahler, A.N. 2005. **Physical Geography: Science and systems of the Human Environment**. Wiley, New York.

TOMAZ, Plinio. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: piscinões, galerias, bueiros, canais, métodos SCS, Denver, Santa Bárbara. Navegar. 2013

TUCCI, C. E. (1993). **Hidrologia** (Vol. 1). Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Editora da Universidade.

Tucci, C. 2000. (org.) **Hidrologia – ciência e aplicação**. Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2001.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 245p., 1975.

VIOLA, H. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas – O estudo de caso da cidade do samba**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2008.

Vargas, T., Gasparetto, M., Belladonna, R., & Duarte, M. V. (2018). **Aplicação do Interpolador IDW**. Caxias do Sul. Rio Grande do Sul.