



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*

Fernanda Azevedo Alves

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO HÍDRICA DA BACIA DO CÓRREGO MORENA NA CIDADE DE DIANÓPOLIS - TO

Palmas – TO

2018

Fernanda Azevedo Alves

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO HÍDRICA DA BACIA DO CÓRREGO MORENA
NA CIDADE DE DIANÓPOLIS - TO

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

Orientador: Prof. Msc. Edivaldo Alves dos Santos.

Palmas – TO

2018

Fernanda Azevedo Alves

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO HÍDRICA DA BACIA DO CÓRREGO MORENA
NA CIDADE DE DIANÓPOLIS – TO

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

Orientador: Prof. Msc. Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: ____/____/____

Prof. Msc. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Profa. Dra. Elizabeth Hernández Zubeldia
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pois sem Ele nada disso seria possível, por ter me dado forças e ter me guiado até aqui. E minha família em especial a minha mãe Maria Delvair, pelos seus ensinamentos e dedicação.

Agradeço meu orientador e Mestre Edivaldo Alves dos Santos, pela sua dedicação nas orientações e paciência comigo, principalmente por sempre entender minhas perguntas que as vezes nem eu entendia o que estava perguntando, obrigada.

Meus agradecimentos a todos os docentes que contribuíram diretamente ou indiretamente para a minha formação acadêmica, nada disso seria possível sem os ensinamentos recebidos ao longo dessa jornada.

Obrigada.

ALVES, Fernanda Azevedo. **Avaliação da produção hídrica da bacia do Córrego Morena na cidade de Dianópolis – TO.2018.** 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

RESUMO

Preservar a bacia hidrográfica é muito importante, pois tudo que acontece na bacia hidrográfica prejudica o curso d'água. Portanto conhecer a produção hídrica da bacia é uma fator de suma importância, para saber até que ponto os recursos hídricos desta podem ser usados para atender os diferentes usos, os quais variam com o tempo. Neste sentido o objetivo desse estudo é avaliar a oferta hídrica na bacia do Córrego Morena através de dois cenários para o ano de 2007 e o ano 2017. No estudo foi realizado a caracterização fisiográfica da bacia, utilizando métodos de descrição e mapeamento. A análise dos dados demonstraram que a bacia em estudo apresenta baixa disponibilidade hídrica superficial. A princípio para a bacia em estudo para melhor determinação seria a utilização de um Posto Pluviométrico localizado dentro da bacia, em virtude da ausência desses dados, foi utilizado o segundo método o IDF onde se encontrou uma precipitação de 24,11 mm/h, sendo muito baixa em relação a região, o que se concluiu que essa metodologia não é adequada para a área em estudo. Sendo assim a metodologia adotada para estudo não adequada para área da bacia do Córrego Morena.

Palavra - chave: Escoamento, Precipitação, Vazão.

ALVES, Fernanda Azevedo. **Avaliação da produção hídrica da bacia do Córrego Morena na cidade de Dianópolis – TO.2018.** 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

ABSTRACT

Preserving the river basin is very important, because everything that happens in the river basin impairs the watercourse. Therefore, to know the water production of the basin is an extremely important factor, to know to what extent the water resources of this basin can be used to meet the different uses, which vary with the time. In this sense, the objective of this study is to evaluate the water supply in the Córrego Morena basin through two scenarios for the year 2007 and 2017. In the study the physiographic characterization of the basin was performed, using methods of description and mapping. Data analysis showed that the basin under study has low surface water availability. At the beginning, for the basin under study for better determination would be the use of a pluviometric station located inside the basin, due to the absence of these data, the second method was used the IDF where a precipitation of 24.11 mm / h was found, being very low in relation to the region, which concluded that this methodology is not suitable for the study area. Thus, the methodology adopted for a study not suitable for the area of the Córrego Morena basin.

Keyword: Flow, Precipitation, Flow rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.	20
Figura 2 – Corte transversal de áreas de drenagem	24
Figura 3 – Delimitação de uma área de drenagem (linha preta)	24
Figura 4 – Planímetro para determinação da área	26
Figura 5 – Método da contagem.....	26
Figura 6 – Formas da Bacia	27
Figura 7 - Classificação do curso d'água de uma bacia quanto à ordem segundo Strahler.....	29
Figura 8 – Pluviômetro	33
Figura 9 - Pluviógrafo	34
Figura 10 - Postos com dados para estimativa da precipitação média da bacia do exemplo.....	39
Figura 11 – Demonstração do método de Thiessen.....	40
Figura 12 – Demonstração das Isoietas.....	41
Figura 13 – Gráfico da curva IDF	42
Figura 14 - Determinação do ano hidrológico.....	43
Figura 15 - Hidrograma tipo.....	51
Figura 16 – Hidrograma triangular SCS	52
Figura 17 – Localização da Área de estudo.	53
Figura 18 – Delimitação da área em estudo.....	54
Figura 19 – Estações de Precipitação no município de Dianópolis- TO.....	56
Figura 20- Parâmetros de ajustes relativos a cidade de Dianópolis – TO (IDF).....	58
Figura 21 - Estação Elevatória de Dianópolis.....	62
Figura 22 – Mapa de Curva de Nível.....	64
Figura 23 – Hierarquia de canais da bacia em estudo.	65
Figura 24 – Mapa Hipsométrico da Bacia	66
Figura 25 – Mapa de Declividade.....	67
Figura 26 – Mapa Pedológico.....	70
Figura 27 – Mapa da cobertura vegetal e uso do solo – 2007.	72
Figura 28 - Imagem do LANDSAT-TM8 (Área da Bacia do Córrego Morena).....	73
Figura 29 – Mapa da cobertura vegetal e uso do solo – 2017.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de C recomendados por Williams, citado por Goldenfum e Tucci (1996).....	45
Tabela 2 - Valores de C, segundo adaptação do critério de Fruhling, adotado pela Prefeitura de São Paulo Wilken,1978).	45
Tabela 3 – Tipos de solo considerados pelo SCS para escolha do CN	49
Tabela 4 - Condições de umidade do solo considerados pelo SCS para escolha do CN.....	50
Tabela 5 - Valores de CN em função da cobertura do solo e do tipo hidrológico de solo, para a condição de umidade II.....	50
Tabela 6 - Conversão dos valores de CN conforme as condições de umidade do solo	51
Tabela 7 – Grupos hidrológicos dos solos de acordo com a descrição.....	59
Tabela 8 – Valores de CN em função da cobertura vegetal e do grupo hidrológico..	60
Tabela 9 – Valores de CN para Cobertura Vegetal e Uso do Solo do ano 2007.....	60
Tabela 10 – Valores de CN para Cobertura Vegetal e Uso do Solo do ano de 2017	60
Tabela 11 – Área total e variação geral das cobertura vegetal entre 2007 e 2017. ..	76
Tabela 12 - Detalhamento do CN ponderado (2007)	77
Tabela 13 – Detalhamento do CN ponderado (2017).....	77

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Características Fisiográfica da bacia do Córrego Morena.....	67
Quadro 2 – Feições das classes da cobertura vegetal e uso do solo.	73

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Vazão do Córrego Morena no período de 2016-2017.....	78
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BRK-Ambiental	Brookfield
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CN	Número da Curva
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade Duração e Frequência
min.	Minutos
SCS	Soil Conservation Service
SCS-USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e Orçamento
TO	Tocantins
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
A_i	Área de Influência do Posto i
A_t	Área Total da Bacia
cm^2	Centímetro Quadrado
cm^3	Centímetro Cúbico
D_d	Densidade de Drenagem
i_m	Intensidade Máxima da Precipitação
km^2	Quilômetro Quadrado
K_c	Coefficiente de Compacidade
K_f	Forma da Bacia
L_c	Comprimento Axial
L_i	Comprimento Total
l_c	Índice de Circularidade
L_t	Comprimento Talvegue
m^2	Metro Quadrado
M_a	Coefficiente Angular Desejado
M_o	Coefficiente Angular Corrigido
P_i e P_{i+1}	Precipitações Referentes às Isoietas i e i+1
P_a	Valor da Ordenada
P_c	Precipitação Acumulada
P_i	Precipitação Registrada no Posto i
P_m	Precipitação Média
P_m	Precipitação Média
P_o	Valor Acumulado
P_t	Precipitação Total
$P_x; P_y; P_z; P_w$	Precipitações nos Pontos
Q_{max}	Vazão Máxima de Escoamento
Q_p	Vazão de Pico
S_0	Declividade Média do Talvegue
t_b	Tempo de Base
t_c	Tempo de Concentração

t_p	Tempo de Pico
x_1, x_2, x_3	Precipitação do Mês ou Ano
x_{1i}, x_{2i}, x_{ni}	Observações Correspondentes Registradas
x_{m1}, x_{m2}, x_3	Precipitações Média do Posto
y_c	Regressão Linear
y_m	Precipitação Média do Posto
a_1, a_n	Coefficientes a Serem Estimados
\emptyset	Coefficiente de Retardamento
ΔH	Diferença de Nível
A	Área da Bacia de Drenagem
A	Área de Interceptação do Anel
C	Coefficiente de Escoamento Superficial
E	Elevação Média
ES	Volume Escoado
F	Frequência em um Evento
h	Altura Pluviométrica
ha	Hectares
i	Intensidade Média da Chuva de Projeto
K, a, b, c	Parâmetros de Ajustes Relativos ao Local de Estudo
km	Quilômetro
L	Total do Curso D'água
m	Ordem Decrescente do Evento
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milimetro
n	Número de Dados
P	Perímetro
P	Precipitação Apurada
PT	Volume Precipitado
ES	Escoamento Superficial Total
s	Segundo
S	Sinuosidade do Curso D'água
S	Infiltração Potencial

T	Período de Retorno
V	Volume Juntado
y	Precipitação do Posto
Σ	Somatório
a	Área Entre as Curvas de Nível
e	Elevação Entre as Curvas de Nível Consecutivas
i	Intensidade
n	Número de Postos Considerados
n	Ordem do Rio
t	Duração da Precipitação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Problema	19
1.2 Hipóteses.....	19
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Justificativa	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 CICLO HIDROLÓGICO	20
2.1.1 Fases do Ciclo Hidrológico.....	20
2.1.1.1 Precipitação	21
2.1.1.2 Interceptação	22
2.1.1.3 Infiltração	22
2.1.1.4 Escoamento Superficial	22
2.1.1.5 Evapotranspiração.....	23
2.1.1.6 Evaporação.....	23
2.1.1.7 Transpiração.....	23
2.2 Área de Drenagem	23
2.2.1 Delimitação da Área de Drenagem	23
2.2.2 Classificação dos Cursos D'Água	25
2.2.3 Fisiografia da Área de Drenagem.....	25
2.2.3.1 Área da Bacia	25
2.2.3.2 Forma da Bacia	26
2.2.3.3 Rede de Drenagem	28
2.2.3.4 Relevo da Bacia.....	30
2.2.3.5 Uso e Ocupação do Solo.....	31

2.2.3.6 Tipo de Solo.....	31
2.2.3.7 Cobertura Vegetal.....	31
2.3 Pluviometria	31
2.3.1 Altura Pluviométrica h	31
2.3.2 Duração da Precipitação t	31
2.3.3 Intensidade da Precipitação i	32
2.3.4 Frequência de Probabilidade f	32
2.3.5 Aparelhos para Medição de Chuvas	32
2.3.5.1 Pluviômetros	32
2.3.5.2 Pluviógrafos	33
2.3.6 Análise de dados.....	34
2.3.6.1 Preenchimento de falhas	35
2.3.6.1.1 Método de Ponderação Regional	35
2.3.6.1.2 Método de Regressão Linear	35
2.3.7 Série Histórica	36
2.3.8 Análise de consistência de Séries Pluviométricas.....	36
2.3.8.1 Método Dupla Massa	37
2.3.8.2 Método do Vetor Regional	37
2.3.9 Frequência dos totais Precipitados	38
2.3.9.1 Análise de Frequência	38
2.3.9.2 Tempo de recorrência ou Período de retorno	38
2.3.10 Precipitação Média numa Bacia	39
2.3.10.1 Método da Média Aritmética	39
2.3.10.2 Método de Thiessen	40
2.3.10.3 Método das Isoietas.....	40
2.3.11 Precipitações Máximas	41
2.3.11.1 Curvas intensidade duração e frequência (IDF)	42

2.3.12 Ano Hidrológico	43
2.4 Escoamento Superficial	43
2.4.1 Grandezas associadas ao Escoamento Superficial	44
2.4.1.1 Vazão Q	44
2.4.2 Coeficiente de Escoamento Superficial C	44
2.4.3 Tempo de Concentração t_c	45
2.4.4 Métodos de Estimativa do Escoamento Superficial	47
2.4.4.1 Método Racional	47
2.4.4.2 Método Racional Modificado	48
2.4.4.3 Método do Número da Curva (SCS)	48
2.4.4.5 Método do Hidrograma	51
2.4.4.5.1 Método do Hidrograma Triangular SCS	52
3 METODOLOGIA	53
3.1 Caracterização da área de estudo	53
3.1.1 Delimitação da Bacia	53
3.1.2 Caracterização fisiográfica da Bacia do Córrego Morena	54
3.2 Dados de Precipitação	56
3.3 Determinação do Modelo Hidrológico	58
3.3.1 Determinação da Taxa de Armazenamento do Solo	61
3.3.2 Determinação da Taxa de Perda	61
3.3.3 Cálculo do Volume	61
3.4 Cálculo da Vazão	61
3.5 Comportamento da vazão	62
4 RESULTADO E DISCUSSÕES	63
4.1 Caracterização fisiográfica da Bacia do Córrego Morena	63
4.2 DADOS de precipitação	68
4.3 Condições pedológicas e uso do solo	68

4.3.1 Mapa Pedológico.....	68
4.3.2 Mapa de Cobertura vegetal e Uso do solo	71
4.3.2.1 Mapa de Cobertura vegetal e Uso do solo de 2007.....	71
4.3.2.2 Mapa de Cobertura vegetal e Uso do solo de 2017.....	73
4.3.3 Determinação do Número da Curva (CN)	76
4.4 Cálculo do Volume.....	77
4.5 Cálculo da Vazão.....	77
4.6 Comportamento da Vazão.....	78
5 CONCLUSÃO.....	79
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

O mundo vem recentemente sentindo o resultado, da interferência do homem em processos formados pela natureza para o equilíbrio de um ecossistema bem planejado. Esta interferência ao longo de décadas, tem causado nos últimos anos consequências extremas como, por exemplo, enchentes, ou estiagens prolongadas.

A disponibilidade hídrica de uma região é muito importante, sua produção está diretamente ligada na ocorrência e distribuição das chuvas. A deficiência de água no solo pode reduzir significativamente os rendimentos econômico, assim como afetar toda a sociedade.

Existi vários meios para determinar a produção hídrica de uma bacia um dos meios aplicados é o uso de equipamentos que determinar diretamente na bacia a obtenção dos dados hidrológicos, entretanto esses métodos as vezes são meras observações pontuais ou economicamente inviáveis quando se deseja contornar uma bacia inteira. Com o uso da modelagem hidrológica tanto a produção, como várias outras informações relacionadas aos recursos hídricos de uma bacia podem ser encontrados, facilitando no processo de gerenciamento da bacia.

Preservar a bacia hidrográfica é muito importante, pois tudo que acontece na bacia hidrográfica prejudica o curso d'água, dentro de uma perspectiva de determinar a produção hídrica de uma bacia, que é uma fator de suma importância, pois tudo que se for realizar de estudo em uma bacia é preciso saber o quanto que ela produz. Uma base de dados que permita analisar a produção hídrica de modo geral deve conter dados sobre as características fisiográfica da bacia e principalmente dados hidrológicos.

Baseando-se na gestão do uso da água e na importância da bacia hidrográfica para o ciclo hidrológico, o presente estudo pretende avaliar a produção hídrica da bacia do Córrego Morena localizada na cidade de Dianópolis- TO, onde se deseja especificamente, fazer a caracterização fisiográfica da bacia, para pôr fim se obter a vazão ofertada com base nos dados trabalhados na bacia utilizando o método do número da curva (SCS).

1.1 PROBLEMA

Diante da disponibilidade hídrica da Bacia do Córrego Morena, quais os efeitos na oferta da vazão?

1.2 HIPÓTESES

Em virtude da redução hídrica da bacia, a demanda de água que abastece a cidade pode estar sendo afetada no período de estiagem, ocasionado eventualmente por uma menor precipitação e maior degradação da bacia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a oferta hídrica na Bacia do Córrego Morena na cidade de Dianópolis – TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterização fisiográfica da bacia;
- Análise da oferta de vazão;
- Avaliar o comportamento da vazão;

1.4 JUSTIFICATIVA

Devido a região sudeste do Estado do Tocantins sofrer de secas prolongadas, gerando um déficit no abastecimento de água no período de estiagem, resultando em alterações no estilo de vida da população e na economia em geral, o estudo proposto visa avaliar a produção hídrica da Bacia do Córrego Morena localizado na cidade de Dianópolis –TO, Considerando que as águas do Córrego Morena são utilizadas para captação e abastecimento da cidade.

De modo que a gestão das águas na bacia hidrográfica em estudo influencia inteiramente no desenvolvimento econômico, portanto o entendimento acerca de tal tema, é de suma importância para garantir a sustentabilidade deste recurso.

Através dos dados obtidos podemos fazer um parâmetro de análise para verificar se houve redução da oferta da vazão. Assim pretende-se nesse trabalho avaliar a produção hídrica da Bacia do Córrego Morena que é de grande relevância para o planejamento de recursos hídricos.

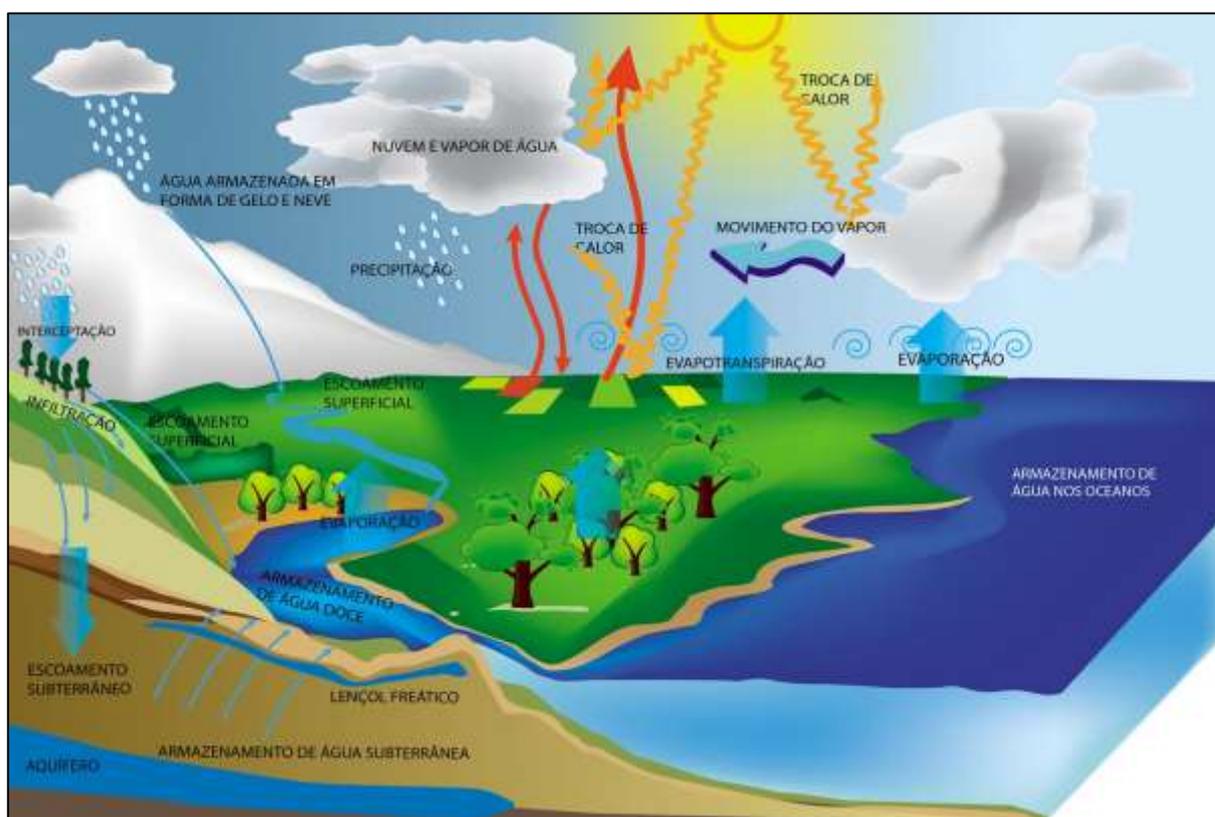
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Tucci et al. (2000) o ciclo hidrológico é uma ocorrência global da movimentação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, provocada principalmente pela energia solar relacionando à gravidade e à rotação terrestre, conforme demonstra a Figura 1.

O ciclo hidrológico é o responsável pela renovação da água no planeta, que acontece pela associação de um movimento contínuo, dividido em três reservatórios determinantes, oceanos, continentes e atmosfera (MACHADO; PACHECO, 2010).

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: (Engenharia Onde Já Civil 2011).

2.1.1 Fases do Ciclo Hidrológico

Conforme Tucci et al. (2000) o intercâmbio entre a movimentação da superfície terrestre e da atmosfera, que gera o ciclo hidrológico, acontece em dois aspectos:

a) no aspecto superfície- atmosfera, no qual o curso d'água ocorre principalmente na forma de vapor, como resultado dos fenômenos de evaporação e de transpiração cujo o mesmo é um fenômeno biológico;

b) no aspecto atmosfera-superfície, no qual o deslocamento da água acontece em qualquer estado físico, tornando-se mais importante, em condições globais, as precipitações de chuva e neve.

2.1.1.1 Precipitação

Precipitações é conhecida na hidrologia como toda água originada da atmosfera que chega na superfície terrestre. As propriedades essenciais da precipitação são o seu total, duração e distribuições temporal e espacial, assim as precipitações podem ser apontadas de acordo com o mecanismo pelo qual gera a elevação do ar úmido (TUCCI et al., 2000).

– Precipitações Convectivas

Segundo Pinto et al. (1976) precipitações convectivas são causadas pela elevação de ar devido às mudanças de temperatura na superfície vizinha da atmosfera.

Já Tucci et al. (2000) descreve como precipitações particulares das regiões equatoriais, onde os ventos são enfraquecidos e o deslocamento do ar são principalmente verticais, sendo capaz de acontecer nas regiões temperadas por motivo do verão. Normalmente, são de grande volume de chuva e de curto tempo. Sendo capaz de gerar inundações em pequenas áreas.

– Precipitações Orográficas

Acontece sempre que o vento, é obrigado a transpor barreira de montanha, havendo o resfriamento e condensação do vapor, formando as nuvens. Sendo, chuvas de pouca intensidade e longa duração, que ocorre em áreas menores (SANTOS, 2014).

– Precipitações Frontais ou Ciclônicas

São provocadas pela relação de massas de ar quentes e frias, na região de coincidência na atmosfera, o ar quente e úmido sofre impulso para cima, resultado no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, produzindo chuvas. São precipitações de longa duração, que atingi grandes áreas, possuindo intensidade média, porém essas chuvas podem vim com ventos fortes com circulação ciclônica, causando cheias em algumas bacias (RENNÓ; BORMA, 2017).

– Granizo

São partículas desiguais de gelo, produzidas pelo congelamento imediato de gotículas, ocasionada pela alta elevação atmosférica (RENNÓ; BORMA, 2017).

– Neve

São cristais de gelos variáveis, gerados pelo vapor d'água, sempre que a temperatura do ar é muito baixa (HAAS, 2000).

– Orvalho

É quando a água se encontra sob forma de vapor na atmosfera, ocorrendo a condensação e precipita em diversos lugares (RENNÓ; BORMA, 2017).

2.1.1.2 Intercepção

A intercepção pode ser indicada como o acúmulo, de parte da precipitação na camada do solo, que pode acontecer devido à vegetação ou outras maneiras de obstáculos, geralmente sendo apenas a primeira (PAZ, 2004).

A maior parte da intensidade interceptada de água é evaporada, deixando de originar escoamento superficial por sofrer evaporação (PAZ, 2004).

2.1.1.3 Infiltração

A infiltração é a passagem da água que se encontra na camada superior do solo, movendo-se para a camada interior do solo (TUCCI et al., 2000).

Conforme a água infiltra no solo, as camadas superiores do solo vão-se umidificando do topo para baixo, modificando gradualmente o perfil de umidade. À medida que ocorre há contribuição de água, o perfil do solo visa à saturação em toda a sua profundidade. A infiltração não é drenada totalmente para o solo, pois parte da água sofre evapotranspiração (TUCCI et al., 2000).

2.1.1.4 Escoamento Superficial

O escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico mais importante que observa o conjunto das águas que desloca pela superfície da Terra, começa da menor precipitação que cai sobre o solo, até o maior escoamento que chega no mar, o escoamento superficial é um dos nossos maiores bens naturais, pois existiu locais que esse recurso ainda é escasso (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

2.1.1.5 Evapotranspiração

Segundo Paz (2004) a evapotranspiração é usada para descrever a evaporação que acontece do solo simultaneamente com a transpiração dos vegetais de uma bacia hidrográfica. Atualmente é objeto de estudo para muitas pesquisas por ser um processo de relação entre o solo, vegetação e atmosfera.

2.1.1.6 Evaporação

A evaporação é toda água que atinge a superfície que passa por um processo físico, que acaba tornando-se em vapor, assim como a água dos mares, dos lagos, dos rios e dos reservatórios (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Tucci et al. (2000) esse processo físico ocorre por causa da radiação solar, que sofre influência por parte da temperatura do ar.

2.1.1.7 Transpiração

Chama-se transpiração o processo de evaporação decorrente de ações fisiológicas dos vegetais. Por meio de suas raízes, os vegetais retiram do solo a água necessária às atividades vitais, restituindo parte dela a atmosfera em forma de vapor, que se forma na superfície das folhas (PAZ, 2004).

2.2 ÁREA DE DRENAGEM

A bacia hidrográfica é uma área de obtenção natural da água da precipitação que dirige os escoamentos em direção a apenas um local de saída, o seu exutório. A bacia hidrográfica constitui-se fundamentalmente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem composta por cursos de água que se unem até originar-se um leito único no exutório (TUCCI et al., 2000).

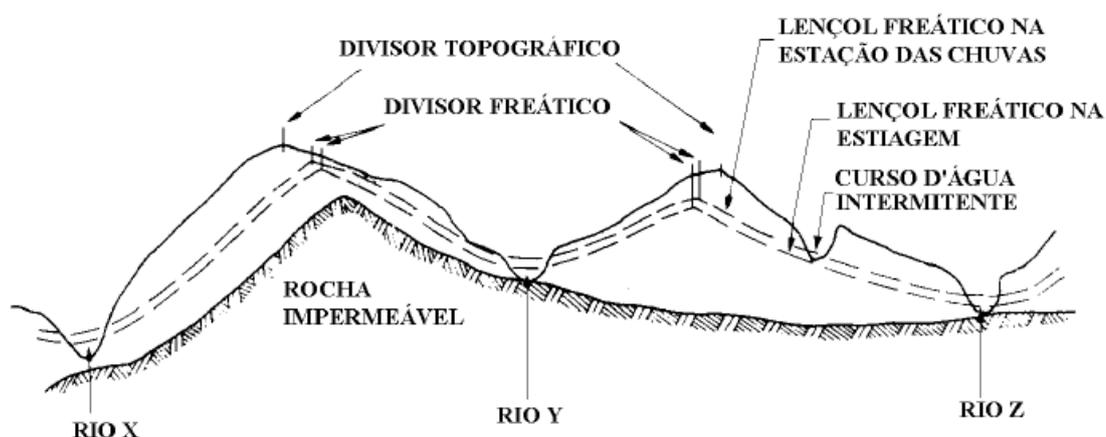
Ainda segundo Tucci et al. (2000) a área de drenagem pode ser apontada como um sistema físico no qual a entrada é o volume de água precipitado, e a saída é o volume de água escoado pelo seu ponto exutório, tendo como desperdícios intermediários os volumes evaporados, transpirados e os infiltrados profundamente.

2.2.1 Delimitação da Área de Drenagem

A área de drenagem é delimitada por um divisor, denominada por ser a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que escoam para um outro sistema fluvial. As delimitações seguem uma linha rígida em volta da

bacia, atravessando o curso d'água somente no seu exutório. Geralmente a área de drenagem é delimitada por dois divisores de água, um divisor topográfico e o outro divisor freático ou subterrâneo. Os divisores topográficos são condicionado pela topografia, onde provém o deflúvio superficial da bacia, os divisores freáticos são determinados pela organização geológica dos terrenos e a topografia, de onde é derivado deflúvio básico da bacia conforme mostra a Figura 2 (VILLELA; MATTOS, 1975).

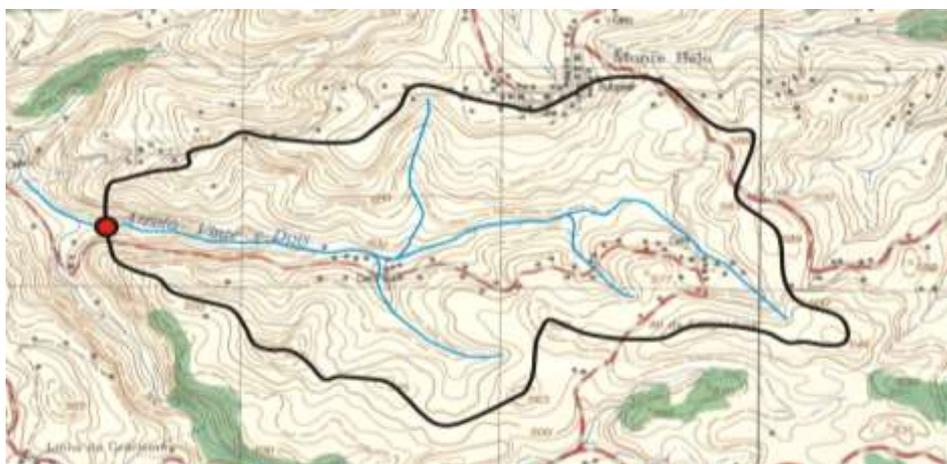
Figura 2 – Corte transversal de áreas de drenagem



Fonte: (COLLISCHONN, 2012).

Devido acontecer muitas mudanças no lençol freático e não poder determinar exatamente os divisores freáticos, para delimitar uma bacia são usados apenas os divisores topográficos, como pode ser observado na Figura 3 (VILLELA; MATTOS, 1975).

Figura 3 – Delimitação de uma área de drenagem (linha preta)



Fonte: (COLLISCHONN, 2012).

2.2.2 Classificação dos Cursos D'Água

Conforme Carvalho, Mello e Silva (2007) a classificação do curso d'água é muito importante, pois é uma maneira de demonstrar como a água está drenando na região da bacia, tomando como base a continuidade do escoamento que são classificados em três tipos:

- a) Perenes: possui água em todo tempo. O lençol freático permanece em abastecimento contínuo e não desce jamais abaixo do leito do curso d'água, mesmo no tempo das secas mais extremas (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).
- b) Intermitentes: são as que escoam no tempo das estações de chuva e secam nas de estiagem. No período chuvoso deslocam todos os tipos de deflúvio, já que o lençol d'água subterrâneo preserva-se acima do leito fluvial e sustendo o curso d'água, o que não acontece no período de estiagem, pois o lençol freático localiza-se em um nível inferior ao do leito (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).
- c) Efêmeros: ocorre apenas no tempo ou imediatamente após os períodos de precipitação e só deslocam escoamento superficial. A superfície freática está sempre a um nível a baixo ao do leito fluvial, não dispondo de chance de escoamento deflúvio subterrâneo (PAZ, 2004).

2.2.3 Fisiografia da Área de Drenagem

Todas as informações que podem ser retiradas de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite são considerados dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica. Normalmente são áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo medidos diretamente ou apresentados por índices (TUCCI et al., 2000).

2.2.3.1 Área da Bacia

Conforme Tucci et al. (2000) a área da bacia é representada por (A), sendo um dado essencial para estabelecer a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica. Por esse motivo conceitua-se como área da bacia hidrográfica a sua área planejada verticalmente. Uma vez que estabelecidos os contornos da bacia, a área pode ser encontrada manualmente por planimetragem direta de mapas que integram a projeção vertical (Figura 4), o método da contagem que consiste em determinar o valor dos quadrados e contar os que se encontra por completo dentro da delimitação da bacia,

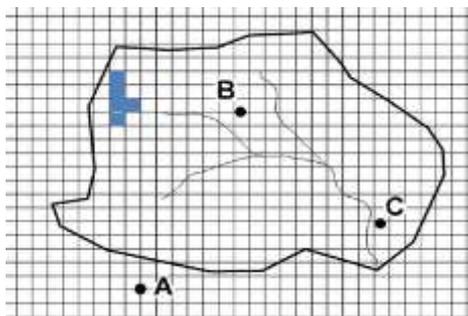
os quadrados incompletos deverão ser compensados visualmente, a Figura 5 ilustra esse método. Também pode se calcular a área de uma bacia através de imagens digitalizadas em *softwares* como AutoCAD, ArcGIS, Qgis, etc.

Figura 4 – Planímetro para determinação da área



Fonte: (JÚNIOR, 2011).

Figura 5 – Método da contagem



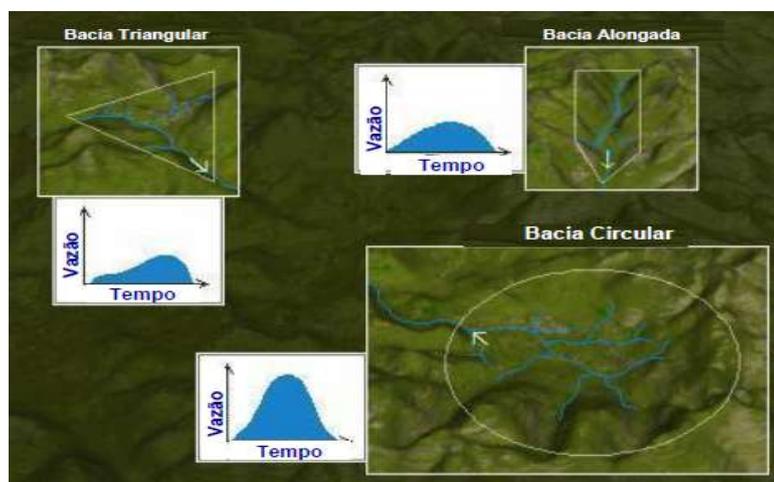
Fonte: (JÚNIOR, 2011).

- Perímetro: o perímetro da bacia hidrográfica pode ser reconhecido por um software ou por meio manualmente (PORTO; ZAHED FILHO; SILVA, 1999).

2.2.3.2 Forma da Bacia

A forma da bacia, é em função da área delimitada e tem influência no período transcorrido entre o acontecimento da precipitação e o escoamento no exutório. Podendo apresentar formatos variados como circulares, alongados e triangulares conforme a Figura 6 (PAZ, 2004).

Figura 6 – Formas da Bacia



Fonte: (JÚNIOR, 2011).

- Fator de forma: o fator de forma é importante para saber se uma bacia tende a sofrer enchente, portanto baixo fator de forma da bacia menos propícia a sofrer enchentes, esse coeficiente é determinado pela relação entre a área da bacia e o comprimento axial do curso d'água principal (L_c) medido desde a foz até a cabeceira mais distante, sendo assim o fator de forma (K_f) é obtido pela seguinte equação (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$K_f = \frac{A}{L_c^2} \quad (1)$$

Onde:

K_f = forma da bacia

A = área da bacia [km^2]

L_c = comprimento axial [km]

- Coeficiente de compacidade: tem a mesma finalidade do fator de forma, saber se uma bacia tende a sofrer enchente, porém quanto maior for seu coeficiente menos propícia a sofrer enchentes, as bacias com coeficiente próximo de 1 mais propícia a ter enchentes, o coeficiente de compacidade é obtido relacionando o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, conforme a seguinte equação (PAZ, 2004).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde:

K_c = coeficiente de compacidade

A = área da bacia [km^2]

P = perímetro [km]

- Índice de Circularidade: é utilizado para caracterizar a forma da bacia. Em que manifesta valores entre 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, mais semelhante a um círculo será a bacia e mais propicia a enchentes, e menor for esse valor mais alongada será a bacia (CHRISTOFOLETTI, 1974).

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

Onde:

I_c = Índice de circularidade

A = área da bacia [km^2]

P = perímetro [km]

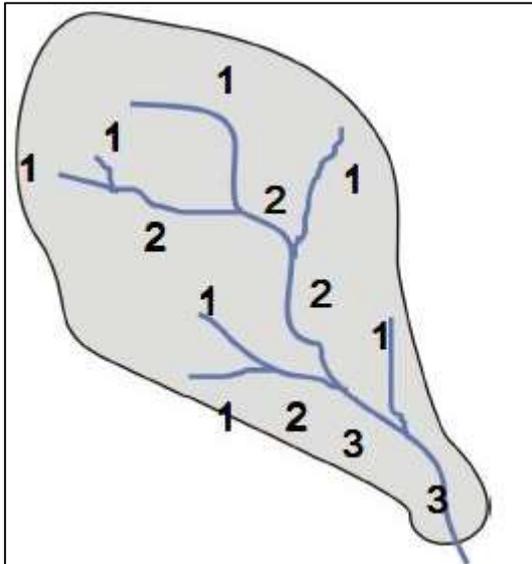
2.2.3.3 Rede de Drenagem

As bacias são formadas por várias ramificações a partir do rio principal, essas ramificações são características da rede de drenagem. A bacia hidrográfica que possui uma rede de drenagem muito densa e ramificada favorece uma concentração acelerada do escoamento superficial, que conseqüentemente gera elevadas vazões sobre o solo (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004). A seguir será indicado algumas medidas para descrever a rede de drenagem.

- Ordem dos curso d'água: representa o grau de ramificação dentro de uma bacia, o método mais usual é o de Strahler, onde são conceituados de primeira ordem os cursos d'água formadores, ou seja, os menores canais que não recebem afluente de outros, quando dois canais de primeira ordem se unem juntos forma um fragmento de segunda ordem, a união de dois rios de segunda ordem forma um rio

de terceira ordem e, assim sucessivamente dois rios de ordem (n) dá lugar a um rio de ordem ($n + 1$) como é demonstrado na figura (VILLELA; MATTOS, 1975).

Figura 7 - Classificação do curso d'água de uma bacia quanto à ordem segundo Strahler



Fonte: (PAZ 2004).

- Densidade de drenagem: segundo Tucci et al. (2000) um bom indicativo do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é dada pelo índice densidade de drenagem (D_d). Que é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de sua bacia (L) e a sua área total (A), conforme a seguinte equação:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (4)$$

Onde:

D_d = densidade de drenagem [km/km^2]

A = área da bacia [km^2]

$\sum L_i$ = somatória do comprimento total dos cursos d'água [km]

A densidade de drenagem varia de acordo com o tamanho do escoamento superficial, embora se tenha poucas informações pode-se afirmar que esse índice diferencie de $0,5km/km^2$ com drenagem pobre para $3,5km/km^2$ bem drenada (VILLELA; MATTOS, 1975).

- Sinuosidade do curso d'água: é a divisão entre o comprimento total do curso d'água do rio principal (L) e o comprimento de um talvegue (L_t), medido em linha reta a

distância entre a cabeceira e a foz, que serve para verificar a velocidade do escoamento, conforme demonstra a equação abaixo (PAZ, 2004).

$$S = \frac{L}{L_t} \quad (5)$$

Onde:

S = sinuosidade do curso d'água

L = comprimento total do curso d'água [km]

L_t = comprimento talvegue [km]

2.2.3.4 Relevo da Bacia

O relevo de um bacia hidrográfica tem grande importância sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, já que a velocidade do escoamento superficial é encontrada pela declividade do terreno. É de fundamental importância a determinação das curvas características do relevo pois se tem influência na temperatura, precipitação, evaporação que são funções da altitude da bacia hidrográfica (GARCEZ; ALVARES, 1988).

- Declividade da bacia: segundo Paz (2004) a declividade dos terrenos contém a velocidade do escoamento superficial, atingindo a duração que a chuva leva para chegar nos leitos fluviais que compõem a rede de drenagem das bacias. O método mais completo e usual para obtenção dos valores da declividade da bacia é o de quadrículas associadas a um vetor, que consiste em determinar a distribuição porcentual das declividades através de uma amostragem estatísticas de declividades normais às curvas de nível.
- Curva hipsométrica: demonstra o estudo da alteração da elevação dos vários terrenos da bacia tendo como referência o nível médio do mar, essa curva de variação pode ser indicada por meio de um gráfico que mostra a porcentagem da área de drenagem que fica acima ou abaixo das elevações, pode ser determinado também pelo método das quadrículas relatado no item anterior ou planimentado-se as áreas entre as curvas de nível (VILLELA; MATTOS, 1975).

2.2.3.5 Uso e Ocupação do Solo

Segundo Paz (2004) o tipo de solo, a atividade exercida sobre o solo, a ocupação da bacia interfere no escoamento superficial, muitas obras são realizadas nas bacias hidrográficas, como obras para conter o escoamento superficial, acaba gerando modificação na variação natural da vazão, por outro lado obras destinadas a direcionar o curso d'água gera um aumento na velocidade de escoamento.

2.2.3.6 Tipo de Solo

Em qualquer área de drenagem as características do escoamento superficial sofrer interferência por causa do tipo de solo dominante, devido à habilidade de infiltração dos diversos solos, que são resultados das dimensões dos grão do solo, sua combinação, condição e organização das partículas (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

2.2.3.7 Cobertura Vegetal

A presença da vegetação diminui ou elimina a ação da água da chuva no solo, à medida que porcentagem da cobertura vegetal aumenta, menor será o escoamento superficial, aumentado a infiltração d'água no solo, desse modo e fundamental sabe a cobertura predominante próximo a bacia (PINTO et al.,1976).

2.3 PLUVIOMETRIA

Uma chuva é caracterizada pelas seguintes grandezas.

2.3.1 Altura Pluviométrica (h)

Quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal. É dada pela altura que a água atingiria se ela se mantivesse no local da precipitação sem evaporar, escoar ou infiltrar (GARCEZ; ALVARES, 1988).

A unidade de medição usual é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície (TUCCI et al., 2000).

2.3.2 Duração da Precipitação (t)

É o intervalo de tempo desde o início até o fim da chuva. E as medidas geralmente utilizadas são o minuto ou a hora (PINTO et al., 1976).

2.3.3 Intensidade da Precipitação (i)

A intensidade de uma chuva mostra a variabilidade temporal, porém para estudo dos processos hidrológicos, normalmente são definidos intervalos nos quais é considerado constante. A intensidade é obtida através da divisão entre a altura pluviométrica e a duração da chuva, geralmente expressa nas unidades mm/h ou mm/min, conforme a equação seguinte (TUCCI et al., 2000).

$$i = \frac{h}{t} \quad (6)$$

Onde:

i = intensidade [mm/h]

h = altura pluviométrica [mm]

t = duração de precipitação [h]

2.3.4 Frequência de Probabilidade (f)

Número de ocorrências de uma determinada precipitação no decorrer de um intervalo de tempo fixo. Para a utilização na engenharia, a frequência teórica é expressa preferencialmente em termos recorrência ou período de retorno, “ T ”, medido em anos, e com significado de que, para a mesma duração “ t ”, a intensidade i equivalente será igualada ou ultrapassada apenas uma vez em “ T ” anos (GARCEZ; ALVARES, 1988).

2.3.5 Aparelhos para Medição de Chuvas

Se tem dois principais aparelhos que são utilizados para fazer a medição da chuva: os pluviômetros que são simples receptores, que colhem a água caída e a armazenam convenientemente para posterior medição volumétrica, e os pluviógrafos que são aparelhos registradores, que o próprio nome já diz registram continuamente a quantidade de chuva que colhem (GARCEZ; ALVARES, 1988).

2.3.5.1 Pluviômetros

O pluviômetro é um recipiente de volume suficiente para recolher as maiores precipitações num intervalo de tempo em geral 24 horas. Em cima do recipiente é

instalado um funil com um anel receptor biselado que determina a área de intercepção, conforme mostra a Figura 8 (TUCCI et al.,2000).

Os pluviômetros são geralmente observados uma ou duas vezes por dia, todos os dias, em horas certas, não determina, portanto, a intensidade das chuvas, porém a altura pluviométrica diária (GARCEZ; ALVARES, 1988).

Figura 8 – Pluviômetro



Fonte: (Meteorólogo, 2012).

A relação apresentada na equação 9 pode ser utilizada, quando não se dispõe de uma proveta calibrada, para calcular o total diário da precipitação:

$$P = 10 \frac{V}{A} \quad (7)$$

Onde

P = precipitação apurada [mm]

V = volume juntado [cm^3] ou [ml]

A = área de intercepção do anel [cm^2]

No entanto, o maior problema dos pluviômetros é não ser adequado para medir chuvas de pequena duração. Na prática o mínimo que se consegue são precipitações de seis horas de duração (TUCCI et al., 2000).

2.3.5.2 Pluviógrafos

Pluviógrafo é um aparelho registrador automático provido de um mecanismo de relojoaria atribui um movimento de rotação a um cilindro no qual é fixado um papel devidamente graduado onde é traçado a curva, de acordo com a Figura 9. É fundamental conhecer a intensidade da chuva para o estudo de escoamento de águas

pluviais e vazões de enchentes de pequenas bacias, fazendo o registro contínuo das precipitações que é feito através do pluviógrafo (GARCEZ; ALVARES, 1988).

Figura 9 - Pluviógrafo



Fonte: (Ministério da Defesa Marinha do Brasil 2017).

2.3.6 Análise de dados

O propósito de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos ou a variação das intensidades de chuva ao longo dos temporais. Em qualquer situação pode acontecer a existência de períodos sem informações ou com falhas nos registros, pertinente a complicações com os aparelhos ou com o operador do posto. Antes dos dados coletados serem utilizados devem passar por uma análise, o primeiro passo para se organizar os dados para o tratamento estatístico e identificando os erros e corrigindo os mesmos. Os erros mais comuns nas observações são (TUCCI et al., 2000).

- ✓ Preenchimento errado dos dados na caderneta de campo;
- ✓ Somatória errada das provetas, quando ocorre precipitação alta;
- ✓ Estimação de valor pelo operador, por não estar no dia e no local de amostragem;
- ✓ O crescimento de vegetação próximo ao local que se localiza o posto de observação;
- ✓ Aparelho danificado;

- ✓ Problemas mecânicos no registrador gráfico;

2.3.6.1 Preenchimento de falhas

Segundo Villela e Mattos (1975) como se tem uma necessidade de trabalhar com séries contínuas, as falhas relatadas no item anterior devem ser preenchidas, conforme os métodos abaixo.

2.3.6.1.1 Método de Ponderação Regional

É um método simplificado geralmente usado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de chuva, tendo em vista assemelhar o período de informações e à análise estatística. Para um conjunto de postos, são selecionados pelo ao menos três que tenha no mínimo dez anos de dados. Já para um posto específico que se tem falhas, as falhas são preenchidas com base na Equação 10 (TUCCI et al., 2000).

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x_1}{X_{m1}} + \frac{x_2}{X_{m2}} + \frac{x_3}{X_{m3}} \right] * y_m \quad (8)$$

Sendo:

y = precipitação do posto

$x_1; x_2; x_3$ = precipitações do mês ou ano que deseja preencher, observadas em três estações vizinhas

y_m = precipitação média do posto

$X_{m1}; X_{m2}; X_{m3}$ = precipitações médias nas três estações circunvizinhas

Tucci et al. (2000) afirma ainda que os postos vizinhos devem estar sempre numa região climatológica semelhante ao do posto que se vai preencher as falhas, pois caso contrário os resultados podem ser péssimo.

2.3.6.1.2 Método de Regressão Linear

Um método mais aperfeiçoado de preenchimento de falhas consiste em utilizar as regressões linear simples ou múltipla. Na regressão linear simples, ocorre uma correlação das precipitações do posto com falha, com o posto vizinho. O gráfico é definido por uma reta que passa pelo ponto obtido pelos valores médios das duas variáveis envolvidas, já para o critério da regressão múltipla os dados pluviométricos do posto é correlacionado com as observações de vários postos vizinhos, através da seguinte equação (TUCCI et al., 2000).

$$y_c = x_{1i} + a_1 * x_{2i} + \dots + a_{n-1} * x_{ni} + a_n \quad (9)$$

Sendo:

y_c = regressão linear

n = número de postos considerados

$a_1; a_n$ = coeficientes a serem estimados

$x_{1i}; x_{2i}; x_{ni}$ = observações correspondentes registradas nos postos vizinhos

2.3.7 Série Histórica

A série histórica é os dados das vazões observadas em um determinado período de tempo, de acordo com o estudo que se deseja informações, podem ser série original, anual ou parcial (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

- Série original ou série completa inclui todas as vazões observadas, recolhidas em intervalos de tempo regulares ao decorrer de muitos anos de registros (NAGHETTINI; PINTO, 2007).
- Série anual são as vazões máximas que ocorre em cada ano, nesta série são desprezados os outros valores máximos ocorridos dentro do ano (TUCCI et al., 2000).
- Série parcial é a utilização de valores máximos selecionados a partir de uma certa vazão escolhida, a vazão é escolhida de maneira que não inclua vazões pequenas e que tenha ao menos um valor por ano, os eventos devem ser livres entre si. Aconselha-se o uso de série parcial quando tiverem poucos dados e desejar estimar a vazão para um tempo de retorno pequeno (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.3.8 Análise de consistência de Séries Pluviométricas

Logo após o preenchimento da série, mesmo que à primeira vista os dados consigam estar com valores aparentemente coerentes, é provável existir inconsistência nas informações dos totais precipitados, desse modo é essencial analisar a sua consistência dentro de uma visão regional, para se ter uma confiabilidade nos dados disponível, confirmando o seu grau de homogeneidade através de registros obtidos em postos vizinhos (TUCCI et al.,2000).

2.3.8.1 Método Dupla Massa

Esse método é baseado em construir uma curva dupla acumulativa, onde são relacionados os totais anuais acumulados de um certo posto e a média acumulada dos totais anuais de todos os postos da região, considerados semelhantes sob o ponto de vista meteorológico (VILLELA; MATTOS, 1975).

Segundo Tucci et al., (2000) a declividade da reta determina o fator de equilíbrio entre ambas as séries, é provável que segundo uma única reta os postos na verdade se alinhem apresentando a seguinte colocação:

- Mudança na Declividade: gera duas ou mais retas, estabelece o exemplo típico da existência de erros sistemáticos, modificação nas condições de observação ou a existência de uma causa física real. Essa existência de mudança de declividade para ser considerada, precisa-se da ocorrência de pelo menos cinco pontos sucessivos alinhados, a correção de dados depende das causas que provoca a mudança de tendência. A equação de correção é a seguinte (TUCCI 2002).

$$P_c = P_a + \frac{M_a}{M_o} \Delta P_o \quad (10)$$

Sendo:

P_c = precipitação acumulada ajustada à tendência desejada

P_a = valor da ordenada correspondente à interseção das duas tendências

M_a = coeficiente angular da tendência desejada

M_o = coeficiente angular da tendência a corrigir

P_o = valor acumulado a ser corrigido

2.3.8.2 Método do Vetor Regional

O método do vetor regional é outra alternativa para se fazer análise de consistência e preenchimento de dados pluviométricos em níveis mensal e anual. O vetor regional é determinado como uma série cronológica, sintética, de dados pluviométricos contidos em estações de observação, juntas regionalmente (TUCCI et al., 2000).

2.3.9 Frequência dos totais Precipitados

Nos projetos de recursos hídricos conhecimento estatísticos das precipitações mostra a importância de ordem técnica para sua frequente aplicação, possibilitando verificar com que frequência as precipitações aconteceram com uma dada magnitude, medindo as probabilidade de ocorrência das mesmas (TUCCI et al., 2000).

2.3.9.1 Análise de Frequência

É uma análise bem simples e rápida de se realizar, para verificar a frequência que acontece historicamente, conforme os registros obtidos. Deste modo, os dados devem ser classificados em ordem decrescente e a cada um atribuir-se o seu número de ordem. A frequência (F) é obtida pelas as equações abaixo conforme se opte pelo método da Califórnia ou de Kimball (PAZ, 2004).

$$F = \frac{m}{n} \quad (\text{método Califórnia}) \quad (11)$$

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad (\text{método Kimball}) \quad (12)$$

Onde:

F = frequência em um evento é igualado, ou superado

m = ordem decrescente do evento

n = número de dados ou registros

2.3.9.2 Tempo de recorrência ou Período de retorno

São estabelecidos tempo de recorrência ou período de retorno, como sendo o tempo médio de anos, que pode apresentar o mesmo valor ou a ser superado de acordo com a precipitação analisada. Tem-se a seguinte expressão (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$T = \frac{1}{F} \quad (13)$$

Onde:

T = tempo de recorrência em anos

F = frequência em um evento é igualado, ou superado

2.3.10 Precipitação Média numa Bacia

A altura média de precipitação de uma área individual é fundamental em vários tipos de problemas hidrológicos (VILLELA; MATTOS, 1975).

Conforme Tucci et al., (2000) para calcular a precipitação média em uma superfície, é necessário utilizar os dados observados dentro desta superfície e nas superfícies vizinhas, onde estão associados a um período de tempo dados como hora, dia, mês ou ano. Pode ser empregados vários métodos para se determinar a precipitação média como, método aritmético, método de Thiessen e método das isoietas, que serão descrito a seguir.

2.3.10.1 Método da Média Aritmética

É o método mais simples, onde se determina a média aritmética entre os valores medidos na área, porém através desse método só tem uma boa estimativa se os aparelhos forem espalhados uniformemente e que a região possua área plana ou relevo suave (VILLELA; MATTOS, 1975). Assim na Figura 10 é apresentado um exemplo fictício da média aritmética em uma bacia hidrográfica, supondo que tenha os dados dos postos X, Y, Z e W, a precipitação média pode ser estimada conforme:

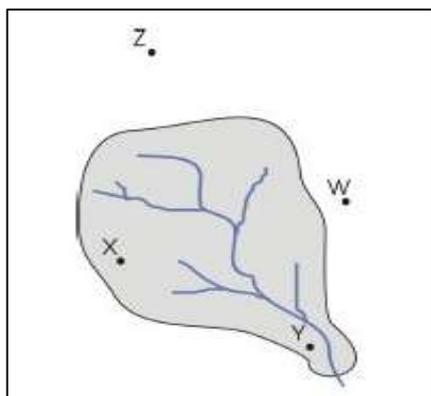
$$P_m = \frac{P_x + P_y + P_z + P_w}{4} \quad (14)$$

Onde:

P_m = precipitação média [mm]

$P_x; P_y; P_z; P_w$ = precipitações nos postos [mm]

Figura 10 - Postos com dados para estimativa da precipitação média da bacia do exemplo.



Fonte: (Paz 2004).

2.3.10.2 Método de Thiessen

Esse método considera atribuir um peso aos totais precipitados em cada posto, proporcionais à área de influência de cada um. As áreas de influência são obtidas em mapas da bacia contendo as estações, onde são ligados os postos por trechos retilíneos e, em seguida traçando-se linhas perpendiculares aos trechos retilíneos passando pelo meio da linha que liga os dois postos, assim prolongando as linhas perpendiculares até se encontrar, formando os polígonos, as áreas de influência são os lados dos polígonos (Figura 11). A precipitação média é calculada de acordo com a equação abaixo (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$P_m = \frac{\sum A_i P_i}{A_t} \quad (15)$$

Onde:

P_m = precipitação média [mm]

A_i = área de influência do posto i

P_i = precipitação registrada no posto i [mm]

A_t = área total da bacia

Figura 11 – Demonstração do método de Thiessen



Fonte: (JÚNIOR; NEVES, 2011).

2.3.10.3 Método das Isoietas

As isoietas são linhas de igual precipitação que podem ser traçadas para um evento ou para uma duração específica. São determinadas por interpolação a partir dos registros disponíveis nos postos da área em estudo, podendo levar em consideração a topografia do terreno, escolhendo sempre números inteiros ou característicos (Figura 12). Para se obter a precipitação média através das isoietas, faz-se uma média ponderada em função das áreas entre as duas isoietas

consecutivas e o valor médio entre elas, como mostra a seguinte equação (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$P_m = \frac{\sum \left(A_{i,i+1} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \right)}{A_t} \quad (16)$$

Onde:

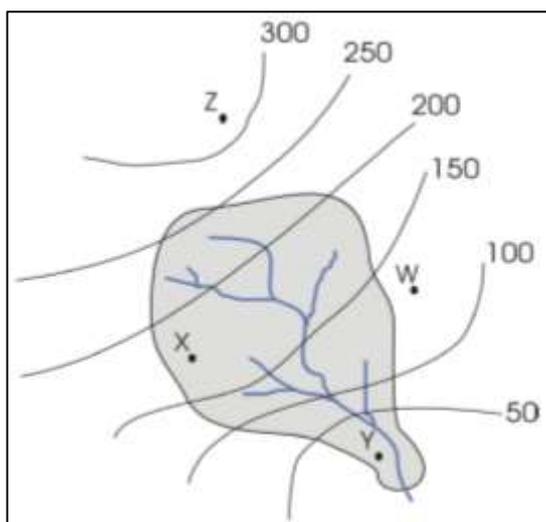
P_m = precipitação média

$A_{i,i+1}$ = área entre isoietas i e a consecutiva $i + 1$

P_i e P_{i+1} = precipitações referentes às isoietas i e $i + 1$

A_t = área total da bacia

Figura 12 – Demonstração das Isoietas



Fonte: (PAZ,2004).

2.3.11 Precipitações Máximas

A precipitação máxima é percebida como o episódio extremo, para uma área de drenagem. Em vários projeto de estruturas hidráulicas, o principal interesse é exatamente analisar ou estabelecer qual a precipitação máxima, ou seja, qual o total de precipitação, sua duração e distribuição espacial e temporal, que sejam críticas para a área em estudo. As precipitações máximas são descrita precisamente pelas curvas de intensidade, duração e frequência (i-d-f) (TUCCI et al., 2000).

2.3.11.1 Curvas intensidade duração e frequência (IDF)

As curvas IDF ou curvas intensidade-duração-frequência, são obtidas a partir de dados de pluviógrafos. O procedimento de desenvolvimento da curva IDF fundamenta-se na escolha das maiores chuvas de uma duração selecionada em cada ano da série de dados. De acordo com as séries de dados é estabelecida uma distribuição de frequências que representa melhor a distribuição dos dados observados. A metodologia é repetida para diferentes durações de chuva, e os resultados são expresso na forma de um gráfico conforme exemplifica a Figura 13 ou pode ser resumida na forma da seguinte equação descrição (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

$$i_m = \frac{K * T^a}{(t + b)^c} \quad (17)$$

Onde:

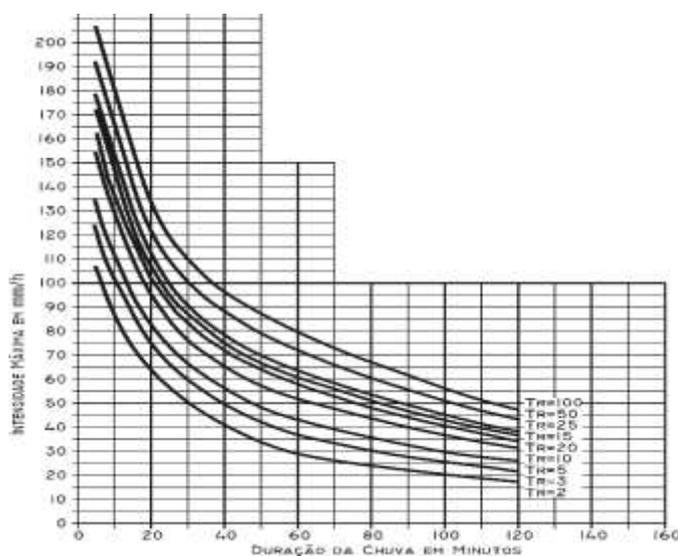
i_m = intensidade máxima da precipitação [mm/h]

T = período de retorno em anos

t = duração da precipitação [min]

K, a, b, c = parâmetros de ajustes relativos ao local estudado

Figura 13 – Gráfico da curva IDF



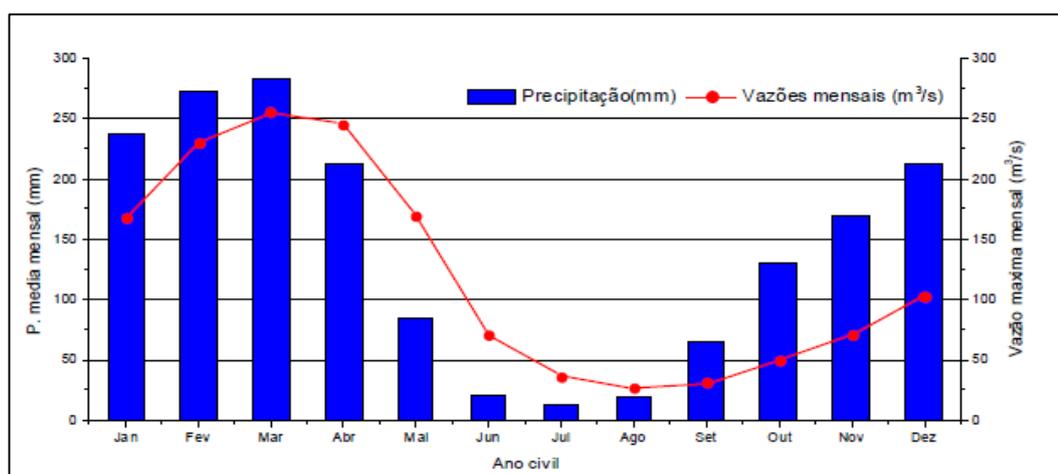
Fonte: (JÚNIOR; NEVES, 2011).

Os parâmetros da intensidade máxima de precipitação (k, a, b, c), podem ser obtidos pelo Plúvio 2.1, este software facilita a obtenção da equação para várias regiões do Brasil, disponível para *download* em (<http://www.gprh.ufv.br/>) de acordo com Pruski, Brandão e Silva (2004).

2.3.12 Ano Hidrológico

O ano hidrológico é o período contínuo de 12 meses, entre o início do período chuvoso e o fim da estação seca. No Sudeste do Brasil o ano hidrológico começa em outubro e termina em setembro, já no Rio Grande do Sul começa em maio e termina em abril. O ano hidrológico tem o período úmido onde ocorre as chuvas, e o período seco onde as chuvas são mais raras. Como pode ser observado na Figura 14 (TUCCI et al., 2000).

Figura 14 - Determinação do ano hidrológico



Fonte: (MIRANDA, 2015).

2.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O ciclo hidrológico tem vários segmentos e um deles é o escoamento superficial, que é o deslocamento das águas sobre a superfície do solo. É muito importante o entendimento deste segmento para estudos de hidrologia, pois os estudos estão sempre ligados a aplicação da água na superfície (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

Segundo Carvalho e Silva (2006), o escoamento superficial compreende desde a precipitação que acontece e se desloca livremente pela superfície, até o escoamento de um rio que pode ser nutrido tanto pela precipitação como pelas águas subterrâneas.

O escoamento superficial pode sofrer interferência tanto climática, ou fisiográfica que está relacionado a área de drenagem, como a topografia, uso e ocupação do solo, tipo de solo e cobertura vegetal (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

2.4.1 Grandezas associadas ao Escoamento Superficial

2.4.1.1 Vazão (Q)

Determinada como o volume de água que percorre a seção transversal apontada por unidade de tempo, geralmente é expressa pela a unidade de medida metros cúbicos por segundo (m^3/s). Para um planejamento da bacia hidrográfica e essencial o conhecimento das vazões máximas, médias e mínimas, descritas conseqüentemente (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

- Vazão máxima: é conhecida como a maior vazão que acontece na seção de um rio, num dado período, esta vazão demonstra as condições de inundação do local (TUCCI, 2002).
- Vazão média: segundo Tucci (2002) a vazão média é caracterizada como a média das vazões da série disponível num local. Por exemplo, a vazão média do mês de fevereiro é adquirido com base nos dados observados apenas em fevereiro dos diferentes anos.
- Vazão mínima: são as vazões que não atendem às necessidades das demandas, são normalmente áreas que tem variação na precipitação, escoamento e infiltração (TUCCI, 2002).

2.4.2 Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

Pruski, Brandão e Silva (2004) descreve o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de runoff, que o volume de precipitação que cai sobre a área de drenagem, apenas uma parte chega a superfície em forma de escoamento superficial, pois a água sofre intervenção onde é interceptada, preenche as depressões ou se infiltra. Coeficiente de escoamento é a relação entre o volume escoado e o volume precipitado conforme demonstra a equação 20, no entanto as formas mais utilizadas para obter o coeficiente de escoamento são as de tabelas, que ocorre conforme as condições típicas da área de drenagem analisada. De acordo com as tabelas abaixo:

$$C = \frac{ES}{PT} \quad (18)$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional

ES = volume escoado

PT = volume precipitado

Tabela 1 - Valores de C recomendados por Williams, citado por Goldenfum e Tucci (1996).

superfície	Coeficiente de runoff, C	
	intervalo	valor esperado
• pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
• cobertura: grama solo arenoso		
pequena declividade (2%)	0,05 - 0,10	0,08
declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
forte declividade (7%)	0,15 - 0,20	0,18
• cobertura: grama solo pesado		
pequena declividade (2%)	0,13 - 0,17	0,15
declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
forte declividade (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

Tabela 2 - Valores de C , segundo adaptação do critério de Fruhling, adotado pela Prefeitura de São Paulo Wilken, 1978).

Zonas	C
Edificação muito densa: Partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 - 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 - 0,50
Subúrbios com alguma edificação: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
Matas, parques e campos de esporte: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 - 0,20

Fonte: (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

2.4.3 Tempo de Concentração (t_c)

É o tempo que leva para que a área de drenagem contribua com o escoamento superficial na seção considerada, analisado a partir do início da chuva. O tempo de concentração é estimado por várias equações de acordo com as características da área de drenagem, que resulta em valores bem distintos. Destacando as seguintes equações (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

➤ Equação de Kirpich

Usada normalmente para áreas de drenagem com declividades entre 3 a 10% e áreas de no máximo 0,5km² (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

$$t_c = 57 \left(\frac{L_t^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (19)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração [min]

L_t = comprimento do talvegue [km]

ΔH = diferença de nível entre o ponto mais remoto da bacia e a seção de deságue [m]

➤ Equação de Vem Te Chow

Usada normalmente para áreas de drenagem com áreas de até 24,28km² (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

$$t_c = 52,64 \left(\frac{L_t}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,64} \quad (20)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração [min]

L_t = comprimento do talvegue [km]

S_0 = declividade média do talvegue [m/km]

➤ Equação de Picking

$$t_c = 51,79 \left(\frac{L_t^2}{S_0} \right)^{1/3} \quad (21)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração [min]

L_t = comprimento do talvegue [km]

S_0 = declividade média do talvegue [m/km]

➤ Equação de Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{\Delta H}} \quad (22)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração [h]

A = área da bacia [km^2]

L = comprimento horizontal da bacia [km]

ΔH = diferença de nível entre o ponto mais remoto da bacia e a seção de deságue em [m];

Conforme as equações apresentadas não se tem ao certo qual delas apresenta um resultado melhor, pois todas foram determinadas para condições particulares da bacia, porém a equação mais utilizada é do Kirpich (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

2.4.4 Métodos de Estimativa do Escoamento Superficial

2.4.4.1 Método Racional

Esse método é utilizado a partir de informações para pequenas bacias. O método racional se baseia de forma básica, onde a vazão máxima gerada por uma chuva de intensidade uniforme e contínua, acontece quando todas as parte da bacia colaboram ao mesmo tempo com o escoamento superficial na área de vazão (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

De acordo com Carvalho e Silva (2006), esse método é usado para bacias de áreas de até 50 ha, sendo assim a vazão máxima apresentada pela equação abaixo:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C * i * A}{360} \quad (23)$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima de escoamento [m^3/s]

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional

i = intensidade de precipitação [mm/h]

A = área da bacia de drenagem [ha]

2.4.4.2 Método Racional Modificado

Conforme Pruski, Brandão e Silva (2004), esse método consiste em introduzir um coeficiente chamando de coeficiente de retardamento que foi desenvolvido por Euclides (1987), visando busca corrigir o fato de que o escoamento superficial passa por um retardamento em relação ao início da precipitação. Para a determinação do coeficiente de retardamento tem-se a equação 26, que permite determinar o valor de acordo com a área da bacia.

$$\phi = 0,278 - 0,00034 * A \quad (24)$$

Onde:

ϕ = coeficiente de retardamento

A = área da bacia [km^2]

Fórmula para o método racional modificado

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C * i * A}{360} * \phi \quad (25)$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima de escoamento [m^3/s]

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional

i = intensidade de precipitação [mm/h]

A = área da bacia de drenagem [ha]

ϕ = coeficiente de retardamento

Esse método é usado para áreas maiores que 80 ha e menores que 200 ha (CARVALHO; SILVA, 2006).

2.4.4.3 Método do Número da Curva (SCS)

Esse método foi elaborado pelo *Soil Conservation Service* (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA). Através desse método se permite estimar a lâmina de escoamento superficial a partir de dados de precipitação e de outras características das bacias, que evidência a relação abaixo (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

$$ES = \frac{(P_t - 0,2S)^2}{(P_t + 0,8S)} \quad (P > 0,2S) \quad (26)$$

Onde:

ES = escoamento superficial total [mm]

P_t = precipitação total [mm]

S = infiltração potencial [mm]

Para se determinar o valor de infiltração potencial (S), é com base nos estudos de dados de uma série de hidrogramas associados a diferentes áreas de drenagem, correlacionado com *CurveNumber* (CN), onde seu valor é obtido através das características do solo, da área de drenagem e condição hidrológica (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (27)$$

Sendo:

S = infiltração potencial [mm]

CN = número da curva

Primeiramente deve-se escolher o tipo de solo de acordo com a Tabela 3. Em seguida, se define a condição de umidade conforme a Tabela 4. Independente da condição de umidade o próximo passo é escolher o CN para a condição de umidade II (Tabela 5), de acordo com o uso do solo e o tratamento feito na sua superfície. Por último caso a condição de umidade não seja a II, determinar normalmente o CN e depois utiliza a Tabela 6, para se ter o valor do CN para condição de umidade I e III (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004).

Tabela 3 – Tipos de solo considerados pelo SCS para escolha do CN

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

Fonte: (PAZ, 2004).

Tabela 4 - Condições de umidade do solo considerados pelo SCS para escolha do CN.

Condição	Descrição
I	Solos secos: as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.
II	Situação média na época das cheias: as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.
III	Solo úmido (próximo da saturação): as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Fonte: (PAZ, 2004).

Tabela 5 - Valores de CN em função da cobertura do solo e do tipo hidrológico de solo, para a condição de umidade II.

Uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas	Grupo hidrológico de solos				
	A	B	C	D	
Uso residencial					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados					
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98	98
com cascalho	76	85	89	89	91
de terra	72	82	87	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)					
Distritos industriais (72% de impermeabilização)					
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto					
plantio em linha reta	77	86	91	91	94
Culturas em fileira					
linha reta	condições ruins	72	81	88	91
	condições boas	67	78	85	89
curva de nível	condições ruins	70	79	84	88
	condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
linha reta	condições ruins	65	76	84	88
	condições boas	63	75	83	87
curva de nível	condições ruins	63	74	82	85
	condições boas	61	73	81	84
Pasto					
linha reta	condições ruins	68	79	86	89
	condições médias	49	69	79	84
	condições boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	condições médias	25	59	75	83
	condições boas	6	35	70	79
Campos					
condições boas					
		30	58	71	78
Florestas					
condições ruins					
		45	66	77	83
condições médias					
		36	60	73	79
condições boas					
		25	55	70	77

Fonte: (PAZ, 2004).

Tabela 6 - Conversão dos valores de CN conforme as condições de umidade do solo

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

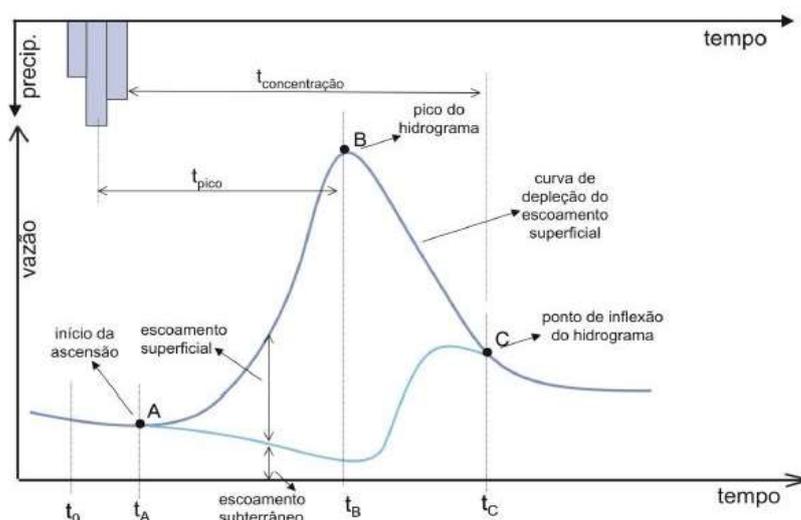
Fonte: (PAZ, 2004).

2.4.4.5 Método do Hidrograma

O hidrograma é a indicação dada ao gráfico que relaciona a vazão no tempo. A distribuição da vazão no tempo é consequência da relação de todos os elementos do ciclo hidrológico entre o acontecimento da precipitação e vazão na bacia hidrográfica (TUCCI et al., 2000).

O comportamento do hidrograma típico de uma bacia é representado na Figura 15, após a ocorrência de sequência de precipitações.

Figura 15 - Hidrograma tipo



Fonte: (Paz, 2004).

2.4.4.5.1 Método do Hidrograma Triangular SCS

Pelo método do hidrograma triangular SCS, à precipitação unitária que ocorre sobre a bacia, permite a formação de um hidrograma triangular (Figura 16), onde vazão de pico é estimada de acordo com as equações (PAZ, 2004).

$$Q_p = 0,208 * \frac{A}{t_p} \quad (28)$$

Onde:

Q_p = vazão de pico [m^3/s]

A = área da bacia [km^2]

t_p = tempo de pico [h]

➤ Tempo de pico em função de tempo de concentração

$$t_p = 0,6 * t_c \quad (29)$$

Onde:

t_p = tempo de pico [h]

t_c = tempo de concentração [h]

➤ Tempo base do hidrograma

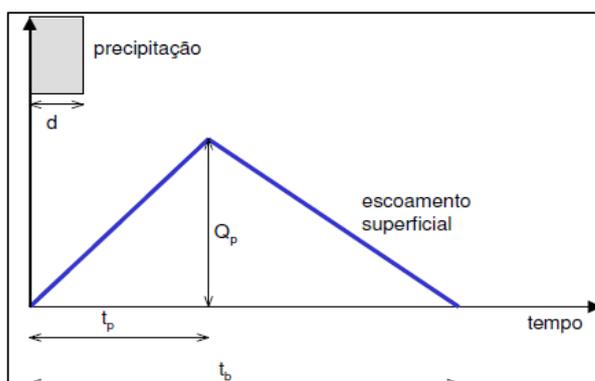
$$t_b = 2,67 * t_p \quad (30)$$

Onde:

t_b = tempo de base [h]

t_p = tempo de pico [h]

Figura 16 – Hidrograma triangular SCS



Fonte: (PAZ,2004).

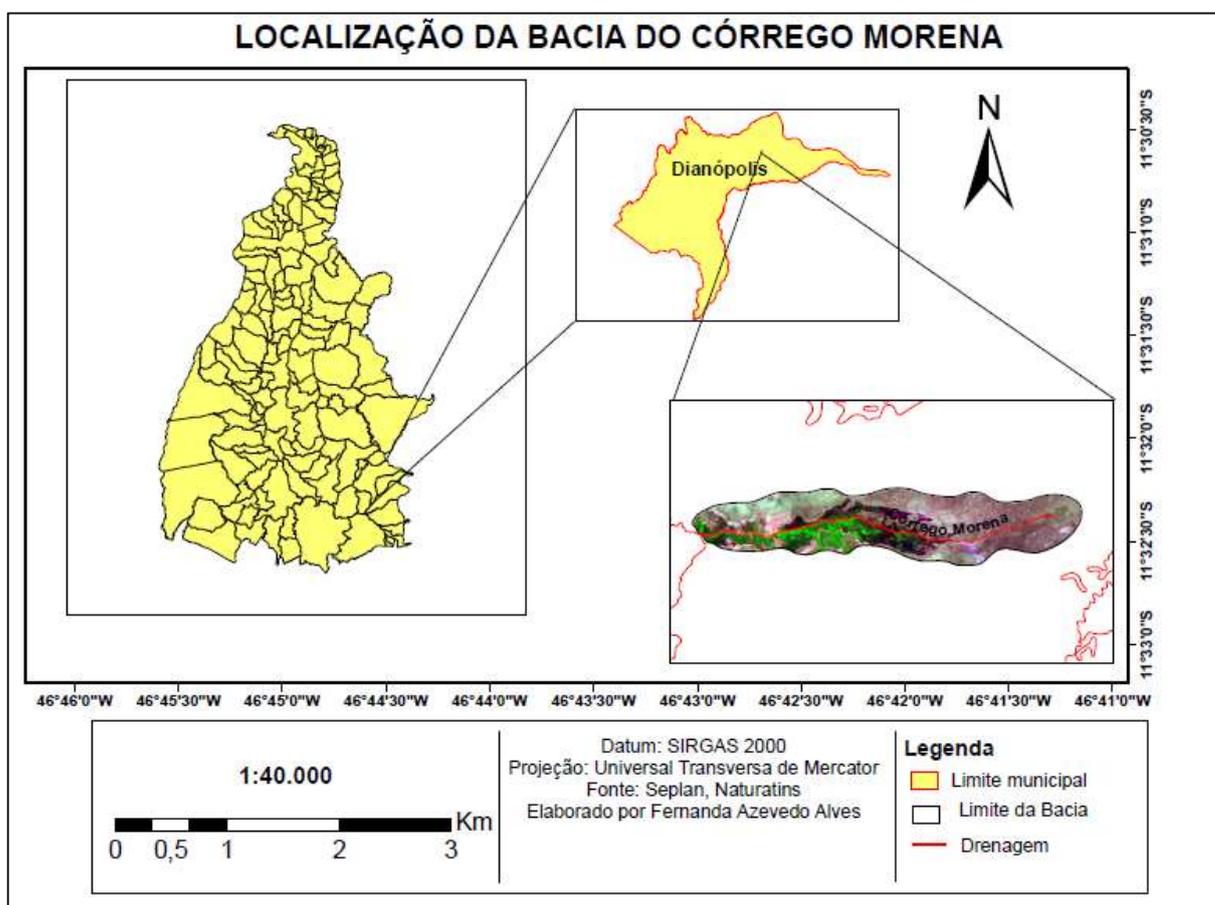
3 METODOLOGIA

A metodologia do estudo consiste em caracterizar a bacia do Córrego Morena, com ênfase em determinar a vazão ofertada na área de drenagem.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se refere a Bacia Hidrográfica do Córrego Morena com área de aproximadamente 26,766 km² e se encontra introduzido dentro do município de Dianópolis – TO a 70 km do centro da cidade (figura 17), na parte da montante ocorre a captação de água da Brookfield (BRK – Ambiental).

Figura 17 – Localização da Área de estudo.

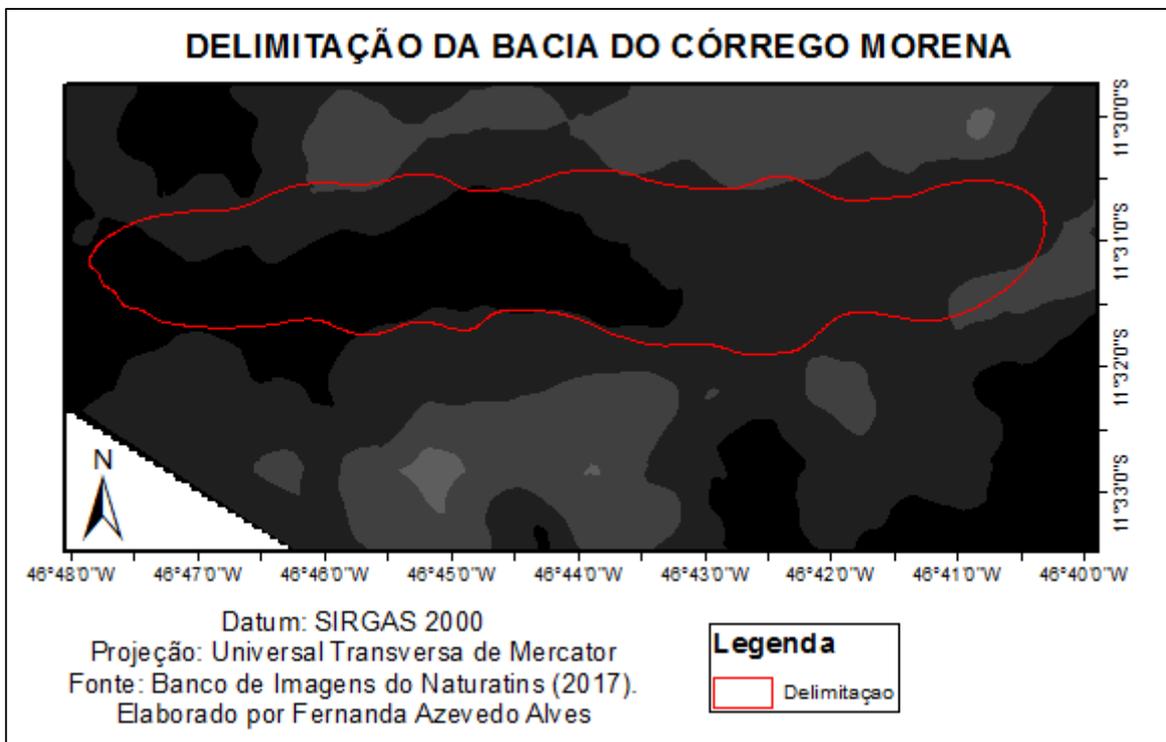


3.1.1 Delimitação da Bacia

Com utilização das imagens do satélite LANDSAT–TM 8, referente ao ano de 2017, foi delimitado no programa computacional ArcGIS a Bacia do Córrego Morena, utilizando a ferramenta *hidrology*, conforme a figura 18. As imagens do satélite LANDSAT–TM 8 foram obtidas com base nos arquivos digitais, de propriedade do

Governo do Estado do Tocantins, que se encontra disponível para qualquer cidadão no *site* do Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS).

Figura 18 – Delimitação da área em estudo



3.1.2 Caracterização fisiográfica da Bacia do Córrego Morena

Através do programa computacional Google Earth Pro, foram coletados pontos de acordo com a área de estudo e trabalhados no ArcGIS, convertidos de GCS-84 para SIRGAS 2000 com auxílio da ferramenta *Project*, para a obtenção das curvas de nível da bacia.

Tendo obtido as curvas de nível da bacia e determinando seu exutório, torna-se possível a caracterização fisiográfica da mesma com mais facilidade. Através do programa computacional ArcGis possibilitou organizar, processar, analisar e compreender as informações da bacia. Com a ferramenta *Project* efetua-se a conversão dos dados para coordenadas geográficas SIRGAS 2000, que possibilitou o levantamento das características geométricas que são elas, área (A), perímetro (P), comprimento axial (L_c), comprimento talvegue (L_t) e comprimento total (L). Já o fator de forma (k_f), coeficiente de compactidade (k_c) e Índice de Circularidade (I_c) que também são características geométricas foi obtido através das equações abaixo.

$$k_f = \frac{A}{L_c^2} \quad (31)$$

Onde:

A = área da bacia [km^2]

L_c = comprimento axial [km]

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (32)$$

Onde:

A = área da bacia [km^2]

P = perímetro [km]

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (33)$$

Onde:

A = área da bacia [km^2]

P = perímetro [km]

No que diz respeito a rede de drenagem a ordem do curso d'água foi analisada de acordo com Strahler (1952), onde são conceituados de primeira ordem os cursos d'água formadores e assim sucessivamente, foi caracterizado a densidade de drenagem (D_d), um dado muito importante pois indicou o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de acordo com a equação.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (34)$$

Onde:

A = área da bacia [km^2]

$\sum L_i$ = somatória do comprimento total dos cursos d'água [km]

Além de determinar a sinuosidade do curso d'água (S) que verificou a velocidade de escoamento da bacia, através da seguinte equação.

$$S = \frac{L}{L_t} \quad (35)$$

Onde:

L = comprimento total do curso d'água [km]

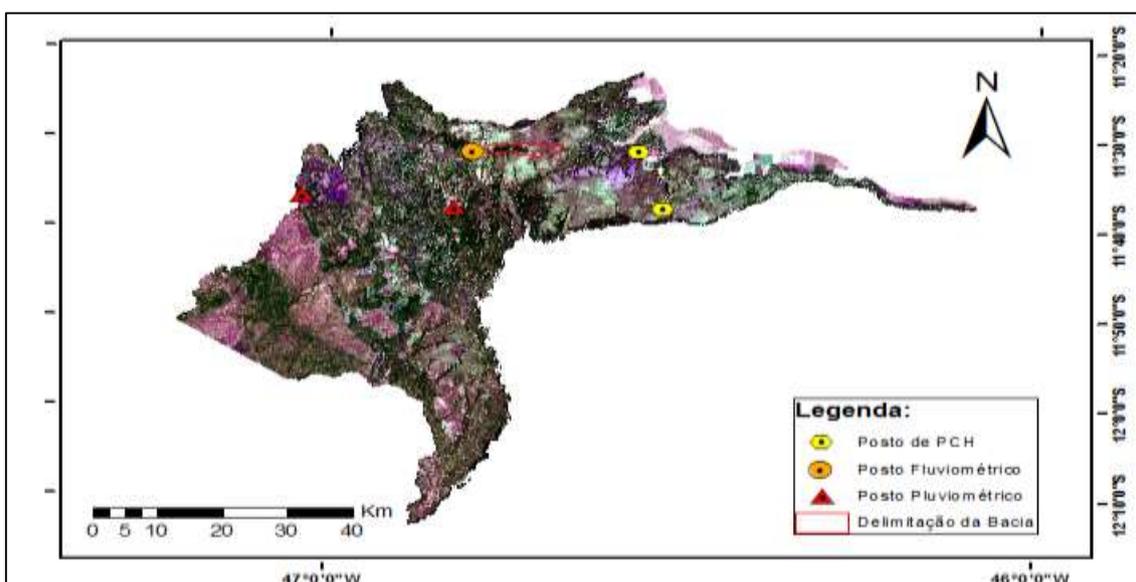
L_t = comprimento talvegue [km]

Para finalizar a caracterização fisiográfica da bacia foi caracterizado o relevo da bacia, obtendo a declividade do terreno da bacia (mínima, média e máxima), foram obtidas através das curvas de nível geradas no Google Earth Pro em GCS-84 que analisadas no ArcGis foi elaborada o mapa de declividade em SIRGAS 2000. Com o ArcGis também foi determinado o mapa hipsométrico adquirindo as altitudes da bacia.

3.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

A precipitação pluviométrica para melhor atender o estudo realizado, seria ter uma análise de pluviometria, porém a bacia em estudo não possui nenhuma estação em sua delimitação disponibilizando dados de precipitação conforme a figura 19 demonstra. A bacia do Córrego Morena possui apenas uma estação em sua delimitação Posto de Dianópolis de código 22195000, que coleta dados apenas de qualidade da água.

Figura 19 – Estações de Precipitação no município de Dianópolis- TO



Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2018).

Como não tem estação dentro da bacia, foi trabalhado com a equação Intensidade Duração e Frequência (IDF) descrita abaixo.

$$i_m = \frac{K * T^a}{(t_c + b)^c} \quad (36)$$

Onde:

i_m = intensidade máxima da precipitação [mm/h]

T = período de retorno em anos

t = duração da precipitação [min]

K, a, b, c = parâmetros de ajustes relativos ao local estudado

Que foi equacionada considerando os fatores regionais e climáticos da bacia hidrográfica, desenvolvida para cidade de Dianópolis. Nesta equação adquiriu-se previamente a frequência de ocorrência que a chuva máxima diária registrada pode ocorrer novamente, os parâmetros de ajustes relativos a cidade de Dianópolis (K, a, b, c) foi obtido pelo *software* Plúvio 2.1 disponível para *download* no *site* (<http://www.gprh.ufv.br>), conforme a figura 20. Outro dado que devemos obter é o tempo de concentração (t_c), que define o tempo que o escoamento gerado pela precipitação leva para chegar ao exutório da bacia, para a área da bacia em estudo a equação mais adequada, foi equação de Picking onde:

$$t_c = 51,79 \left(\frac{L_t^2}{S_0} \right)^{1/3} \quad (37)$$

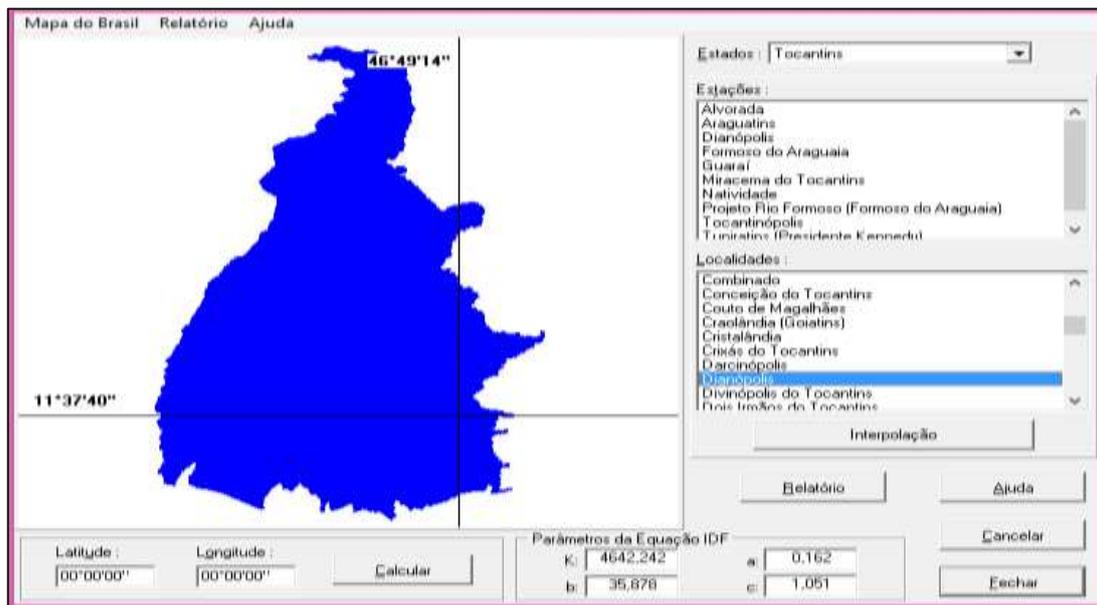
Sendo:

L_t = comprimento do talvegue [km]

S_0 = declividade média do talvegue [m/km]

O tempo de retorno utilizado para o estudo da bacia foi de 20 anos, por ser o tempo de retorno mas adotado para projetos de abastecimento. E o estudo deseja determinar a capacidade para o comportamento de uma bacia de abastecimento. A literatura recomenda adotar entre 5 a 50 anos para obras em geral em médias bacias e que não quase prejuízo muito expressivo (TUCCI et al., 2000).

Figura 20- Parâmetros de ajustes relativos a cidade de Dianópolis – TO (IDF).



Fonte: (Plúvio 2.1).

3.3 DETERMINAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

A escolha do Modelo Hidrológico a ser trabalhado para determinar a vazão de escoamento superficial, foi com base na área da bacia. Sendo adotado o Método do Número da Curva - SCS (*Soil Conservation Service-1972*), por ser elaborado para trabalhar com o acréscimo de volume de escoamento por unidade de área, considerando as alterações ocasionadas pela ocupação da bacia, visto que ele trabalha correlacionando o solo com a cobertura vegetal para obter a constante CurveNumber (CN), que é determinado a partir de uma média ponderada, que correlaciona a área de cada cobertura com um valor de CN específico, que posteriormente, equaciona a taxa de armazenamento no solo que possibilita a geração do escoamento superficial.

Para a determinação do CN, primeiramente foi elaborado o mapa pedológico para a bacia do Córrego Morena e identificado o grupo hidrológico de cada solo. A tabela 7 apresenta as especificações hidrológica dos solos de acordo com cada classe de solo. O mapa pedológico usado nesse estudo foi criado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O mapa original apresentava as coordenadas em formato *shapefile* datum SAD-69, sendo convertido para SIRGAS 2000. De modo que a bacia apresenta os solos Argissolo, Gleissolo e Neossolo.

Tabela 7 – Grupos hidrológicos dos solos de acordo com a descrição

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

Fonte: (PAZ, 2004).

O assunto do uso e cobertura vegetal da bacia demonstra-se bastante importante, visto que o conhecimento com a área da bacia é ocupado facilita identificar a origem dos problemas, que acaba facilitando para a preservação dos recursos hídricos. Para esse estudo foram utilizados dois mapas de cobertura vegetal e uso do solo em períodos diferentes, com intuito de verificar as transformações ocorridas. O primeiro mapa foi elaborado com base nos dados disponível para *download* no *site* da Secretaria do Planejamento e Orçamento (SEPLAN), com base na derivação de um mapa de uso e ocupação do solo do estado do Tocantins do ano de 2007 em escala 1:100.000 para todo o território tocantinense, onde se reduziu das 24 classes do mapa original para apenas 3 classes que são as que caracteriza a bacia em estudo. Ressaltando que o mapa original se encontrava em GCS-69 tendo que converter para datum SIRGAS 2000. Já o segundo mapa foi elaborado com base em um imagem do LANDSAT- TM8 de 2017 disponível para *download* no Banco de Imagens do *site* do Naturatins, a escolha desse dado se deu por ser a mais atual disponível para acesso, com data de passagem no dia nove de agosto de 2017 (09/08/2017).

Sendo assim para obtenção do CN foi utilizado como base a tabela 8, correlacionando o grupo hidrológico dos solos com a cobertura vegetal presente na

bacia, para os dois mapas utilizados para esse estudo. Encontrando os seguintes CN para cobertura vegetal de acordo com as tabelas 9 e 10.

Tabela 8 – Valores de CN em função da cobertura vegetal e do grupo hidrológico

Uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas	Grupo hidrológico de solos			
	A	B	C	D
Uso residencial				
Tamanho médio do lote	% Impermeável			
até 500 m ²	65	77	85	90
1000 m ²	38	61	75	83
1500 m ²	30	57	72	81
Estacionamentos pavimentados, telhados	98	98	98	98
Ruas e estradas:				
pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98
com cascalho	76	85	89	91
de terra	72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)				
Distritos industriais (72% de impermeabilização)	89	92	94	95
Espaços abertos, parques, jardins:				
boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto				
plantio em linha reta	77	86	91	94
Culturas em fileira				
linha reta	condições ruins	72	81	88
	condições boas	67	78	85
curva de nível	condições ruins	70	79	84
	condições boas	65	75	82
Cultura de grãos				
linha reta	condições ruins	65	76	84
	condições boas	63	75	83
curva de nível	condições ruins	63	74	82
	condições boas	61	73	81
Pasto				
linha reta	condições ruins	68	79	86
	condições médias	49	69	79
	condições boas	39	61	74
curva de nível	condições ruins	47	67	81
	condições médias	25	59	75
	condições boas	6	35	70
Campos	condições boas	30	58	71
Florestas				
	condições ruins	45	66	77
	condições médias	36	60	73
	condições boas	25	55	70

Fonte: (PAZ, 2004).

Tabela 9 – Valores de CN para Cobertura Vegetal e Uso do Solo do ano 2007

Cobertura Vegetal	Classificação do Solo	CN
Campo	B	58
Mata de Galeria	D	79
Vereda	D	79

Fonte: (SEPLAN, 2007).

Tabela 10 – Valores de CN para Cobertura Vegetal e Uso do Solo do ano de 2017

Cobertura Vegetal	Classificação do Solo	CN
Campo	B	58
Solo Exposto	B	86
Mata de Galeria	D	79
Vereda	D	79
Desmatamento	B	59

Fonte: (Naturatins, 2017).

3.3.1 Determinação da Taxa de Armazenamento do Solo

Tendo o valor de (CN), determinado pela média ponderada, podemos calcular o valor da taxa de armazenamento do solo, dado pela variável “S”, que é em função do CN, utilizando a seguinte equação.

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (38)$$

Sendo:

S = infiltração potencial [mm]

CN = número da curva

3.3.2 Determinação da Taxa de Perda

Com o valor de “la”, podemos pôr fim calcular a última variável, que define o volume de escoamento superficial por unidade de área, essa taxa corresponde a 20% do “S” (TUCCI et al. 2000), dessa forma já é possível calcular o volume que será dado em (mm).

3.3.3 Cálculo do Volume

Com os valores de todas as variáveis determinadas, consegue-se finalmente calcular o volume apresentado na bacia hidrográfica. Deixando claro que (ES) é a lâmina escoada na bacia, e para se ter o volume total precisa multiplicar essa lâmina pela área da bacia.

$$ES = \frac{(P_t - 0,2S)^2}{(P_t + 0,8S)} \quad (P > 0,2S) \quad (39)$$

Onde:

ES = escoamento superficial total [mm]

P_t = precipitação total [mm]

S = infiltração potencial [mm]

3.4 CÁLCULO DA VAZÃO

Para obtenção da vazão do Córrego Morena, foi utilizado o escoamento superficial total em relação à média ponderada de cada CN do solo da bacia, em razão do tempo de concentração, conforme a equação abaixo. Determinando a vazão para os dois mapas de cobertura vegetal e uso do solo.

$$Q = \frac{ES * A}{t_c} \quad (40)$$

Onde:

$$Q = \text{Vazão} \left[m^3/s \right]$$

A = escoamento superficial total [m^2]

ES = escoamento superficial total [m]

t_c = tempo de concentração [s]

3.5 COMPORTAMENTO DA VAZÃO

Sobre os efeitos ocasionados pela descaracterização da bacia estudada, foi realizado uma análise comparativa das vazões, com base nos dois mapas analisados. A análise desses dois mapas foi utilizado como uma maneira de demonstra a produção hídrica para anos diferentes e verificar se a cobertura vegetal e uso do solo influenciou para diferenças na vazão.

Foi também realizado uma análise das vazões obtidas na Estação Elevatória de Dianópolis (Captação Morena) figura 21, concedida pela Empresa BRK – Ambiental, dessa forma além de analisar a vazão gerada pela alteração da cobertura vegetal do solo, também foi realizado um comparativo de acordo com a medição da Empresa nos períodos de junho de 2016 à dezembro de 2017.

Figura 21 - Estação Elevatória de Dianópolis.



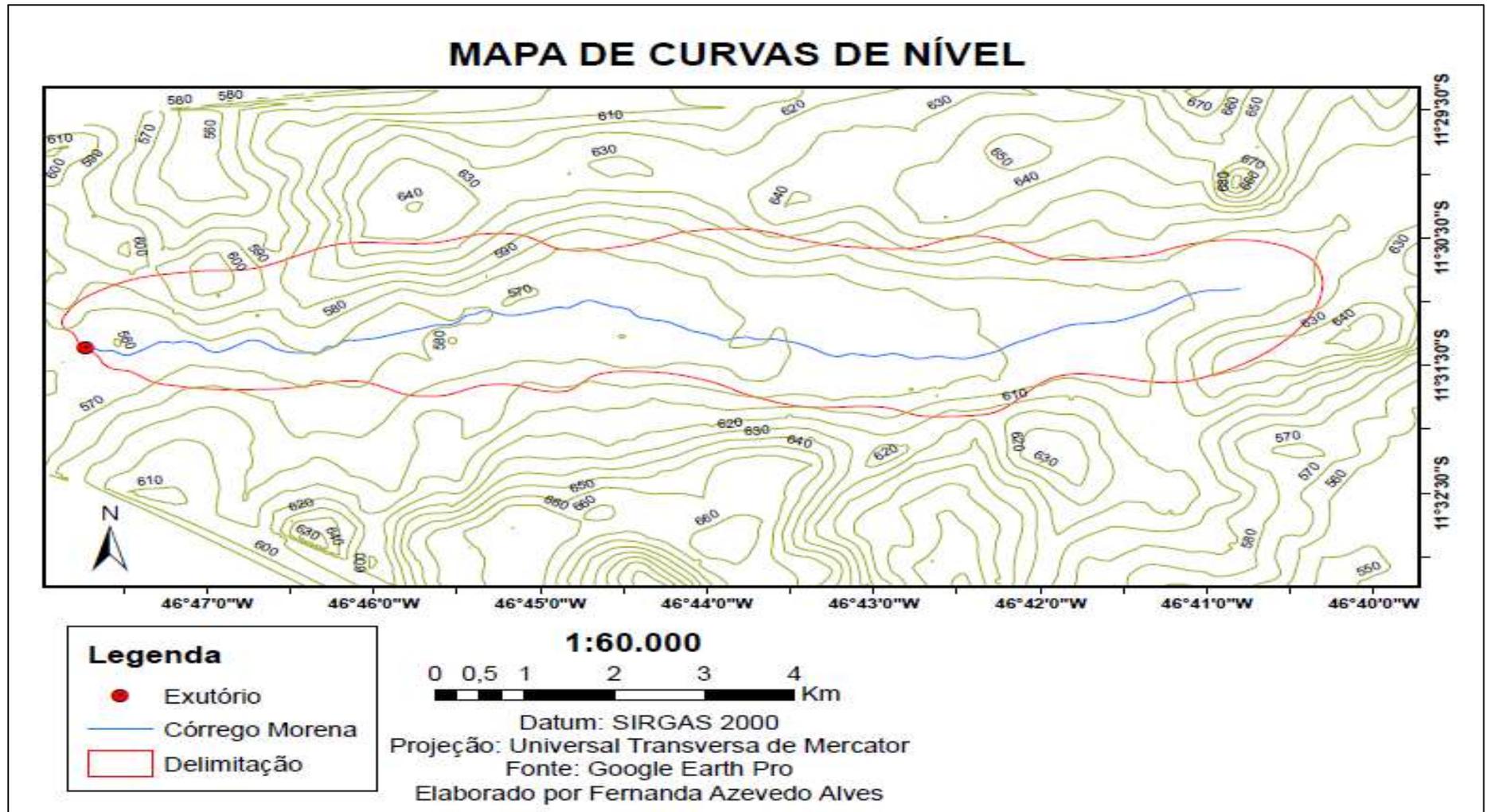
Fonte: (Autor 2018).

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DO CÓRREGO MORENA

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica tem um papel muito importante nos processos hidrológicos. A Bacia Hidrográfica do Córrego Morena foi delimitada e apresentada conforme a figura 22, demonstrando as suas curvas de nível e seu ponto exutório. A bacia possui área de aproximadamente 26,766 km², com perímetro de 30,105 km, com comprimento total de 13,49 km, que é essencial para a bacia pois está associado ao tempo de escoamento da água ao longo de toda a bacia, o comprimento axial foi de 12,68 km que se refere ao comprimento em linha reta entre a nascente e a foz, tendo uma diferença de apenas 0,81 km correlação ao comprimento axial, o comprimento do talvegue foi de 14,38 km. Refere-se a uma unidade hidrológica de pequenas dimensões.

Figura 22 – Mapa de Curva de Nível



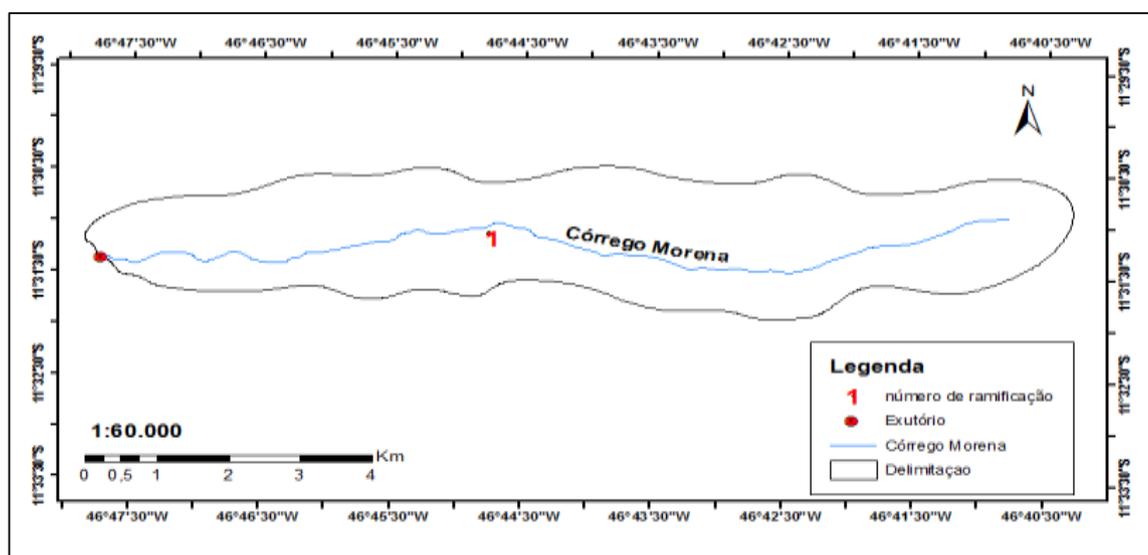
O coeficiente de compacidade (k_c) calculado para a bacia foi de 1,629, o que facilita identificar um longo tempo de concentração da água da chuva no interior da bacia, demonstrando um formato irregular. Já o índice de circularidade (I_c) baixo para área de drenagem de apenas 0,371, só confirma o formato alongado da bacia, que de acordo com Christofletti (1974) bacias com valores menores que 0,51 apresenta formato alongado, este índice agrega o coeficiente de compacidade.

O fator de forma identifica, se a bacia tende a sofrer enchentes, para a bacia em estudo o (k_f) calculado é de 0,166, sendo um valor muito baixo revela que a bacia não é propícia a enchentes.

Esses valores possibilita compreender que a forma da bacia, junto com as características meteorológicas da região (chuvas convectivas, de curta duração mas de grande volume), que raramente precipita em toda a bacia ao mesmo tempo, devido a sua forma alongada, não tendo possibilidade de acontecer enchentes, além de possuir uma baixa concentração de deflúvio (VILLELA; MATTOS, 1975).

O critério abordado por Strahler (1952) para representação do grau de ramificação da bacia, demonstrou que a rede de drenagem da bacia apresenta grau de ramificação de primeira ordem (figura 23). É interessante destacar que a ordem da drenagem está correlacionada com o capacidade de uso dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica, o que apresenta deficiência na drenagem da Bacia do Córrego Morena.

Figura 23 – Hierarquia de canais da bacia em estudo.



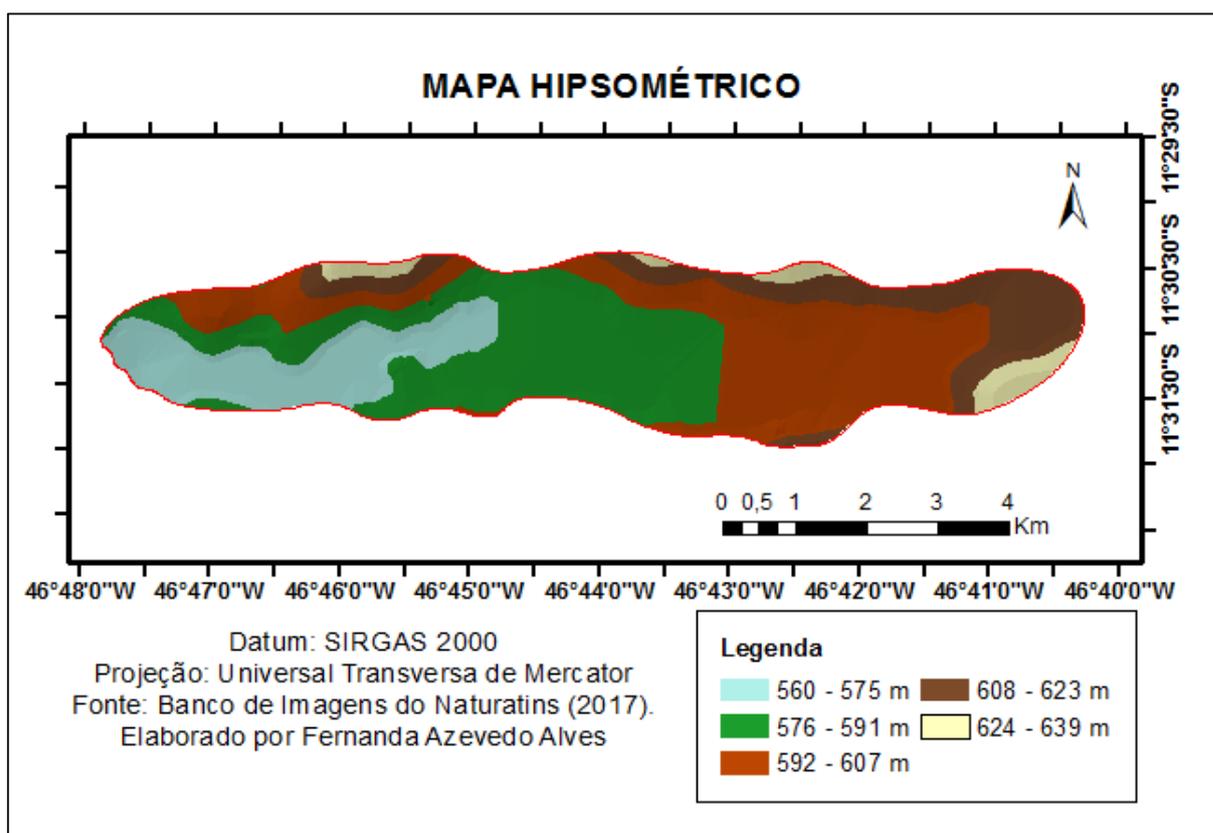
Fonte: (Autor, 2018).

A densidade de drenagem (D_d) para a bacia foi de 0,505 km/km². O que segundo Villela; Mattos (1975), afirma que esse índice pode variar de 0,5 km/km² para bacias com drenagem pobres para 3,5 km/km² para bacias bem drenadas, o que significa que o sistema de drenagem da bacia em estudo é baixo, devido a bacia não possuir ramificações na sua rede de drenagem.

O índice de Sinuosidade (S) de 0,938 calculado para a área de drenagem permite confirmar que o curso d'água do rio principal tem sinuosidade de transição, relativamente curvo.

De acordo com a mapa hipsométrico (figura 24), pode-se observa que a região mais baixa da bacia é de 560 metros e fica na região próximo a sua montante e a maior altitude é de 639 metros. Esses resultados permite concluir que há uma variação quanto a altimetria na bacia, as áreas que apresentam maiores cotas altimétricas se encontram-se próxima aos divisor topográfico.

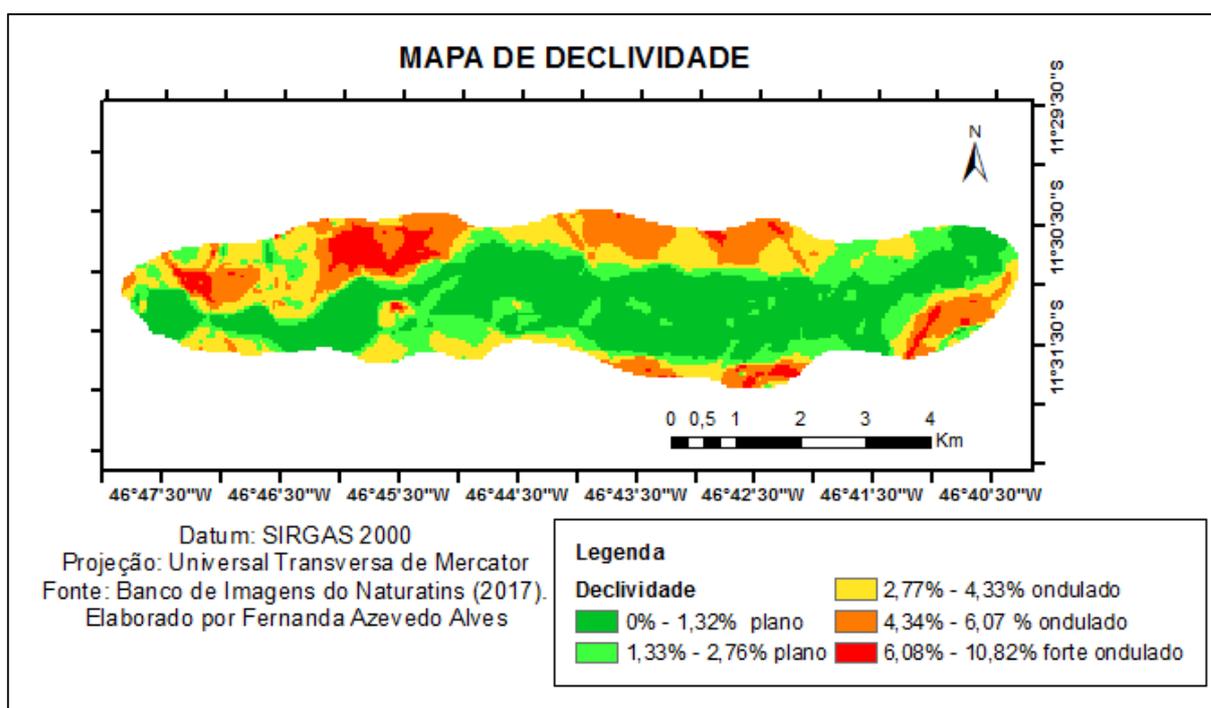
Figura 24 – Mapa Hipsométrico da Bacia



Nesse estudo as declividades foi abordada em porcentagem. Para um entendimento mais fácil classificamos de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1999), onde: relevo plano (0 a 3%), relevo suave ondulado (3 a 8%), relevo ondulado

(8 a 20%) e relevo forte ondulado (20 a 45%). De acordo com a figura 25, o relevo plano representa a maior proporção na área da bacia, o relevo suave ondulado também predomina na bacia mas é menor proporção e em algumas áreas possui relevo ondulado. Dessa forma podemos observar que a água demora mais para escoar, assim como menor velocidade, por ser um relevo sem muitas ondulações. O quadro 1 apresenta a síntese dos resultados.

Figura 25 – Mapa de Declividade



Quadro 1 – Características Fisiográfica da bacia do Córrego Morena

Características	Parâmetro	Resultados
Geométrica	Área total (A)	26,766 km ²
	Perímetro (P)	30,105 km
	Fator de forma (k_f)	0,166
	Coefficiente de compacidade (k_c)	1,629
	Comprimento do rio principal (L_c)	13,49 km
	Índice de Circularidade (I_c)	0,371
Drenagem	Comprimento total da drenagem (L_i)	13,49 km
	Comprimento do talvegue (L_t)	14,38 km
	Ordem do Curso d'água	1
	Densidade de drenagem (D_d)	0,505 km/km ²
	Sinuosidade do curso d'água (S)	0,938
Relevo	Declividade mínima	1,32%
	Declividade média	4,34%
	Declividade máxima	10,82%
	Curva Hipsométrica – Altitude mínima	560m
	Curva Hipsométrica – Altitude máxima	639m

Fonte: (Autor, 2018).

4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Seguindo os critérios da metodologia foi adotado tempo de retorno de 20 anos para o estudo. Obtendo um tempo de concentração de 200,82 minutos de acordo a equação de Picking, apresentando um tempo de concentração alto, mais uma vez confirmando o formato alongado da bacia, visto que quanto maior o tempo de concentração em uma bacia mais tempo a água da chuva levará para escoar até seu exutório.

A precipitação que ocorre na bacia do Córrego Morena, de acordo com o método abordado para o estudo, Intensidade Duração e Frequência (IDF), utilizando os parâmetros encontrados no Plúvio 2.1, onde ($k = 4642,242$; $a = 0,162$; $b = 35,878$; $c = 1,051$) foi de 24,11 mm/h, uma precipitação muito baixa. Com esses resultados concluímos que o IDF não é um metodologia recomendada para área em estudo, pois não apresenta a realidade da região.

4.3 CONDIÇÕES PEDOLÓGICAS E USO DO SOLO

Além das características fisiográficas a bacia hidrográfica também é caracterizada por seus fatores pedológicos e uso do solo.

4.3.1 Mapa Pedológico

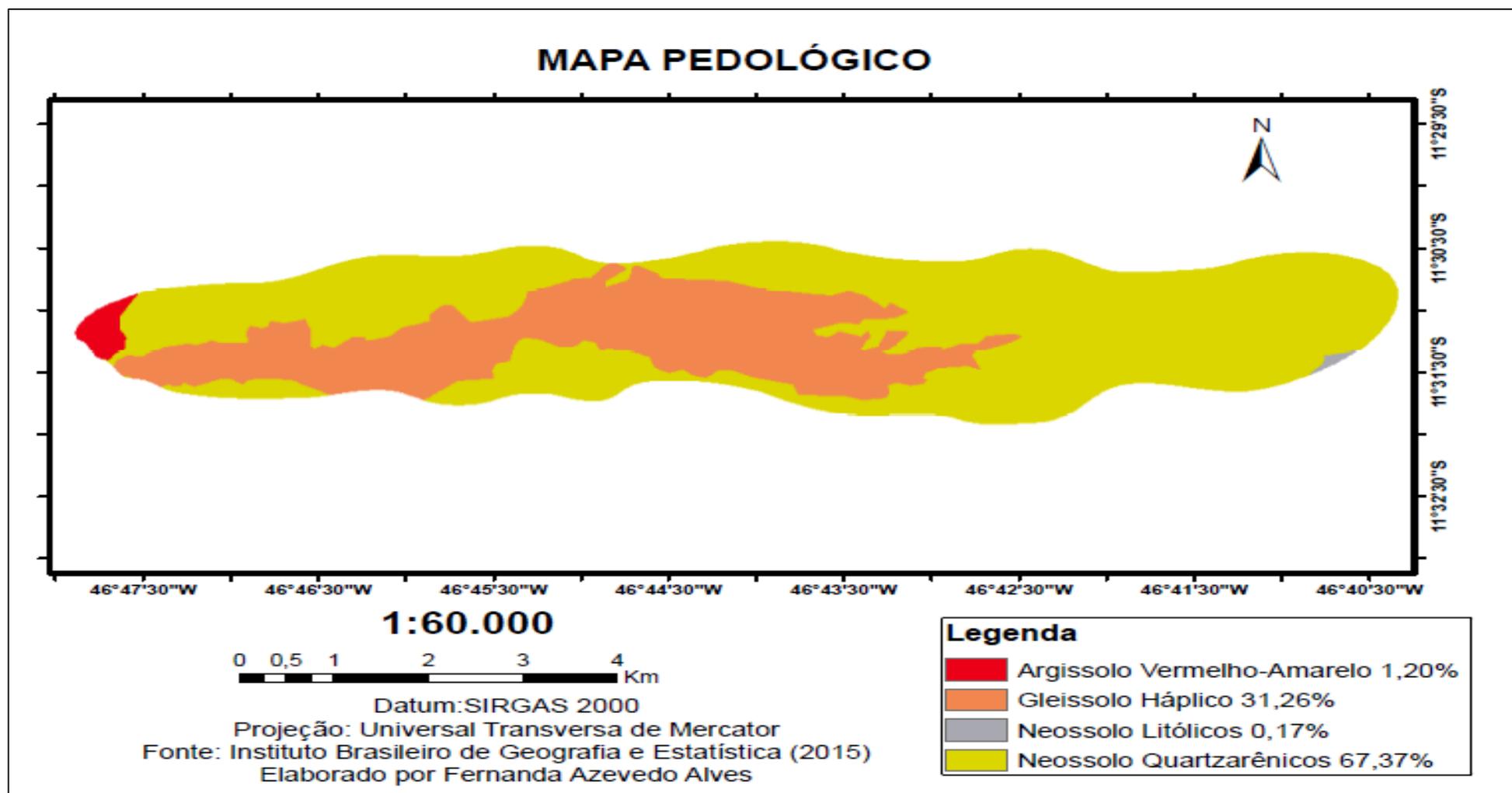
Após os ajustes previstos na metodologia no item 3.3, o mapa pedológico foi reajustado conforme demonstra a figura 26, onde predomina a presença de Argissolo Vermelho Amarelo, Gleissolo Háptico, Neossolo Quartzarênicos e Neossolo Litólicos.

Os Argissolos em geral possuem alto teor de argila no horizonte B em relação ao horizonte A, esse solo em extensão é a segunda classe maior do país. Para o Argissolo Vermelho Amarelo presente na bacia os aspectos gerais são, argiloso, suave ondulado e cascalhento.

Os Gleissolos Háptico possuem uma tipologia arenosa, sendo mais plano e um pouco rochoso, os solos Neossolos Quartzarênicos também são arenosos e planos, porém possuem seu perfil de cor amarelada. O Neossolo Litólicos apresenta uma profundidade que não ultrapassa 50 cm, o que aumenta o risco de erosão (SHINZATO

et a, 2008). O solos apresentados na bacia apresenta as mesmas característica da declividade, dando mais precisão aos resultados.

Figura 26 – Mapa Pedológico

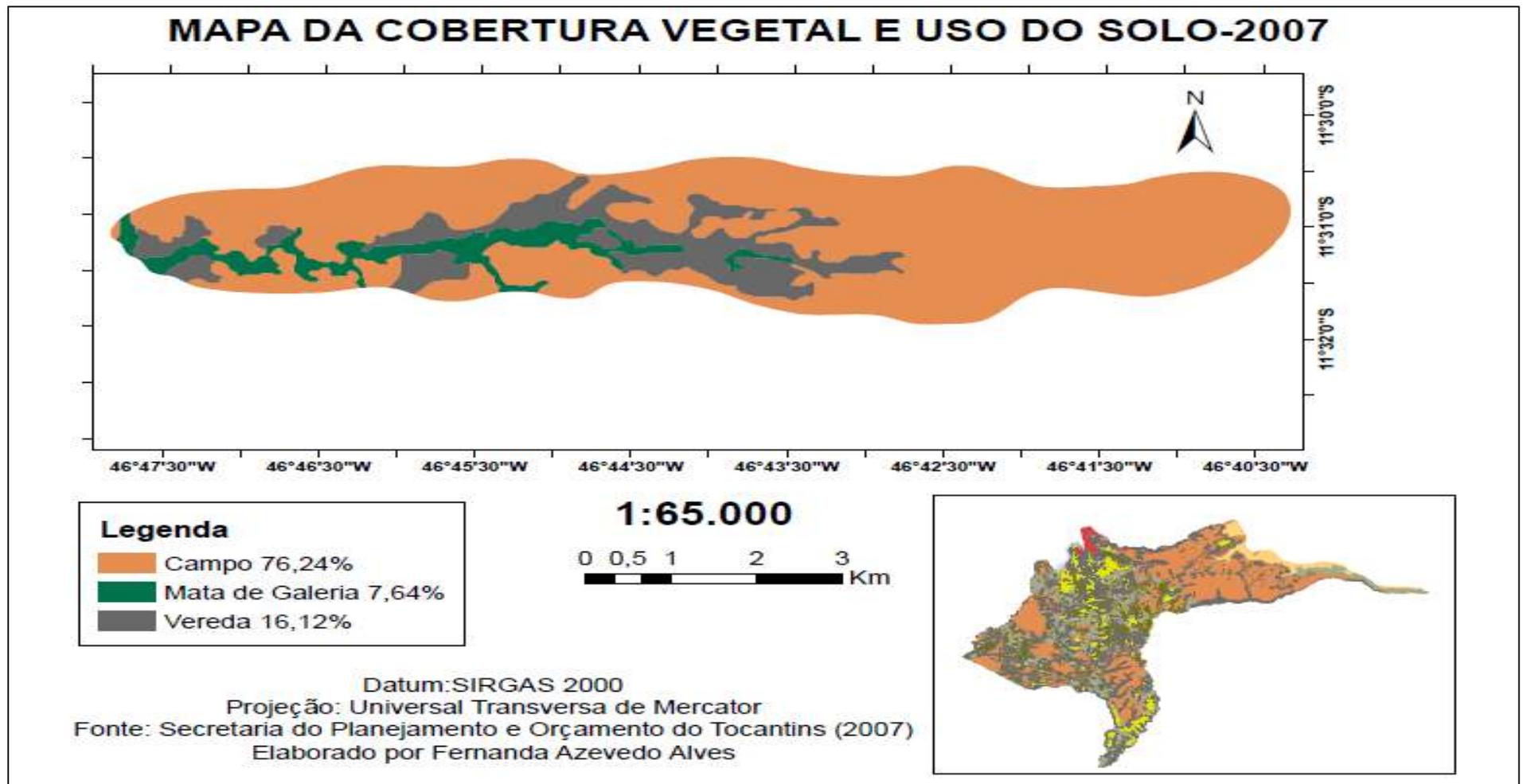


4.3.2 Mapa de Cobertura vegetal e Uso do solo

4.3.2.1 Mapa de Cobertura vegetal e Uso do solo de 2007

A bacia do Córrego Morena para o ano de 2007 de acordo com a mapa (figura 27), apresentou como principal uso do solo na área da bacia o campo, compreendendo 76,24%, o que caracteriza uma vegetação rasteira, as áreas com vereda em 16,12% e mata de galeria com 7,64%. A vereda e a mata de galeria são vegetações típicas do cerrado e são muito importante para preservação do curso d'água, principalmente no período de seca pois mantém o solo úmido, e abastece o lençol freático.

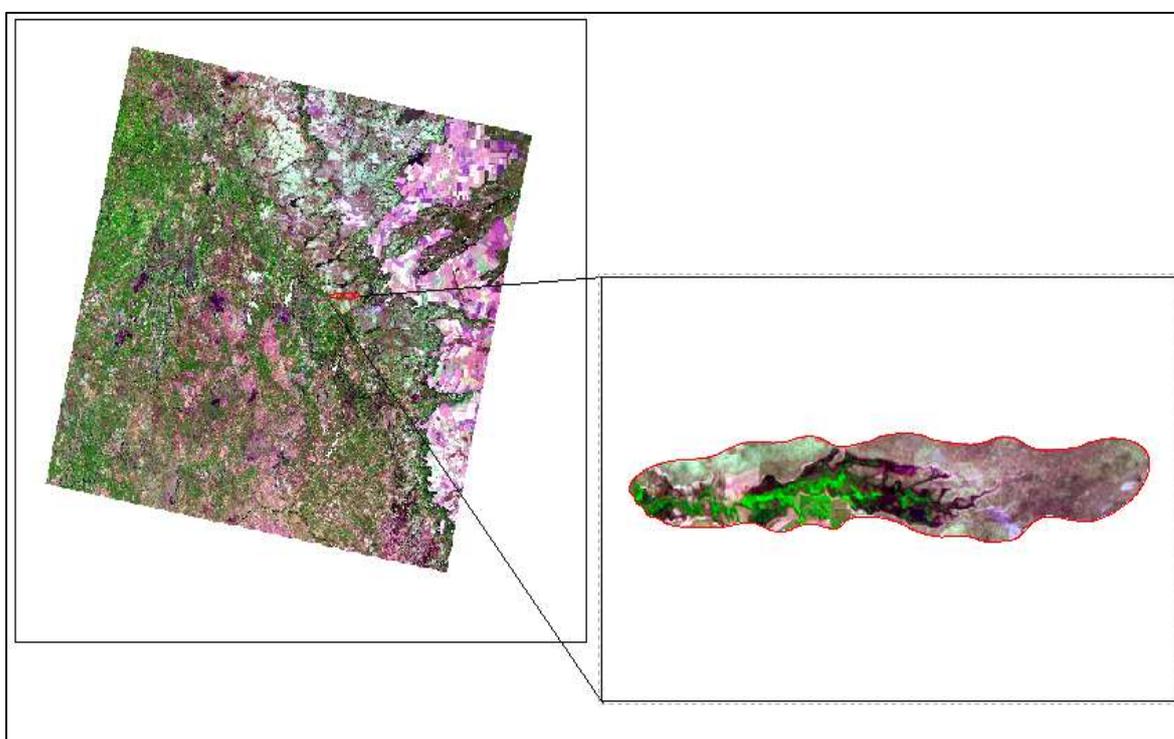
Figura 27 – Mapa da cobertura vegetal e uso do solo – 2007.



4.3.2.2 Mapa de Cobertura vegetal e Uso do solo de 2017

Para a interpretação dos mosaicos da imagem do LANDSAT- TM8 (figura 28) presente na bacia do Córrego Morena, foi usado os padrões básicos de interpretação de cores, texturas e formas apresentados no *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) elaborado por Miranda (2005). O quadro abaixo demonstra resumido apenas as feições que a área em estudo apresentou. Classificando as classes da cobertura de forma correta para a área da bacia.

Figura 28 - Imagem do LANDSAT-TM8 (Área da Bacia do Córrego Morena)



Fonte: (Naturatins, 2017).

Quadro 2 – Feições das classes da cobertura vegetal e uso do solo.

CLASSE	FEIÇÕES
Desmatamento	

Mata de Galeria	
Solo Exposto	
Campos	
Veredas	

Fonte: (Embrapa, 2005).

Para o ano de 2017 a bacia do Córrego Morena sofreu alterações conforme mostra a figura 29, em relação a área da bacia o campo apresentou 50,29%, as área com vereda 15,20%, mata de galeria com 5,84%, o surgimento de solo exposto com 5,35% e desmatamento com 23,32%. O que é preocupante pois o desmatamento influencia nas condições do escoamento futuro da bacia.

Figura 29 – Mapa da cobertura vegetal e uso do solo – 2017.

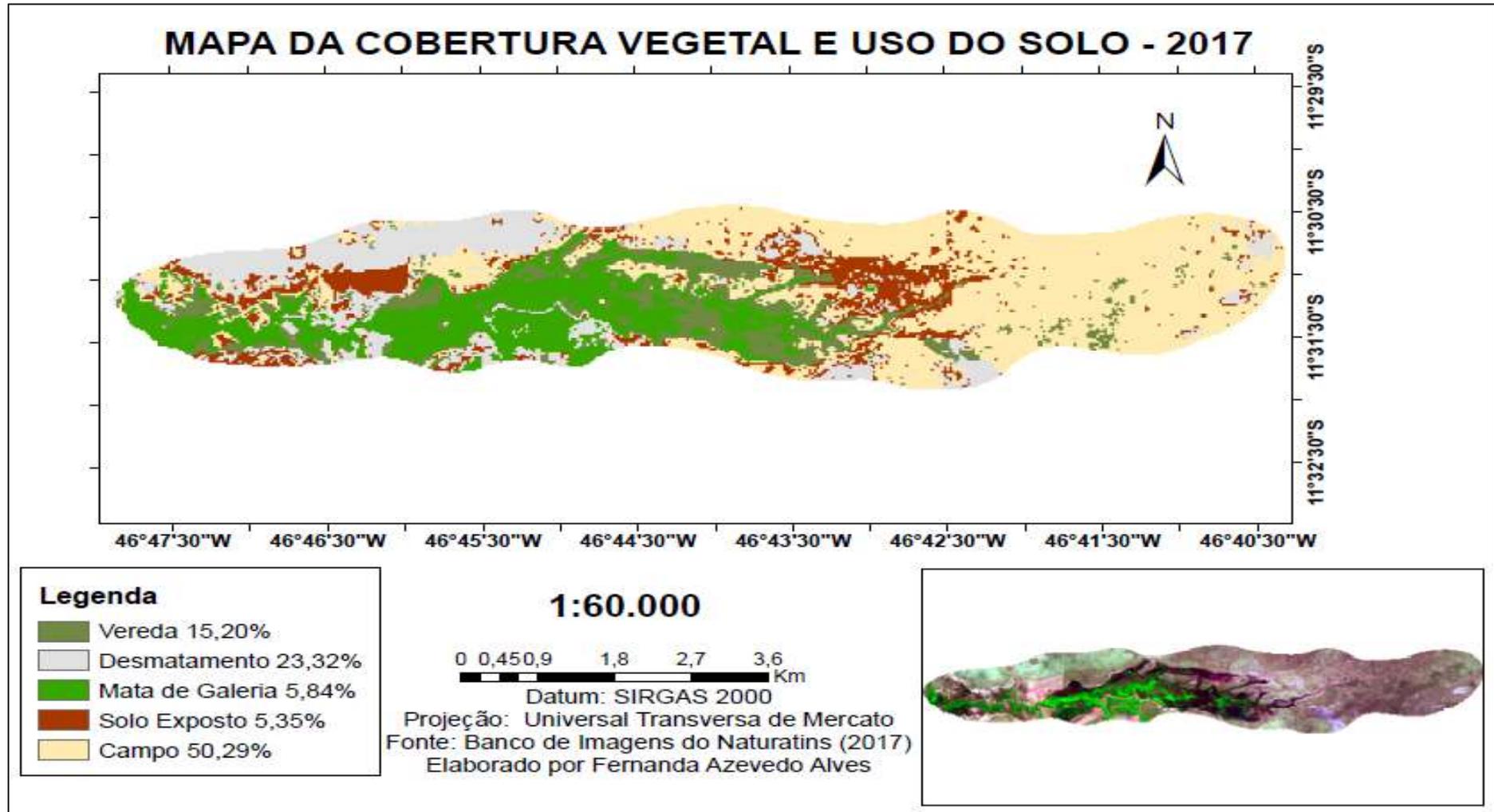


Tabela 11 – Área total e variação geral das cobertura vegetal entre 2007 e 2017.

Cobertura Vegetal	Área em 2007 (km²)	Área em 2017 (km²)	Varição em (km²)
Campo	20,408	13,461	-6,947
Vereda	4,315	4,070	-0,245
Mata de Galeria	2,042	1,564	-0,478
Solo Exposto	0	1,432	1,432
Desmatamento	0	6,239	6,239

Fonte: (Autor, 2018).

Correlacionando a situação entre os dois mapas e a análise da tabela 11, de maneira simples conseguimos evidenciar o aparecimento de áreas desmatadas sendo de 6,239 km² e solos expostos de 1,432 km². Devido essas alterações a cobertura vegetal do ano de 2017 sofreu redução, sendo o campo a área que foi mais afetada em relação a 2007, tendo uma diminuição da sua área de 6,947 km². A vereda e mata de galeria não tiveram alteração alarmante, tendo em vista que são vegetações que preserva o curso d'água deve-se toma um certo cuidado, para que não afete o escoamento da bacia e que não prejudique a vazão ofertada pela mesma.

4.3.3 Determinação do Número da Curva (CN)

Considerando as características da bacia obtidas através dos estudos do mapa pedológico e os dos mapas de uso do solo. Por meio de uma média ponderada foi obtido CN para os dois mapas estudado onde para o ano de 2007 o CN foi de 62,99 e para 2017 o CN foi de 64,15, a tabela 12 e 13 detalha a obtenção do CN ponderado. Através do CN ponderado de cada solo obteve a infiltração potencial (*S*), para a cobertura vegetal de 2007 se teve 149,24 mm, e para o ano de 2017 141,95 mm, com estimativas de perdas iniciais de 29,85 mm e 28,39 mm respectivamente para ambos os anos. A determinação dessas variáveis é importante para a obter o volume da bacia é assim a vazão produzida pela mesma que é o objetivo do estudo.

Tabela 12 - Detalhamento do CN ponderado (2007)

Cobertura Vegetal	Área (ha) 2007	Área (%)	Classificação do Solo	CN	CN (ponderado)
Campo	2040,81	76,24%	B	58	44,219
Mata de Galeria	204,26	7,64%	D	79	6,035
Vereda	431,58	16,12%	D	79	12,734
	2676,66	100%			62,989

Fonte: (Autor, 2018).

Tabela 13 – Detalhamento do CN ponderado (2017)

Cobertura Vegetal	Área (ha) 2017	Área (%)	Classificação do Solo	CN	CN (ponderado)
Campo	1346,12	50,29%	B	58	29,16
Mata de Galeria	156,36	5,84%	D	79	4,61
Vereda	407,04	15,20%	D	79	12,01
Solo Exposto	143,17	5,35%	B	86	4,60
Desmatamento	623,97	23,32%	B	59	13,76
	2676,66	100%			64,15

Fonte: (Autor, 2018).

4.4 CÁLCULO DO VOLUME

Devido a metodologia adotada para o estudo não ser adequada para a área em estudo, não foi possível determinar o volume na bacia.

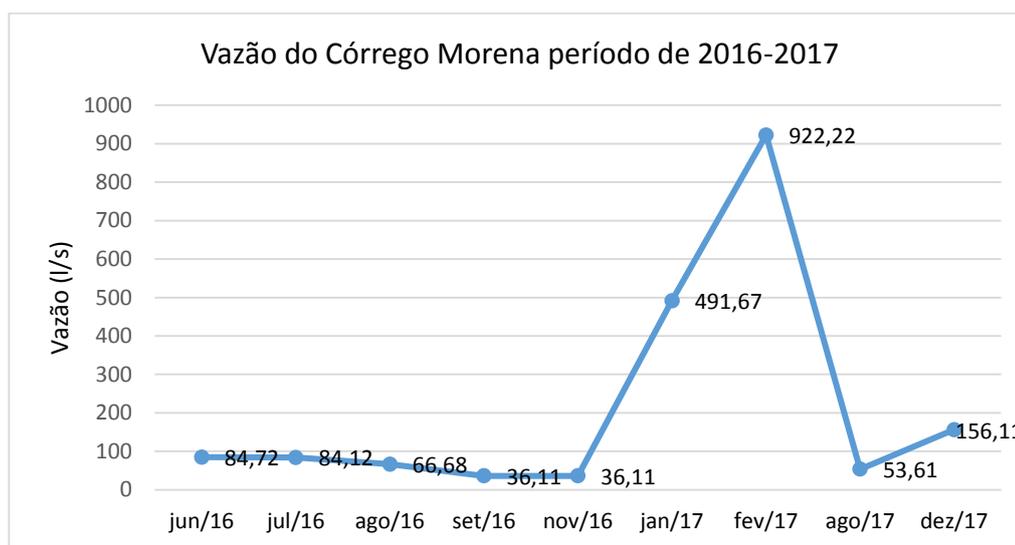
4.5 CÁLCULO DA VAZÃO

De início o cálculo da vazão seria determinado utilizando o Método do Número da Curva (SCS), multiplicado pela área e dividido pelo tempo de concentração da bacia. Devido a metodologia adotada para os dados de precipitação não serem ideias para a área em estudo, não se obteve vazão.

4.6 COMPORTAMENTO DA VAZÃO

Com os dados disponibilizados pela BRK-Ambiental de acordo com gráfico abaixo, foi observado as vazões (em virtude das vazões fornecidas serem valores pequenos para se trabalhar em m³/s optou por se trabalhar em l/s).

Gráfico 1 – Vazão do Córrego Morena no período de 2016-2017



Fonte: (BRK Ambiental, 2018)

Pela a análise do gráfico, conseguimos perceber que os meses de menor vazão são os meses que ocorre menor precipitação.

De acordo com Júnior (2016), o semestre mais chuvoso no estado do Tocantins envolve de outubro a março, com maiores precipitação em dezembro, janeiro e fevereiro. E o período de abril a setembro onde raramente ocorre chuvas.

Para o ano de 2016 observamos no gráfico que as vazões foram muito baixa, e que novembro por ser um mês do período chuvoso teve a menor vazão do ano, junto com setembro, em contrapartida os meses com maior vazão foram os meses que raramente ocorre chuvas. Já para o ano de 2017 as maiores vazões foram para os meses como maior precipitação (fevereiro, janeiro e dezembro) e a menor vazão para agosto. Pela análise vemos que a bacia hidrográfica do Córrego Morena, forneceu vazões para diferentes meses do ano com grande variações.

Em virtude de não se ter vazão pela metodologia proposta não foi possível fazer análise do comportamento das vazões.

5 CONCLUSÃO

Analisando as características fisiográfica da bacia do Córrego Morena, os resultados demonstraram que a bacia não é propícia a inundações, possuindo um bom escoamento superficial, devido ao seu formato alongado, mas apresentando deficiência em sua drenagem. Dessa maneira pode-se afirmar que a bacia em estudo apresenta baixa disponibilidade hídrica superficial, o que pode variar de acordo com a precipitação que ocorre na bacia. Os parâmetros analisados permite, se ter conhecimentos para o uso de técnicas e o planejamento ambiental para a conservação dos recursos hídricos e recursos naturais.

Após o estudo das cobertura vegetal e uso do solo, verificou que nos dois períodos estudado ocorreu mudanças na área da cobertura vegetal da bacia do Córrego Morena, com áreas desmatada, o que acaba prejudicando o lençol freático da bacia, podendo a vim gerar degradação maiores na bacia.

Com base nos resultados obtidos, a metodologia adotada para a obtenção da precipitação e consecutivamente a obtenção da vazão não se aplica para a área da bacia do Córrego Morena.

Diante dos resultados obtidos, sabe-se que são necessários ajustes para o aprimoramento do trabalho e conseqüentemente a melhora dos resultados, cabendo, assim, propor algumas melhorias para evolução da pesquisa. Podendo ainda, utilizar outros modelos hidrológicos.

A fim de fazer as mensurações das vazões em campo. Uma alternativa seria a instalação de medidores Parshall, também chamada de calha Parshall. Esse dispositivo de medição foi criado pelo engenheiro norte-americano do Serviço de Irrigação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Ralph Leroy Parshall (1881-1960). A calha Parshall é um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas. A água é forçada por uma garganta relativamente estreita, e o nível da água à montante da garganta é o indicativo da vazão a ser medida, independentemente do nível da água à jusante da garganta.

A ampliação da rede de monitoramento de sensores de nível e de chuva seria uma alternativa para a ampliação da pesquisa na bacia, que traria uma maior confiabilidade aos resultados, uma vez que poderia acompanhar a variação do nível do rio em pontos distintos, sob diversas condições de uso e cobertura, buscando-se uma melhor compreensão das respostas hidrológicas nos diferentes usos.

A elaboração de mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal mais recente e em escala mais detalhada seria uma opção muito positiva para a ampliação da pesquisa, uma vez que auxiliaria muito no processo de modelagem, tornando seu resultado mais confiável. O detalhamento da escala do MDT também seria uma alternativa muito positiva para novos trabalhos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- BRK AMBIENTAL. BRK Ambiental S.A. Brookfield Business Partners LP. **Histórico das vazões do Córrego Morena**, Dianópolis – TO. Obtido em 22 mar. 2018.
- CARVALHO, Daniel F.; MELLO, Jorge L. P.; SILVA, Leonardo D. B. da. **Irrigação e drenagem**. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICAParte1.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **HIDROLOGIA**. Rio de Janeiro: 2006. 119 p. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- CHRISTOFOLETTI, A. A análise de bacias hidrográficas. In: Christofolletti, Antonio. Geomorfologia. **Edgard Blücher**, EDUSP. São Paulo. 1974.
- COLLISCHONN, Walter. **Bacia hidrográfica**. Porto Alegre: IPH - UFRGS, 2012. 108 slides, color.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999.
- ENGENHARIA ONDE JÁ CIVIL. **Novidades e Grandes Obras**. Disponível em: <<http://engenhariaondejahcivil.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 24 set. 2017.
- GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **HIDROLOGIA**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1988. 291p.
- GOVERNO DO TOCANTINS. **Planejamento e Orçamento**. Disponível em: <<http://seplan.to.gov.br/zonamento/>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS. **GPRH**. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/>>. Acesso em: 22 out. 2017.
- HAAS, Reinaldo. **Precipitação**. Santa Catarina: Metodologia Ufsc, 2000. 50 slides, color. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/915206/mod_resource/content/2/Precipitação.pdf>. Acesso em: 06 out. 2017.
- MACHADO, Ana Lúcia S.; PACHECO, Jesuete Bezerra. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica: the biotic pump. **Revista**

Geonorte, Amazonas, v. 01, n. 01, p.71-89, 2010. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1117/1009>>. Acesso em: 04 out. 2017.

MARINHA DO BRASIL. **Ministério da defesa**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/mb-instala-novo-pluviografo-em-ladario-ms-e-reforca-estudos-na-regiao>>. Acesso em: 17 out. 2017.

METEORÓPOLE. **O que é um pluviômetro?** Disponível em: <<http://meteoropole.com.br/2011/12/o-que-e-um-pluviometro/>>. Acesso em: 17 out. 2017.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>> Acesso em 3 Mar. 2018.

MIRANDA, Fabrisia Montelo. **ANÁLISE TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS NO MUNICÍPIO DE PALMAS - TO Palmas**. 2015. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: Cprm, 2007. 552 p.

NATURATINS. **Banco de imagens**. Disponível em: <<https://naturatins.to.gov.br/banco-de-imagens>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

PAZ, Adriano Rolim da. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul:2004. 138 p. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acesso em: 01 out. 2017.

PINTO, Nelson L. de Sousa et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1976. 278 p.

PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. **Base da dinâmica da cobertura e uso da terra do tocantins**. Disponível em: <<https://seplan.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/base-da-dinamica-da-cobertura-e-uso-da-terra-do-tocantins---199020002007/>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. **Base de dados geográficos do tocantins - atualização 2012**. Disponível em: <<https://seplan.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/base-de-dados-geograficos-do-tocantins-atualizacao-2012/>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

PORTO, Rubem La Lania; ZAHED FILHO, Kamel; SILVA, Ricardo Martins da. **Bacias hidrográficas**. 1999. Escola Politécnica da Usp, São Paulo. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6572>. Acesso em: 06 out. 2017.

PORTAL BRASILEIRO DE DADOS ABERTOS. **IBGE**. Disponível em: <http://dados.gov.br/dataset/cren_solos_to_1000>. Acesso em: 23 mar. 2018.

PRUSKI, Fernando Falco; BRANDÃO, Viviane dos Santos; SILVA, Demetrius David da. **Escoamento Superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

RENNÓ, Camilo Daleles; BORMA, Laura de Simone. **Processos Hidrológicos**. 2017. 49 slides, color. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/aulas>>. Acesso em: 06 out. 2017.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora Universidade da UFRGS, 2000. 943 p.

TUCCI, Carlos E. M.. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 2002. 256 p.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. Precipitação Atmosférica. In: SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Apostila Teórica Climatologia**. Espírito Santo: Ufes, 2014. Cap. 4, p. 20. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo4-PrecipitacaoAtmosferica.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2017.

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A.; TEIXEIRA, W.G. Solos Tropicais. In: SILVA, C.R. Geodiversidade no Brasil: Conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 8. p. 121-134.

SILVA JÚNIOR, José Luiz Cabral da. **Avaliação parcial das condições pluviométricas no Estado do Tocantins, durante o período chuvoso 2015/2016**. Palmas: Unitins, 2016. 22 p.