



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**  
**CAMPUS DE JI-PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**VINICIUS ALEXANDRE SIKORA DE SOUZA**

**EVENTOS DE PRECIPITAÇÕES EXTREMAS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL:  
RONDÔNIA - BRASIL**

Ji-Paraná

2012

**VINICIUS ALEXANDRE SIKORA DE SOUZA**

**EVENTOS DE PRECIPITAÇÕES EXTREMAS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL:  
RONDÔNIA - BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Ana Lúcia Denardin da Rosa

Ji-Paraná

2012

Souza, Vinicius Alexandre Sikora de  
S729e Eventos de precipitações extremas na Amazônia Ocidental:  
2012 Rondônia - Brasil / Vinicius Alexandre Sikora de Souza; orientadora,  
Ana Lúcia Denardin da Rosa. -- Ji-Paraná, 2012  
64 f. : 30cm

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. –  
Universidade Federal de Rondônia, 2012  
Inclui referências

1. Precipitação - Chuvas. 2. Eventos climáticos. 3. Hidrologia.  
I. Rosa, Ana Lúcia Denardin da. II. Universidade Federal de Rondônia.  
III. Título

CDU: 556.12

Bibliotecária: Marlene da Silva Modesto Deguchi CRB 11/ 601



**TÍTULO:** EVENTOS DE PRECIPITAÇÕES EXTREMAS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL:  
RONDÔNIA - BRASIL.

**AUTOR:** VINICIUS ALEXANDRE SIKORA DE SOUZA

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, no dia 20 de abril de 2012.

Nara Luísa Reis de Andrade (Membro)

Professora do Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Federal de Rondônia

Renata Gonçalves Aguiar (Membro)

Professora do Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Federal de Rondônia

Ana Lúcia Denardin da Rosa (Orientadora)

Professora do Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Federal de Rondônia

Ji-Paraná, 20 de abril de 2012.

## *Dedicatória*

Dedico este trabalho de pesquisa a minha mãe Santina Sikora de Souza e ao meu pai Santo de Souza (*in memoriam*) por toda força e incentivo que prestaram em minha educação. Além disso, ofereço este trabalho a meus irmãos Sandra Andrea de Souza e José Fernando de Souza; e a minha sobrinha Sophia de Souza.

## AGRADECIMENTOS

Creio que esta seja a arte mais difícil de expressão, pois me faltam palavras para sintetizar minha gratidão a todos que fizeram parte do meu caminho e me ajudaram a trilhá-lo.

Primeiramente agradeço a Deus por todas as conquistas e por ter me dado força para vencer esta etapa de minha vida.

Expresso minha gratidão ao meu pai Santos de Souza (*in memoriam*) por me incentivar nos estudos e a minha mãe Santina Sikora de Souza, por me acompanhar em todas as etapas de minha vida. Em suma muito obrigado aos meus pais por serem os melhores pais do mundo.

Reconheço todo o carinho e préstimos dos meus irmãos Sandra Andrea de Souza e José Fernando de Souza. Além disso, sou grato aos ânimos e esperanças renovadas pela minha sobrinha e princesinha da minha família Sophia de Souza.

Gostaria de agradecer a professora Ana Lúcia Denardin da Rosa pela orientação que propiciou a realização desta pesquisa. Agradeço a professora Renata Gonçalves Aguiar por apresentar e incentivar o ato nobre da pesquisa. Sou grato também a professora Nara Luísa Reis de Andrade, pelos conhecimentos passados e por juntamente com a professora Ana L. D. da Rosa e professora Renata G. Aguiar atuarem no aprimoramento desta obra.

Agradeço enormemente ao professor Johannes Gerson Janzen por me incentivar a pesquisar e por aprimorar meu raciocínio em suas aulas e no estágio profissional em seu laboratório, os quais tive a honra de realizá-los.

Deixo expressa minha gratidão a todos os profissionais de ensino, que mostraram ser diferenciais em suas carreiras, tanto no meu ensino base quanto na minha vida acadêmica, fora os acima mencionados destaco ainda: Margarida Marchetto, Marcelo Barroso, Marcelo B. da Silva, Elisabete L. Nascimento, Gunther Brucha, Gercina N. R. Carmo Jr., Margarita M. D. Orozco, Marlos G. de Albuquerque, Irene Y. T. Sakuno, Elizabety L. Ferraz, Anterino C. G. S. Filho, Márcia Aparecida, Ana Maria, Lúcia, Júlia e Kirly. Sou agradecido também aos

professores Graciela R. Fischer e Luiz F. M. Lima pelos conhecimentos passados em suas aulas, os quais serviram de base para a realização deste trabalho.

Sou grato ao senhor Micha Silver pelo auxílio fornecido com as ações realizadas no software Quantun Gis®.

Agradeço aos meus inestimáveis amigos Sandra Ferronato Francener, Marcos Leandro Alves Nunes, Alyne Foschiani Helbel, Rhayanna Kalline do Nascimento, Agni Cristina de Carvalho de Brito e Rafael Ranconi Bezerra, por todas as contribuições que forneceram para que esta obra pudesse ser realizada. Agradeço a Rhayanna K. do Nascimento, também, por toda amizade, por todo o apoio desde o início do curso e por ser uma pessoa maravilhosa que tive o prazer de conhecer.

Meu muito obrigado ao meu amigo e instrutor, de moto e bicicleta, Ronei da Silva Furtado por toda ajuda e apoio.

Gostaria de agradecer muitíssimo ao restante dos meus valorosos amigos que sempre se fizeram presentes na minha vida e vivem na minha história, em especial: Rafael A. Felisberto, Rafael H. S. Dias, Harrison C. S. Coltre, Kismara Butzke, Larissa P. F. Corilaço, Felipe A. G. do Nascimento, Marcus V. R. Dambros, Marco A. P. M. de Antonio, Juliete R. Stein, Priscylla L. Bezerra, Marciene S. de Oliveira, Shadai M. Silva, Anderson P. Rudke, Runia I. R. Rodrigues, Gleice G. Costa, Gabriella N. Viana, Gislaine R. Ribeiro, Gislene R. Ribeiro, Wesley de Souza, Whatani Bezerra, Juliana N. Calixto, Bruno I. Dinato, Maysa V. Matos, Ana P. A. Gonçalves, Lorival, Jéssica G. P. Pavanello, Eliana A. dos Santos, Juliana Lago, Jéssica C. Carreira, Estela O. R. Evangelista.

E por fim ressalto a importância que todos tiveram nas minhas conquistas e evoluções, e destaco que todos são os melhores dos melhores do mundo em me fazer crer, ao olhar pra trás, que tudo valeu a pena. Muito obrigado do fundo do meu coração a todos.

"As flores desabrocham e murcham; as estrelas brilham e um dia se apagam; até mesmo a Terra, o Sol, nossa galáxia, todo o universo, um dia vai desaparecer. A vida de um homem comparada a isso equivale a um piscar de olhos. Neste ínfimo lapso temporal, o homem nasce, ama, odeia, ri, chora, luta, fere-se, fica feliz, fica triste. E por fim, tomba em um sono eterno chamado morte."

(Shaka)



## RESUMO

A precipitação pluviométrica, dentre os elementos hidrológicos, é o que mais interfere na vida humana, pois se configura como a principal entrada de água no sistema hidrológico, e a sua quantificação, bem como o conhecimento da forma como se distribui temporal e espacialmente são primordiais em estudos relacionados à necessidade de irrigação, disponibilidade de água para abastecimento doméstico e industrial, erosão do solo, controle de inundações. Em virtude de sua larga influência sobre áreas povoadas é de grande importância o conhecimento e a previsão das características das precipitações, destacando a elucidação de sua intensidade máxima, duração desse fenômeno e o período que tal evento possa voltar a ocorrer. Assim, este estudo objetivou estimar a função Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de eventos pluviométricos extremos a partir dos dados de precipitação das estações pluviométricas instaladas no estado de Rondônia, de modo que posteriormente tais informações possam ser utilizadas no dimensionamento de obras hidráulicas. Utilizou-se 41 estações pluviométricas com séries históricas acima de 10 anos, disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA). Essas séries passaram inicialmente pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS), a fim de verificar o ajuste das mesmas as distribuições: Normal, Log-Normal, Exponencial, Gama, Gumbel, Weibull e Logística. Posteriormente tais dados foram analisados pela distribuição de Gumbel, sendo os mesmos relacionados, por meio da desagregação de chuva diária, para períodos de retorno compreendendo 2 a 100 anos e durações pluviométricas de 5 minutos a 24 horas. Além disso, confeccionaram-se áreas de influências para a aplicabilidade das equações estimadas, por meio de diagramas de Voronoi. Na validação da eficiência das equações IDF propostas por este estudo, utilizou-se o coeficiente de regressão ( $r^2$ ) de ajuste da função aos pontos, realizou-se o teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney e verificaram-se os resíduos produzidos pelas diferenças na magnitude dos dados pluviométricos extremos desagregados e modelados pela distribuição Gumbel. Constatou-se que as equações confeccionadas por este estudo apresentam uma vasta aplicabilidade em obras e atividades hidrológicas, devido à amplitude dos intervalos utilizados. Além disso, verificou-se que tal expressão mostra-se viável de uso, pelas análises e testes estatísticos, a qual foi submetida, onde se observou uma relação perfeitamente positiva entre a intensidade precipitada em relação à duração e período de retorno, além de afirmar-se com 99,5% de confiança que tal equação é significativa para os dados utilizados. O trabalho denotou que o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov de forma geral forneceu uma expressiva aceitação na maioria das distribuições estatística testadas. As séries históricas utilizadas revelaram que a média das chuvas máximas de “um dia”, no estado de Rondônia encontrou-se variando de aproximadamente 71,341 a 173,542 mm/dia, além disso, observou-se que possíveis atuações de fenômenos climáticos como o *El Niño* e *La Niña* na região analisada pode ter gerado respectivamente as reduções e aumentos na ocorrência de eventos pluviométricos extremos. Constatou-se nesse estudo que chuvas de alto fator erosivo, duração

de 5 min e tempo de retorno de 2 anos, aumentam sua intensidade ao se aproximarem da região mais ao norte do estado, o que denotou que as mesmas são influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

**Palavras-chave:** Chuvas intensas; Curva IDF; Impactos sócioambientais; Hidroestatística.

## **EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN THE WESTERN AMAZON: RONDÔNIA- BRAZIL**

### **ABSTRACT**

The rainfall, among the hydrological elements, is what most interferes in human life, because it sets as the main entry of water in the hydrological system, and measured, as well as knowledge of how to distribute time and space are paramount in studies related to the need for irrigation, water availability for domestic and industrial supply, soil erosion, flood control. Owing to its large influence about populated areas it is of great important the knowledge and prediction of the precipitation characteristics, especially the elucidation of its maximum intensity, duration of this phenomenon and the period that such event may recur. This study aimed to estimate the Intensity-Duration-Frequency function (IDF) of extreme rainfall events from precipitation data from rainfall stations inserted in Rondônia state, so the information can be used later in the design of hydraulic works. It was used 41 stations with rainfall time series over 10 years, provided by the National Water Agency (ANA). Initially these series passed by the Kolmogorov-Smirnov (KS) adhesion test, in order to check its fit in seven statistical distributions. Later, these data were analyzed by the Gumbel distribution, and they are related through the daily rainfall disaggregation, to return periods comprising 2 to 100 years and rainfall durations of 5 minutes to 24 hours. Furthermore, it were crafted influence areas to the applicability of estimated equations, using Voronoi diagrams. In the efficiency validation of the equations IDF proposed by this study, it was used the regression coefficient ( $r^2$ ) adjustment of the function points, it were carried out the hypothesis test of Wilcoxon-Mann-Whitney and it were checked the waste produced by differences in the magnitude of extreme rainfall data disaggregated and modeled by the Gumbel distribution. It was found that the equations made by this study have a wide applicability in hydrological works and activities, due to the large width of the ranges used. Furthermore, it was showed that expression is feasible to use, by statistical analysis and tests, which has been subjected, where there was a positive relationship between the intensity completely precipitated and the duration and return period, and said with 99.5% confidence that this equation is significant for the data used. The work denoted the adhesion test KS generally provided wide acceptance in the majority of statistical distributions tested. The time series used showed that rainfall maximum average of "one day", in the Rondônia state it was found ranging from about 71,341 to 173,542 mm/day, and also it were noticed that possible performances of climatic phenomena like El Niño and La Niña in the analyzed region can be what generates the reductions and increases in the occurrence of extreme rainfall events respectively. It was found in this study that rainfalls of high erosive factor, duration of 5 min and return time of

two years, increase their intensity as they approached the area further north of the state, which denoted that the rainfalls are influenced by the Intertropical Convergence Zone (ZCIT).

**Keywords:** Heavy rainfalls, IDF Curve, Social and environmental impacts; Hydro statistics.

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

$\Delta S$	Taxa de água que infiltra ou submerge no sistema (mm)
A	Área total (m <sup>2</sup> )
$A_i$	Área de influência de cada posto pluviométrico (m <sup>2</sup> )
ANA	Agência Nacional de Águas
AO	Anos de ocorrência
AW	Tropical-quente e úmido
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CREA	Conselho Regional de Engenharia, Agronomia e Arquitetura
e	Base dos logaritmos neperianos
EMM	Erro multiplicativo médio
ENM	Erro normalizado médio
EPM	Erro padrão médio
Ev	Evapotranspiração (mm)
i	Intensidade da chuva intensa
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
$i_m$	Intensidade máxima média de precipitação (mm/h)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K, a, b, c	Parâmetros relativos à localidade
KS	Kolmogorov-Smirnov
K-W	Kruskal-Wallis
ln	Logaritmo neperiano
MMA	Ministério do Meio Ambiente
n	Número de elementos na amostra
P	Precipitação (mm)

$P_i$ .....Precipitação no enésimo pluviômetro (mm)  
 $P_{i+1}$ .....Precipitação pluviométrica (mm) do enésimo pluviômetro adjacente  
 $P_m$ .....Altura pluviométrica média (mm) precipitada sobre uma determinada área  
 $Q$ .....Escoamento superficial (mm)  
 $s_x$ .....Desvio-padrão da série  
 $s_y$ .....Desvio-padrão, valor tabelado  
 $t$ .....Duração (min)  
 $Tr$ .....Período de retorno (ano)  
 $x_E$ .....Dados estimados pelas equações IDF confeccionadas neste estudo  
 $x_i$ .....Valor de um elemento da amostra  
 $x_m$ .....Média da amostra ..da série anual finita de n valores  
 $x_M$ .....Dados pluviométricos extremos desagregados e modelados pela distribuição Gumbel  
 $y_m$ .....Média da variável reduzida  
ZCIT.....Zona de Convergência Intertropical  
 $\alpha$ .....Nível de significância

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
Objetivo geral.....	16
Objetivos específicos.....	17
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 CICLO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
1.1.1 Precipitação .....	20
<b>1.2 BACIA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>25</b>
<b>1.3 HIDROESTATÍSTICA PARA EVENTOS EXTREMOS.....</b>	<b>26</b>
1.3.1 Distribuição Normal .....	26
1.3.2 Distribuição Log-Normal.....	27
1.3.3 Distribuição Exponencial.....	27
1.3.4 Distribuição Gama.....	27
1.3.5 Distribuição Gumbel .....	28
1.3.6 Distribuição Weibull .....	28
1.3.7 Distribuição Logística.....	28
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>29</b>
2.1.1 Localização e Características Gerais .....	29
2.1.2 Clima.....	30
2.1.3 Hidrografia.....	30
<b>2.2. ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>32</b>
2.2.1 Aquisição dos Dados.....	32
2.2.2 Teste de Aderência .....	35

<b>2.2.3 Construção das Equações IDF .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.4 Análise de Eficiência das Curvas IDF .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIAS DAS CURVAS IDF .....</b>	<b>40</b>
<b>2.4 AFERIMENTO DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS MÁXIMOS MÉDIOS PARA AS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....</b>	<b>40</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 CURVAS IDF.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE .....</b>	<b>48</b>
<b>3.3 CHUVAS EXTREMAS.....</b>	<b>53</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>



## INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou, principalmente após a década de 60, um crescimento significativo da população urbana. A ocorrência deste fenômeno nas últimas décadas transformou o Brasil num país essencialmente urbano (83% de população urbana), gerando uma população urbana com uma infra-estrutura inadequada (TUCCI, 1999; 2008).

Os efeitos desse processo ocorrido de forma desorganizada se propagam por todo o aparelhamento urbano relativo aos recursos hídricos. Principalmente ao que concerne ao planejamento e construção de obras hidráulicas e hidrológicas, para a minimização de impactos sócioambientais como as enchentes, pelo planejamento da drenagem urbana (OLIVEIRA et al. , 2011; TUCCI, 2007).

O conhecimento de eventos hidrológicos extremos é um requisito em projetos de drenagem, impermeabilização e outras obras de engenharia, seja em áreas urbanas ou rurais, isso porque, permite que o projetista considere os riscos existentes com a execução da obra e associe à melhor alternativa, do ponto de vista econômico, sem se desvencilhar das questões técnicas de desempenho e segurança. Todavia, tais dados são incipientes e restritos em algumas localidades.

A precipitação pluviométrica, dentre os elementos hidrológicos, é o que mais interfere na vida humana, uma vez que, se configura como a principal entrada de água no sistema hidrológico, tornando outras variantes como a vazão e a infiltração, intimamente ligadas a sua ocorrência. Em virtude de sua larga influência sob áreas povoadas, positivas ou não, a chuva pode ser considerada a principal forma de suprimento hídrico para as atividades humanas e econômicas (ALMEIDA et al., 2011).

Dessa forma, torna-se de grande importância o conhecimento e a previsão das características das precipitações pluviométricas, destacando a elucidação de sua intensidade máxima, duração desse fenômeno e o período que tal evento possa voltar a ocorrer.

Nesse sentido, uma forma amplamente empregada para a caracterização das chuvas extremas em uma determinada localidade é a utilização de curvas de intensidade-duração-

frequência (IDF). Essas consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que prevêm a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal. Destaca-se que a inferência da pluviosidade extrema é possível devido a tais eventos se ajustarem a distribuições probabilísticas, propiciando que sejam modeladas estatisticamente.

No Brasil, os volumes precipitados são essencialmente quantificados pelas estações pluviométricas em registros denominados de chuvas diárias e, constituem as informações mais acessíveis, não somente pelo tamanho das séries, mas também pela densidade das redes (HERNANDEZ, 2008). No entanto, essa metodologia de coleta de dados ocasiona um entrave na geração das curvas IDF devido à indisponibilidade de chuvas com durações menores, as quais são fundamentais no processo de modelagem dessas curvas.

Em virtude desta problemática, o método de desagregação da chuva de 24 horas, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1979 apud TUCCI, 2009) apresenta-se como uma solução, pois o mesmo gera séries sintéticas com duração em intervalos menores, por meio de coeficientes que transformam chuva de 24h em outras de menor duração.

Ressalta-se que no território nacional, com exceção das localidades mais desenvolvidas, ainda há regiões que carecem do desenvolvimento desses modelos para as suas extensões territoriais, como o estado de Rondônia, localizado na Amazônia Ocidental. Esse estado é praticamente desprovido de informações de chuvas intensas, obrigando dessa forma o uso, como alternativa para a realização de projetos de obras hidráulicas, de informações de postos meteorológicos próximos ou de características climatológicas similares a da localidade na qual o projeto é realizado.

Tal procedimento, entretanto, pode levar a estimativas pouco confiáveis, devido a essa prática apresentar o risco das obras serem subestimadas, trazendo problemas, principalmente, de ordem social, assim como, serem hiperestimadas, onerando os custos das mesmas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Em vista ao exposto, este estudo objetivou de forma geral estimar as funções IDF a partir dos dados de precipitação das estações pluviométricas inseridas no estado de Rondônia,

disponíveis no sítio da Agência Nacional de Águas. Para que posteriormente tais informações possam ser utilizadas em obras nessas localidades.

### **Objetivos específicos**

Especificamente, o estudo tem os seguintes objetivos:

- a) Obter as grandezas características das chuvas intensas, tais como intensidade, duração e frequência;
- b) Gerar as áreas de aplicação de cada equação IDF;
- c) Analisar a eficiência dessas equações comparando os dados estimados por elas com os dados modelados estatisticamente;
- d) Desagregar chuvas diárias em chuvas de 24 horas e de durações menores;
- e) Verificar dentre sete distribuições estatísticas, a que melhor se ajusta a distribuição das chuvas extremas do estado;
- f) Analisar a distribuição de valores máximos de chuva a partir de observações de dados pluviométricos, verificando a distribuição espacial desses eventos nas bacias hidrográficas do estado e seus possíveis fatores de influência.

# 1 REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é a substância inorgânica mais abundante na superfície do planeta Terra, sendo este recurso estimado em  $1,4 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$  (TEIXEIRA et al., 2009). Segundo Raghunath (2006), a disposição da mesma é configurada da seguinte forma: 97,2% é água salgada que está principalmente nos oceanos e apenas 2,8% está disponível como água doce. Desse 2,8% de água doce, 2,2% encontra-se na superfície do planeta e 0,6% como água subterrânea.

Raghunath (2006) destaca ainda que desses 2,2% de águas superficiais, 2,15% estão na fase sólida nas geleiras e calotas polares e apenas da ordem de 0,01% está disponível em lagos e córregos, os 0,04% restantes estão em outras formas. De 0,6% de água subterrânea armazenada, apenas 0,25% pode ser economicamente extraído com a tecnologia de perfuração presente.

De acordo com Rossa (2006) toda a água presente no mundo constitui a hidrosfera, a qual se distribui em três reservatórios principais: os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação constante denominada de ciclo da água ou ciclo hidrológico.

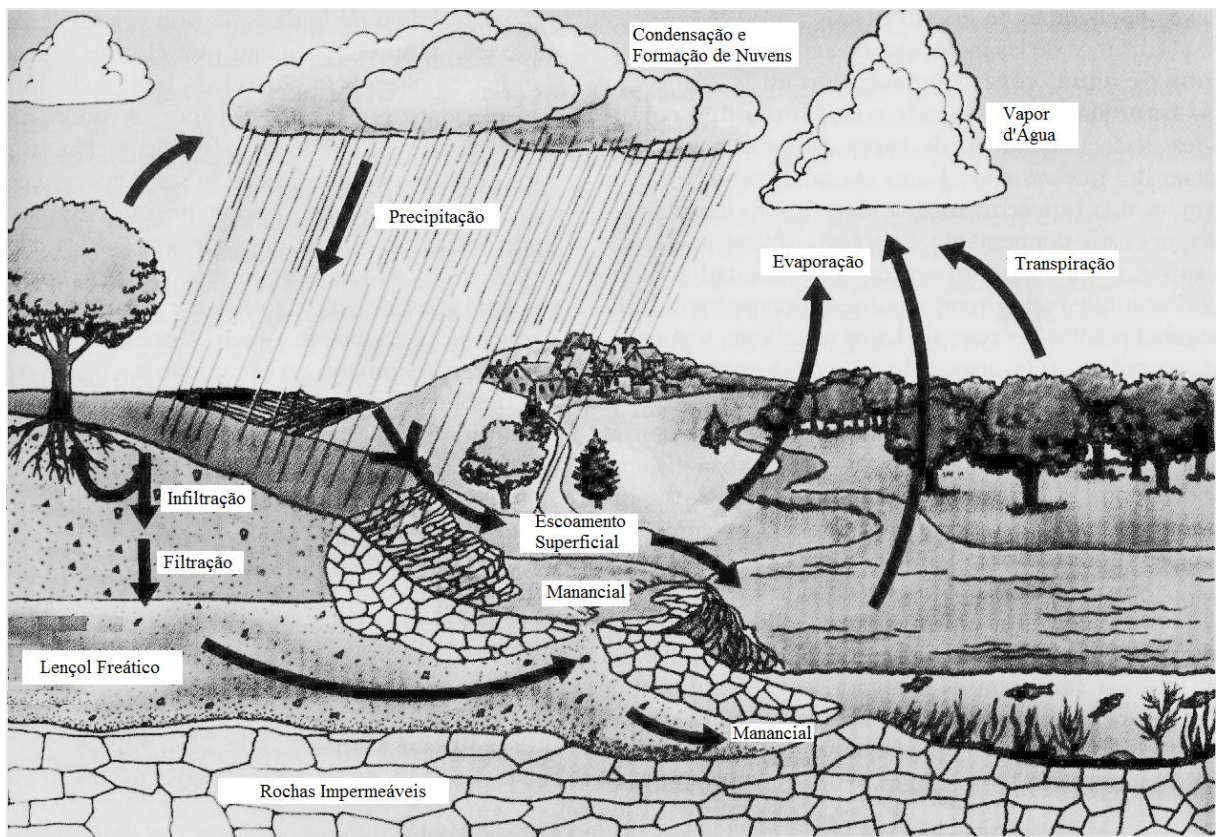
O ciclo da água é composto por diferentes variáveis, as quais se relacionam entre si por meio dos processos hidrológicos (PUYOL; VILLA, 2006). Neste sentido, o ciclo da água pode ser representado como uma estrutura de volume no espaço, a qual é delimitada por uma fronteira, cujos componentes internos interagem entre si e com os sistemas adjacentes (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Tal consideração é complementada por Tucci (2009), o qual define o ciclo hidrológico como um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo esse impulsionado principalmente pela energia solar em associação com a gravidade e a rotação terrestre.

Tucci (2009) explicita que a circulação da água no sistema terrestre pode ocorrer em dois sentidos: superfície-atmosfera, sob a forma de vapor, sendo esse considerado o principal elemento responsável pela contínua circulação de água no globo; e atmosfera-superfície, com a água retornando a superfície nas fases líquida e sólida, por meio de precipitações.

O ciclo hidrológico, que se encontra esquematizado na Figura 1, segundo Collischonn e Tassi (2011), pode ser ilustrado da seguinte forma: a água ascende na atmosfera

em forma de vapor devido ao aquecimento da mesma pelo sol e pela transpiração dos vegetais. Posteriormente o vapor de água condensa-se formando nuvens, sendo que em circunstâncias específicas a água contida nessas nuvens pode ser precipitada, podendo dessa forma voltar à superfície da Terra na forma de precipitação. A precipitação que atinge a superfície pode infiltrar no solo ou escoar por sobre o solo até atingir um curso d'água, sendo que a água infiltrada umedece o solo, alimenta os aquíferos e cria o fluxo de água subterrânea.



**Figura 1** – Ciclo hidrológico.

**Fonte:** Adaptado de Puyol e Villa (2006).

Por meio deste contexto Feltrin (2009) conceitua que o ciclo hidrológico pode ser entendido como o balanço hídrico do sistema, cujo resultado fornecerá a água disponível no mesmo, após vários processos que envolvem o fluxo hídrico. Desta forma, ao aplicar-se o princípio de conservação de massa, analisando as entradas e saídas de água no sistema, o ciclo da água pode ser sintetizado por meio da Equação 1 (ANIDO, 2002; RIGHETTO, 1998).

$$P = Ev + Q \pm \Delta S \quad (1)$$

Onde:

P – Precipitação (mm);

Ev – Evapotranspiração (mm), e é a soma das quantidades de água evaporada e transpirada pelos vegetais;

Q – Escoamento superficial (mm);

$\Delta S$  – Taxa de água que infiltra ou submerge no sistema (mm), tal variável apresenta na equação tanto o sinal de adição como de subtração porque pode ser tanto uma fonte de saída como de entrada de água, entretanto, em análises de séries longas do sistema a mesma pode ser desconsiderada, por entender-se que a porção de acréscimo seja a de mesma magnitude da porção infiltrada.

Consoante a esse aspecto se observa que a precipitação é a principal variável de entrada no balanço hídrico, assim a sua quantificação, bem como o conhecimento da forma como se distribui temporal e espacialmente, são primordiais em estudos relacionados à necessidade de irrigação, disponibilidade de água para abastecimento doméstico e industrial, erosão do solo e controle de inundações (DAMÉ; TEXEIRA; TERRA, 2008).

### **1.1.1 Precipitação**

Toda parcela de água em estado sólido ou líquido que provém da atmosfera e alcança a superfície terrestre é denominada precipitação (TUCCI, 2009). Como explica Zolet (2008), a precipitação compreende todas as formas de umidade emanadas da atmosfera e depositadas na superfície terrestre como a chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada.

Conforme Zolet (2008), a chuva, definida por Varejão-Silva (2005) como gotas de água com diâmetro superior a 0,5 mm, constitui o principal elemento dos citados anteriormente que interfere de forma significativa em problemas da engenharia que envolve projetos hidrológicos no Brasil.

De forma geral a precipitação pluviométrica ou chuva é formada quando o ar úmido presente nas camadas inferiores da atmosfera é aquecido, se tornando desta forma menos denso que o ar das camadas superiores, o que torna possível sua ascensão adiabática, fazendo o mesmo expandir-se e resfriar-se até atingir o nível de condensação. Ocorridos então tais etapas, o vapor d'água pode condensar-se em minúsculas gotículas, criando dessa forma nuvens. Tais gotículas de água posteriormente passam por processos de coalescência e

coalescência, que promoverão a união dessas, formando gotas de água maiores que serão capazes de vencer a resistência do ar e precipitar (VILLELA; MATOS, 1975).

As chuvas podem ser classificadas de acordo com as condições que produzem o movimento vertical das massas de ar, o qual é fator primordial em sua formação, em chuvas ciclônicas, orográficas e convectivas (PUYOL; VILLA, 2006; REYNAUD, 2008).

As chuvas ciclônicas ocorrem quando duas massas de ar com temperaturas diferentes, devido ao aquecimento desigual da superfície terrestre, se confrontam, gerando dessa forma uma superfície de contato, também denominada de frente. Se tais movimentos de massas de ar ocorrerem no sentido que a massa de ar com temperatura menor (frente fria) “empurre” a massa de ar mais quente (frente quente), esta precipitação pluviométrica é chamada de chuva ciclônica frontal. No entanto, se as duas massas de ar (fria e quente), forem atraídas de forma simultânea em direção a uma área de baixa pressão, tal fenômeno denominar-se-á de chuva ciclônica não-frontal (RAGHUNATH, 2006). Cabe destacar que tais chuvas são de longa duração, intensidade baixa a moderada, e se distribuem sobre grandes áreas (VILLELA; MATOS, 1975).

No que concernem às chuvas orográficas, essas têm sua formação quando ventos quentes e úmidos, geralmente providos de áreas oceânicas, se deparam com barreiras naturais, o que obriga que tais ventos se elevem, sendo eles resfriados adiabaticamente nesse processo, formando dessa forma chuvas de pequena intensidade, grande duração e pequena área de espalhamento (TUCCI, 2009).

A formação das chuvas convectivas ocorre devido às convecções térmicas, ou seja, a brusca ascensão do ar úmido aquecido pela superfície da terra que gera uma condensação quase instantânea. Tais eventos acontecem normalmente no fim de dias quentes. Ressalta-se que o fenômeno, segundo Tucci (2009), resulta em chuva de pequenas áreas de abrangência, alta intensidade e baixa duração.

#### 1.1.1.1 Eventos pluviométricos extremos

Chuvas intensas, conforme explica Righetto (1998) são fenômenos meteorológicos que provocam cheias nos sistemas de drenagem, onde as vazões de pico atingem valores próximos da capacidade máxima desses sistemas. Ou como esclarecem Silva et al. (2003), chuvas intensas, também denominadas chuvas extremas ou máximas, são aquelas que apresentam grande lâmina precipitada, durante pequeno intervalo de tempo.

Geralmente, as chuvas intensas são capazes de suscitar grande quantidade de escoamento superficial, podendo causar grandes prejuízos em áreas agrícolas, como a inundação de terras cultivadas, a erosão do solo, a perda de nutrientes, o assoreamento e a poluição de corpos d'água (CECÍLIO et al., 2009). Desta forma, Cardoso, Ullmann e Bertol (1998), enfatizam a relevância em conhecer as características dessas precipitações com o objetivo de evitar os problemas supracitados e corroborar no planejamento de práticas de conservação do solo e da água, no manejo de bacias hidrográficas e para o dimensionamento de estruturas hidráulicas em geral.

Neste contexto, o trabalho de Beijo, Muniz e Castro Neto (2005) destaca que os dados hidrológicos devem ser mensurados na concepção de obras hidráulicas, buscando dessa forma conciliar o custo mínimo para a sua implantação com uma remota ocorrência de riscos de falhas numa localidade.

Atualmente, a melhor solução para a caracterização e estimativa das precipitações é a utilização de curvas Intensidade-Duração-Frequência, as quais consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que prevêm a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal. Eltz, Reichert e Cassol (1992) afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo das chuvas, devido a grande variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviais, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

Para Tucci (2009), esses modelos constituem as principais características da chuva. Portanto, as mesmas são estimativas que visam atender as características específicas da precipitação na localidade para a qual o modelo é confeccionado, por meio de análises estatísticas, devido às chuvas intensas ajustar-se às distribuições estatísticas.

Entretanto, segundo Cardoso, Ullmann e Bertol (1998) o conhecimento das características das chuvas é bastante escasso na maior parte do Brasil e, mesmo em regiões que apresentam satisfatória densidade de postos pluviométricos, os dados disponíveis são inadequados para uma utilização imediata, devido a tais dados apresentarem apenas intensidades em espaços de tempo maiores ou iguais a um dia.

Para Pereira, Silveira e Silvino (2007), uma provável causa para essa escassez é o fato do país apresentar uma área muito grande, o que dificulta o registro de tais dados. A ausência de estudos relacionados a esses registros torna complicada a elaboração de projetos na área de recursos hídricos em locais distantes dos grandes centros urbanos brasileiros.

A dificuldade da geração dos modelos que descrevem a relação IDF, se resume na disponibilidade de dados pluviográficos e na baixa densidade desses registros no território



brasileiro; além disso, a metodologia para sua obtenção exige um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de grande quantidade de pluviogramas (CECÍLIO; PRUSKI, 2003).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com propostas de métodos mais eficientes para o ajuste estatístico de dados de precipitação máxima. Entretanto, existe uma defasagem entre a teoria e a prática, que dificulta a aplicação de novas técnicas (DAUD et al., 2002).

Algumas metodologias foram desenvolvidas no Brasil para a obtenção de chuvas intensas de menor duração a partir de dados pluviométricos, tais metodologias empregam coeficientes para transformar chuvas de um dia em chuvas de menor duração.

Dentre essas metodologias destaca-se a da desagregação da chuva de 24 horas, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1979 apud TUCCI, 2009), sendo o uso dessa bastante eficiente, pois tem sido aplicado em diversos estudos dentre os quais se destacam Cardoso, Ullmann e Bertol (1998); Oliveira et al. (2000); Oliveira et al. , 2011; e Pereira, Silveira e Silvino (2007).

No mais, o uso dessa metodologia foi indicado no estudo de Damé, Teixeira e Terra (2008), pois ao analisarem a série de precipitação de Pelotas – RS, o mesmo correspondeu de forma mais fidedigna aos dados.

Back (2009) ressalta ainda que tal método possui a vantagem do seu uso ser simplificado, além de fornecer resultados satisfatórios e com grande similaridade para diferentes localidades para as quais os coeficientes sejam gerados.

Assim, com o emprego da técnica da desagregação da chuva de 24 horas, da CETESB (1979 apud TUCCI, 2009), torna-se possível sanar os problemas, apontados por Silva et al. (1999), quanto ao pequeno período de observações disponível no que se refere a estimativa dos parâmetros da equação de intensidade-duração e frequência da precipitação, que conforme Silva et al. (2003) é a principal forma para caracterizar as chuvas intensas. Tucci (2009), ainda ressalta que esse método é de grande aplicabilidade, em face à existência do expressivo número de pluviômetros com séries longas, espalhados por quase todo o território nacional.

#### 1.1.1.2 Precipitação média numa área

Entende-se como precipitação pluviométrica média, toda lâmina de água líquida com altura de características uniformes sobre uma determinada área de influência, nesse sentido Sanchez (1986), citado em Tucci (2009), ressalta, não obstante, que essa ideologia é uma

abstração, pois em termos reais o fenômeno obedece a distribuições temporais e espaciais variáveis.

Tucci (2009) relata a existência de vários métodos para a determinação de precipitações médias em uma determinada área, onde esses fazem uso de ponderações dos dados aferidos pontualmente por estações pluviométricas, sendo a média aritmética, polígonos de Thiessen e isoietas os métodos mais utilizados.

O método da média aritmética configura-se na suposição de que todos os pluviômetros possuam a mesma abrangência na área em que se encontram, ou seja, que os mesmos exercem sua influência na precipitação média de forma similar, neste contexto, essa variável pode, segundo Puyol e Villa (2006), ser calculada pela Equação 2.

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

Onde:

$P_m$  – Altura pluviométrica média (mm) precipitada sobre uma determinada área;

$P_i$  – Precipitação no  $i$ -ésimo pluviômetro (mm);

$n$  – Número total de pluviômetros utilizados no cálculo.

Ao que tange o método de Thiessen, esse considera que cada posto pluviométrico irá possuir uma subárea de influência dentro da área em que se encontra, logo tal metodologia prevê que tais postos estejam dispostos de forma não uniforme no espaço. Essas subáreas de influência são determinadas por meio dos diagramas de Voronoi, os quais formam polígonos por meio de mediatrizes das linhas que ligam dois postos adjacentes (PRUSKI et al., 2004).

Essa metodologia pode por vezes ser inviabilizada em algumas situações, devido à mesma desconsiderar a influência do relevo, sendo que para apresentar resultados significantes os terrenos deverão ser levemente acidentados e as distâncias entre os pluviômetros pouco extensas (TUCCI, 2009). Portanto, nesse sentido a precipitação média de uma determinada área é obtida por meio da Equação 3 (PRUSKI et al., 2004).

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3)$$

Em que:

$A_i$  – área de influência ( $m^2$ ) de cada posto pluviométrico.

As isoietas são definidas como curvas de mesma precipitação, sua elaboração se dá por meio da interpolação dos dados de postos pluviométricos, sendo que posteriormente as mesmas sofrem ajustes pelo relevo da área em que se encontram. Tucci (2009) descreve que o cálculo da precipitação pluviométrica média ( $P_m$ ), por meio dessa metodologia de análise é realizada pela Equação 4.

$$P_m = \frac{1}{A} \left( \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \sum A_{i,i+1} \quad (4)$$

Onde:

A – é a área total (m<sup>2</sup>);

$P_{i+1}$  – precipitação pluviométrica (mm) do enésimo pluviômetro adjacente.

## 1.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (CARDOSO et al., 2006). Vilela e Matos (1975) destacam que o termo bacia hidrográfica designa uma determinada área onde os eventos de precipitação são coletados e transportados para seu sistema de drenagem natural.

Complementando os demais autores mencionados, Prioste (2007) revela que a bacia hidrográfica configura-se como uma unidade fisiográfica que recolhe a precipitação e age como um reservatório de água e sedimentos, defluindo-os para uma única seção fluvial, a qual denomina-se exutório. O autor ainda destaca que as bacias hidrográficas são limitadas por divisores topográficos ou divisores de água, os quais se tratam das cristas de elevações no terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes.

Rodrigues e Adami (2011) revelam ainda que a bacia hidrográfica é um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais.

Sobre a delimitação de bacias hidrográficas, Argento e Cruz (1996) frisam que a mesma se faz a partir das curvas de nível, traçando-se uma linha divisora de água que liga os

pontos mais elevados - topos - da região em torno da drenagem considerada. Dessa forma, o estudo de uma bacia hidrográfica deve começar, obrigatoriamente, pela Carta Topográfica, pois além de possibilitar a delimitação, essa oferece elementos básicos de localização, tais como os elementos de referência, elementos de sistematização, e elementos de proporção (CASTRO, 2000).

Diante aos fatos explicitados, o primeiro passo na análise de uma bacia é identificar no mapa o ponto mais baixo, o qual se designa o seu exutório. Uma vez identificado o local mais baixo da bacia, alguns parâmetros devem ser calculados para ajudar na descrição e na quantificação das características dessa bacia. E por meio de tais análises serão fornecidas informações úteis na tomada de decisão de como realizar o manejo da bacia, além de simplesmente descrevê-la (DILL, 2007).

### **1.3 HIDROESTATÍSTICA PARA EVENTOS EXTREMOS**

Nos estudos do ciclo da água, principalmente ao que se referem aos aspectos hidrológicos, as análises estatísticas constituem uma importante ferramenta para os estudos e tomadas de decisão sobre tal temática (TUCCI, 2009).

Consoante a esse aspecto este item abordará de forma superficial alguns conceitos das distribuições estatísticas com enfoque para os eventos extremos. Vale destacar que Leotti, Birck e Ribold (2005) relatam que tais modelos de distribuições teóricas procuram representar o comportamento de determinado evento em função da frequência de sua ocorrência.

Por conseguinte tais distribuições são, em verdade, distribuições de probabilidade, onde para um evento teremos uma probabilidade de ocorrência associada. Em outras palavras, podemos inferir com que probabilidade determinado evento pode ocorrer novamente.

#### **1.3.1 Distribuição Normal**

A distribuição Normal também denominada de distribuição de Gauss é utilizada para descrever o comportamento de uma variável aleatória que flutua de forma simétrica em torno de um valor central, nesses termos essa distribuição torna-se apropriada à modelação de variáveis que resultam da soma de um grande número de outras variáveis independentes (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Além disso, de acordo com Silvino et al. (2007), a distribuição Normal está na origem de toda a formulação teórica acerca da construção de intervalos de confiança, testes

estatísticos de hipóteses, bem como da teoria de regressão e correlação. No entanto, o autor ressalta que dados climatológicos podem não seguir essa distribuição estatística, devido aos mesmos apresentarem heterogeneidade.

### **1.3.2 Distribuição Log-Normal**

A distribuição Log-Normal segue os mesmos pressupostos da distribuição Normal (SILVINO et al., 2007). Não obstante Tucci (2009) destaca que quando comparadas a distribuição Log-Normal apresenta melhores resultados na modelagem de processos hidrológicos, como revela Catalunha et al. (2002), os quais expõem que a distribuição Log-Normal apresentou no estudo de Huf e Neili (1959) resultados satisfatórios ao ser comparada com outros métodos para a análise de frequência de chuva.

### **1.3.3 Distribuição Exponencial**

A distribuição Exponencial é uma distribuição de extremos. Essa se constitui em um modelo assimétrico que possui inúmeras outras aplicações em diversas áreas do conhecimento humano e, em particular, às variáveis hidrológicas (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Como destaca Lanna (1993, apud SILVINO et al., 2007) a distribuição exponencial aproxima-se da forma da distribuição de frequência de certos eventos hidrológicos máximos anuais.

### **1.3.4 Distribuição Gama**

A distribuição Gama é definida como uma distribuição contínua e assimétrica. Devido a ela se relacionar de forma direta com as teorias de confiabilidade e contagem aleatória, a mesma é frequentemente utilizada na representação de eventos físicos, tais como a análise de duração e intensidade de tempestades (PEREIRA, 2010).

Tucci (2009) relata que devido a essa distribuição possuir uma longa calda superior, faz que ela seja representativa de eventos hidrológicos extremos onde a assimetria está presente.

### **1.3.5 Distribuição Gumbel**

A distribuição de Gumbel também denominada de distribuição de dupla exponencial ou distribuição Fisher-Tippet Tipo I, faz parte dos valores extremos do Tipo I, o qual tem suas caudas em função da constante de Euler.

Destaca-se ainda que a forma assintótica dessa distribuição é muito utilizada na análise de frequência de eventos hidrológicos (BACK, 2001; NAGHETTINI; PINTO, 2007; TUCCI, 2009).

### **1.3.6 Distribuição Weibull**

A distribuição Weibull constitui-se como uma distribuição discreta, baseada em parâmetros de forma e escala. Tal distribuição é similar à distribuição gama (PEREIRA, 2010).

Ressalta-se que a mesma vem sendo utilizada em modelagens hidrológicas para eventos extremos, a exemplo citam-se os estudos de Barbosa et al. (2005), Catalunha et al. (2002), Lima (2005), Queiroz et al. (2010) e Sá (2011).

### **1.3.7 Distribuição Logística**

A distribuição Logística é uma distribuição contínua, cuja finalidade é modelar a ocorrência de frequências relativas. Assemelha-se a distribuição normal em forma, mas tem caudas mais densas devido a curtose ser maior.

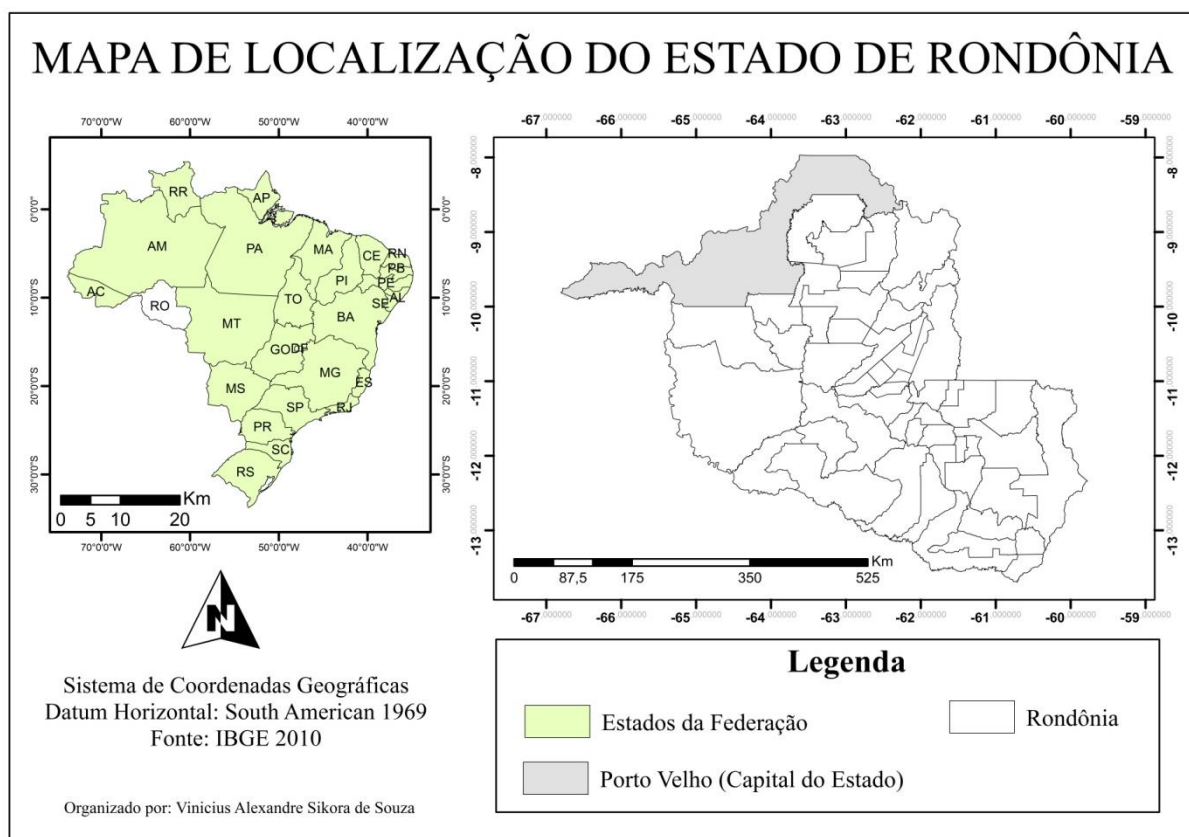
O nome dessa distribuição deriva da função de distribuição, que é uma instância de um membro das funções logísticas. Essa distribuição foi empregada no estudo de Pinheiro e Naghettini (1998) para a análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades de algumas regiões de Belo Horizonte – MG.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1.1 Localização e Características Gerais

O Estado de Rondônia (FIGURA 2) localiza-se na Amazônia Ocidental entre os paralelos de 7° 58' e 13° 43' de Latitude Sul e meridianos de 59° 50' e 66° 48' de Longitude Oeste. Rondônia é composto por 52 municípios, sendo o mais populoso a capital do estado, Porto Velho, o qual possui 428.527 habitantes (IBGE, 2010).



**Figura 2** – Localização do estado de Rondônia.

O estado de Rondônia apresenta altitudes que variam entre 70 e 600 metros, sendo suas principais unidades de relevo: Planícies Amazônicas; Depressões (Amazônia Meridional, Guaporé e Solimões); Planaltos (Amazônia Meridional e dos Parecis); Pantanal do Guaporé. Os tipos de vegetação encontrados na região são as Florestas Ombrófila Aberta, Florestas

Ombrófilas Densas (Floresta Amazônica), Florestas Estacionais Semidecidual, Savanas e Vegetação Aluvial, com predominância de Florestas Densas a noroeste do estado (BRASIL, 1978).

### **2.1.2 Clima**

Na classificação de Köppen, o clima do estado de Rondônia é caracterizado como AW (tropical-quente e úmido), com média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18 °C (megatérmico) e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre no Estado um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm/mês. (RONDÔNIA, 2009).

A chuva em Rondônia é de monções e, portanto, só ocorre durante a época do ano em que o continente é aquecido acima dos níveis de temperatura da superfície do oceano e se torna um centro de convecção, onde há uma ampla oferta de umidade para a condensação (BUTT; OLIVEIRA; COSTA, 2011).

A precipitação pluviométrica anual na região central do estado é, em média, acima de 2.000 mm, com umidade relativa do ar média de 82% e temperatura média anual oscilando de 24 °C na estação chuvosa a 25 °C na seca (AGUIAR et al., 2006; WEBLER; AGUIAR; AGUIAR, 2007).

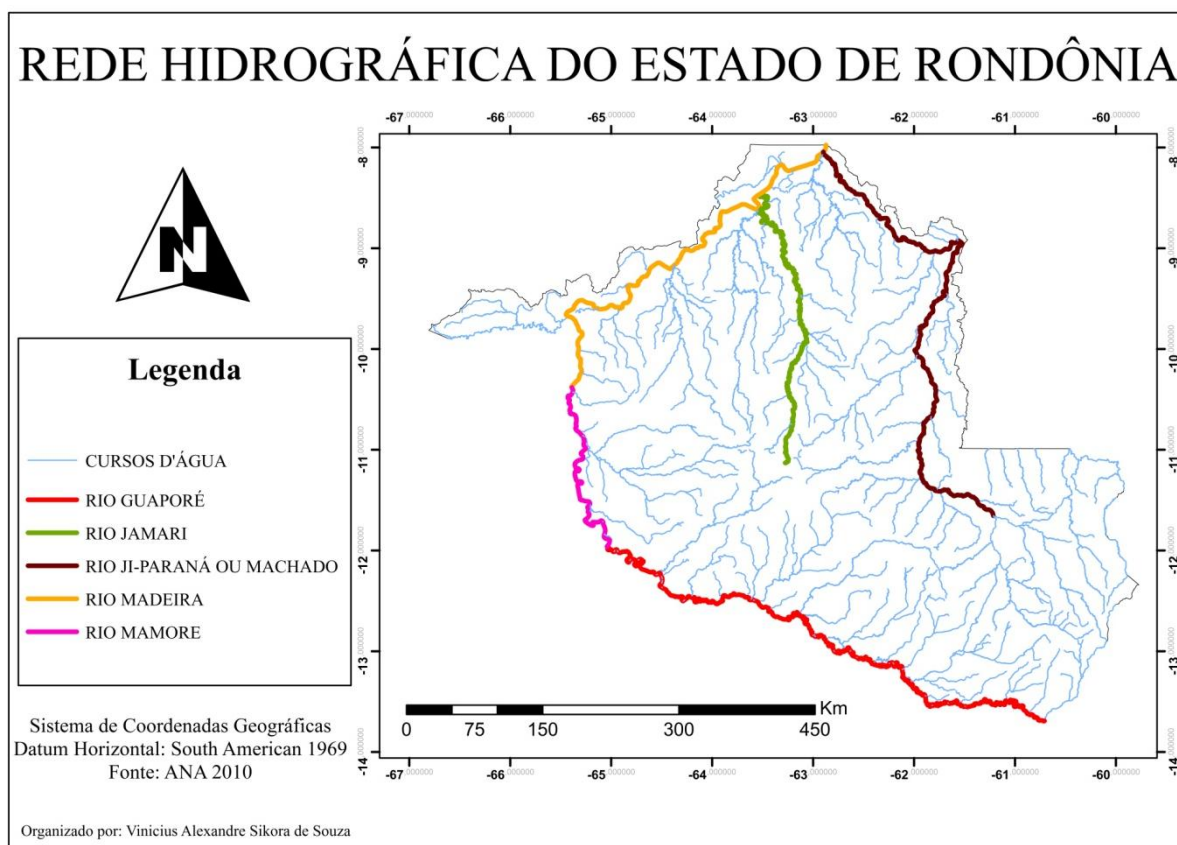
Esta região, segundo a Secretária do Estado de Desenvolvimento Ambiental – SEDAM – (2009), não sofre grandes influências da continentalidade, ou seja, maior ou menor distância em relação ao mar.

### **2.1.3 Hidrografia**

A rede hidrográfica do estado de Rondônia é constituída pelo rio Madeira e seus afluentes, além de lagos de várzea que interagem com os rios. Tal fato segundo Zuffo e Silva (2003) ocorre em função da disposição das chapadas dos Parecis e Pacaás Novos, com sentido predominante de sudeste a oeste, formando o grande divisor da drenagem superficial a nível estadual, com padrão radial-dentrítica predominante.

Na Figura 3 se observa os principais rios do Estado com destaque para: Madeira, Machado (ou Ji-Paraná), Mamoré, Guaporé e Jamari.





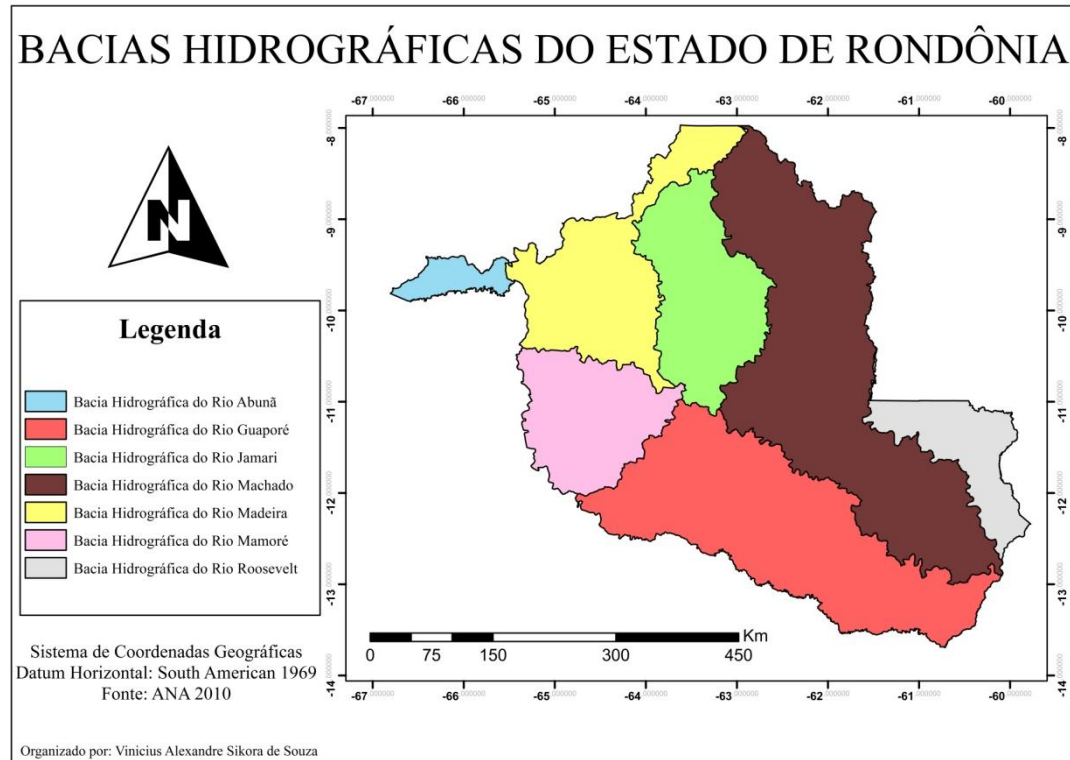
**Figura 3** – Rede hidrográfica de Rondônia.

O estado de Rondônia foi dividido em sete bacias hidrográficas, segundo estudo realizado no ano de 1999, que teve como objetivo subsidiar a Lei Estadual de Recursos Hídricos e contou com a participação do Conselho Regional de Engenharia, Agronomia e Arquitetura (CREA/RO), Governo de Rondônia e Ministério do Meio Ambiente (MMA) (SILVA; ZUFFO, 2002). Na Tabela 1 foram sumarizadas algumas características das mesmas e na Figura 4 se pode observar suas localizações.

**Tabela 1** – Bacias hidrográficas do estado de Rondônia.

Código	Nome	Área (km <sup>2</sup> )
01	Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	59.339,380
02	Bacia Hidrográfica do Rio Mamoré	22.790,663
03	Bacia Hidrográfica do Rio Abunã	4.792,210
04	Bacia Hidrográfica do Rio Madeira	31.422,152
05	Bacia Hidrográfica do Rio Jamari	29.102,708
06	Bacia Hidrográfica do Rio Machado	80.630,566
07	Bacia Hidrográfica do Rio Roosevelt	15.538,192

Fonte: Silva e Zuffo (2002).



**Figura 4** – Bacias hidrográficas do estado de Rondônia.

## 2.2. ANÁLISE DOS DADOS

### 2.2.1 Aquisição dos Dados

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram obtidos por meio do banco de dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Destaca-se que as informações desse banco vêm sendo utilizadas em vários estudos similares, dentre os quais: Arantes et al. (2009); Butt, Oliveira e Costa (2011); Fietz e Comunell (2006); e Oliveira et al. (2010).

Esse órgão mantém em seus registros dados de precipitação pluviométrica acumulados em períodos de um dia para 93 estações pluviométricas do estado de Rondônia, no entanto, apenas 41 apresentaram um conjunto de dados com uma série temporal igual ou superior a 10 anos, sendo tal característica explicitada no estudo de CETEB (1979, apud FIETZ; COMUNELL, 2006) como requisito para a confecção das equações IDF, as quais são alvo deste estudo. Desta forma, somente os dados dessas 41 estações foram utilizados.

Na Tabela 2 apresentam-se algumas informações mais detalhadas das estações utilizadas no estudo e, na Figura 5 nota-se a localização das mesmas.

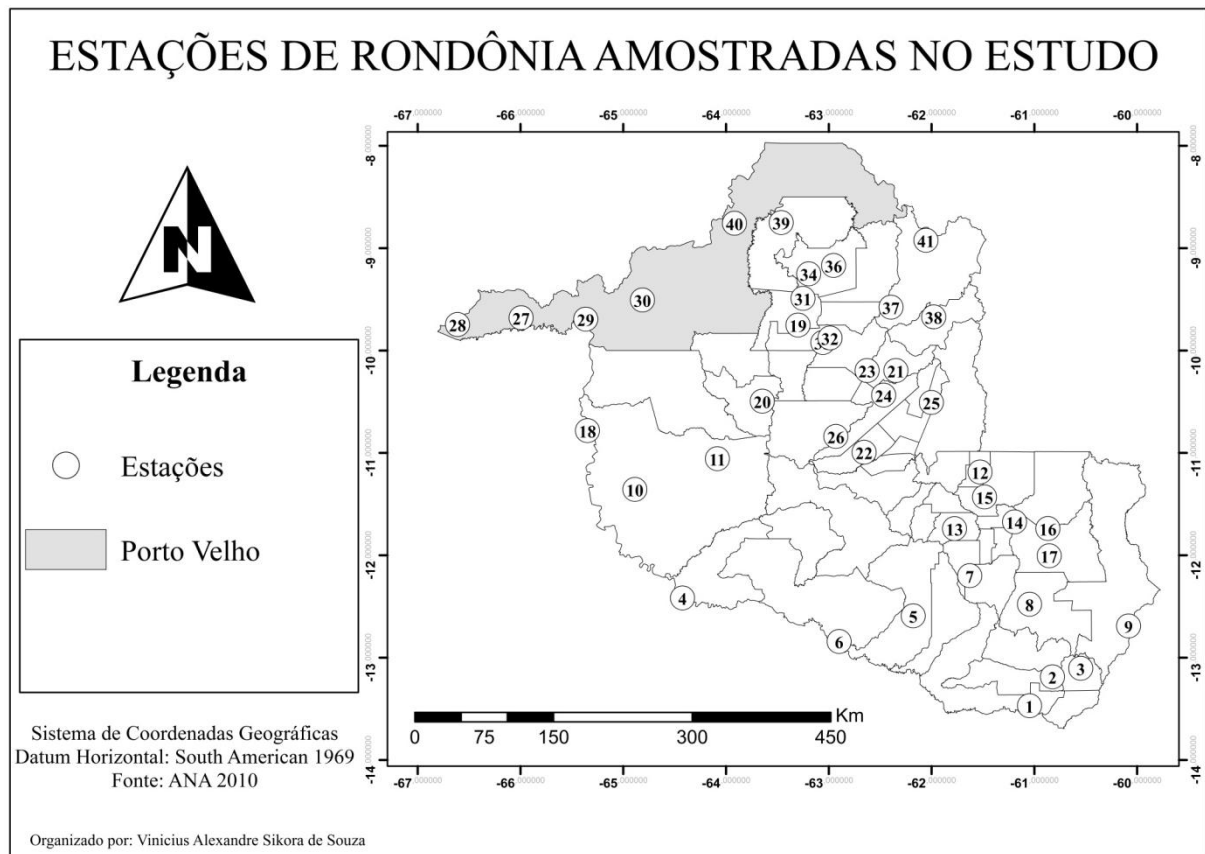
**Tabela 2** – Dados das estações pluviométricas amostradas.

Continua.

Estação	Código	Série (anos)	Meses efetivos	Município	Responsável	Localização	
						Latitude	Longitude
1	1360002	1983 – 2010	333	Pimenteiras do Oeste	ANA	13° 28' 47" S	61° 02' 47" O
2	1360001	1983 – 2010	336	Cerejeiras	ANA	13° 11' 48" S	60° 49' 24" O
3	1360000	1983 – 2010	334	Colorado do Oeste	ANA	13° 06' 51" S	60° 32' 54" O
4	1264000	1983 – 2010	329	Costa Marques	ANA	12° 25' 37" S	64° 25' 21" O
5	1262001	1999 – 2010	139	Alta Floresta do Oeste	ANA	12° 36' 05" S	62° 10' 42" O
6	1262000	1980 – 2010	352	Costa Marques	ANA	12° 51' 05" S	62° 53' 57" O
7	1261001	1999 – 2010	130	Parecis	ANA	12° 12' 33" S	61° 37' 43" O
8	1261000	1983 – 2006	260	Chunpinguia	ANA	12° 29' 16" S	61° 02' 47" O
9	1260001	1967 – 2003	337	Vilhena	DEPV	12° 42' 00" S	60° 05' 00" O
10	1164001	1983 – 2002	229	Guajará-Mirim	ANA	11° 22' 00" S	64° 53' 11" O
11	1164000	1976 – 1989	167	Guajará-Mirim	ANA	11° 04' 00" S	64° 05' 00" O
12	1161003	1999 – 2010	131	Ministro Andreazza	ANA	11° 11' 49" S	61° 31' 41" O
13	1161002	1983 – 2010	315	Rolim de Moura	ANA	11° 44' 59" S	61° 46' 35" O
14	1161001	1980 – 2010	372	Pimenta Bueno	ANA	11° 41' 01" S	61° 11' 32" O
15	1161000	1977 – 2010	395	Cacoal	ANA	11° 26' 27" S	61° 29' 02" O
16	1160002	1982 – 2010	334	Pimenta Bueno	ANA	11° 44' 56" S	60° 52' 04" O
17	1160000	1977 – 2010	393	Pimenta Bueno	ANA	12° 00' 55" S	60° 51' 18" O
18	1065002	1972 – 2010	451	Guajará-Mirim	ANA	10° 47' 33" S	65° 20' 52" O
19	1063001	1980 – 2010	354	Ariquemes	ANA	09° 45' 39" S	63° 17' 15" O
20	1063000	1978 – 2010	358	Ariquemes	ANA	10° 30' 18" S	63° 38' 46" O
21	1062004	1986 – 2010	285	Theobroma	ANA	10° 14' 11" S	62° 20' 45" O
22	1062003	1983 – 2010	324	Mirante da Serra	ANA	11° 00' 13" S	62° 39' 22" O
23	1062002	1978 – 2010	383	Jaru	ANA	10° 14' 11" S	62° 37' 38" O

Conclusão.

Estação	Código	Série (anos)	Meses efetivos	Município	Responsável	Localização	
						Latitude	Longitude
24	1062001	1977 – 2010	399	Jaru	ANA	10° 26' 45" S	62° 27' 56" O
25	1061003	1987 – 2010	285	Ouro Preto do Oeste	ANA	10° 31' 01" S	62° 00' 05" O
26	1061001	1975 – 1997	262	Ji-Paraná	ANA	10° 50' 58" S	61° 55' 50" O
27	966001	1982 – 2010	316	Porto velho	ANA	09° 41' 25" S	65° 59' 35" O
28	966000	1977 – 2010	404	Porto velho	ANA	09° 45' 20" S	66° 36' 42" O
29	965001	1976 – 2010	377	Porto velho	ANA	09° 42' 11" S	65° 21' 53" O
30	964001	1978 – 2002	290	Porto velho	ANA	09° 30' 59" S	64° 48' 44" O
31	963009	1997 – 2010	162	Ariquemes	ANA	09° 28' 00" S	63° 15' 00" O
32	963006	1983 – 2001	223	Ariquemes	ANA	09° 53' 14" S	62° 59' 17" O
33	963004	1980 – 2010	366	Ariquemes	ANA	09° 53' 14" S	62° 59' 16" O
34	963001	1977 – 2010	387	Porto velho	ANA	09° 15' 38" S	63° 09' 43" O
35	963000	1975 – 2010	420	Ariquemes	ANA	09° 55' 54" S	63° 03' 25" O
36	962001	1981 – 2007	308	Porto velho	ANA	09° 10' 45" S	62° 57' 11" O
37	962000	1978 – 2010	378	Machadinho do Oeste	ANA	09° 35' 11" S	62° 23' 38" O
38	961003	1987 – 2009	273	Machadinho do Oeste	ANA	09° 40' 53" S	61° 58' 44" O
39	863003	1975 – 2002	297	Candeias do Jamari	ANA	08° 45' 35" S	63° 27' 45" O
40	863000	1961 – 2007	564	Porto velho	INMET	08° 46' 00" S	63° 55' 00" O
41	862000	1977 – 2010	385	Machadinho do Oeste	ANA	08° 56' 00" S	62° 03' 14" O



**Figura 5** – Localização das estações pluviométricas do estado de Rondônia utilizadas neste estudo.

### 2.2.2 Teste de Aderência

Na geração das equações IDF para o estado de Rondônia tornou-se necessário verificar qual a distribuição estatística que melhor se ajusta aos eventos pluviométricos máximos anuais registrados nos dados coletados, para tanto se utilizou um teste de aderência.

As distribuições testadas, por motivos descritos na seção 1.3 desta obra, foram as distribuições Normal, Log-Normal, Exponencial, Gama, Gumbel, Weibull e Logística.

Dentre os testes de aderência indicados por Naghettini e Pinto (2007), optou-se pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS), o qual segundo os autores supracitados é um teste não paramétrico que tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas, sendo o mesmo conservador quanto à magnitude do erro do tipo I.

Tal teste também é destacado por Leotti, Birck e Ribold (2005) como pertencente à classe suprema de estatísticas baseadas na função de distribuição empírica, pois trabalha com

a maior diferença entre a distribuição empírica e a hipotética. Catalunha et al. (2002) explicitam além disso, que o KS é bastante utilizado para análise de aderências de distribuições em estudos climáticos.

Assim, o teste Kolmogorov-Smirnov para as distribuições analisadas, executado pelo software Weibull++ 7® (RELIASOFT, 2011), seguiu-se primeiramente pela conjuração da hipótese nula ( $H_0$ ), que a distribuição empírica é igual a distribuição dos valores amostrais, e da hipótese alternativa ( $H_1$ ), onde a assertiva da hipótese nula não seria verdadeira, ou seja, a distribuição dos dados analisados não corresponderiam a distribuição estatística analisada.

O critério de decisão foi a comparação dos parâmetros  $D_{\text{calc}}$  e  $D_{\text{crit}}$ , onde  $D_{\text{calc}} > D_{\text{crit}}$  rejeita-se a hipótese  $H_0$  em favor de  $H_1$ . Nos testes de aderências utilizaram-se um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,005 para obter um valor reduzido do erro do tipo I, ou seja, minimizar as chances para aproximadamente 100% de descartar a hipótese nula sendo a mesma verdadeira (BORGES; FERREIRA, 2003).

### 2.2.3 Construção das Equações IDF

Para estimar as equações IDF, obteve-se primeiramente para a série histórica de cada estação pluviométrica analisada, a altura máxima de chuva de “um dia” de cada ano, constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais.

E, a seguir os dados foram organizados em ordem decrescente, sendo a média aritmética e o desvio-padrão da amostra calculados. Tal procedimento possibilitou analisar estatisticamente a probabilidade e o período de retorno das chuvas intensas, através do método da distribuição de Gumbel, sendo o uso dessa distribuição justificado no item 3.2 deste estudo.

A variável reduzida de Gumbel ( $y$ ) foi obtida pela Equação 5, como preconizado por Gumbel (2004).

$$y = \frac{s_y}{s_x} \left[ x_i - \left( x_m - s_x \frac{y_m}{s_y} \right) \right] \quad (5)$$

Onde:

$s_x$  – Desvio-padrão da série;

$x_i$  – Valor de um elemento da amostra;

$x_m$  – Média da amostra da série anual finita de  $n$  valores;

$s_y$  – Desvio-padrão, valor tabelado;

$y_m$  – Média da variável reduzida ( $y$ ), tabelada em função do número de dados da amostra.

O período de retorno ( $Tr$ ), definido como o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado, pelo menos uma vez é estimado pela Equação 6. Sendo essa expressão função da base dos logaritmos neperianos ( $e$ ).

$$Tr = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}} \quad (6)$$

Após esse procedimento, os dados posteriormente foram plotados em um gráfico que apresentasse as mesmas características do papel log-probabilístico, conhecido também como papel de Gumbel, ou seja, os pontos correspondentes às alturas máximas de chuva ( $p$ ) ficaram na ordenada, em escala aritmética, e o período de retorno, em anos, correspondente na abscissa, em escala logarítmica-probabilística.

Após essa ação ajustou-se uma reta para os dados desse gráfico, que compreendeu a amplitude dos dados analisados, pois as mesmas apresentaram coeficiente de ajuste ( $r^2$ ) variando de 89% a aproximadamente 100%, como se observa na Tabela 3.

Assim, foi possível estimar para diversos períodos de retorno as precipitações máximas com duração de “um dia”, podendo até mesmo extrapolar informações para períodos de retorno maiores do que os contidos no intervalo desses dados.

**Tabela 3** – Coeficientes de ajuste das equações estimadas para os dados das estações analisadas.

Código	Estação	$r^2$	Código	Estação	$r^2$	Código	Estação	$r^2$
1360002	1	0,901	1161000	15	0,938	965001	29	0,988
1360001	2	0,967	1160002	16	0,976	964001	30	0,961
1360000	3	0,962	1160000	17	0,951	963009	31	0,896
1264000	4	0,970	1065002	18	0,982	963006	32	0,894
1262001	5	0,968	1063001	19	0,974	963004	33	0,967
1262000	6	0,922	1063000	20	0,991	963001	34	0,960
1261001	7	0,984	1062004	21	0,980	963000	35	0,971
1261000	8	0,987	1062003	22	0,896	962001	36	0,962
1260001	9	0,978	1062002	23	0,941	962000	37	0,970
1164001	10	0,929	1062001	24	0,964	961003	38	0,954
1164000	11	0,950	1061003	25	0,918	863003	39	0,963
1161003	12	0,926	1061001	26	0,954	863000	40	0,995
1161002	13	0,950	966001	27	0,931	862000	41	0,919
1161001	14	0,982	966000	28	0,943	-	-	-

Depois de obtidas as alturas das chuvas para os períodos de 2 a 100 anos, estimou-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva de 5 minutos a 24 horas, por meio da desagregação de chuva diária, sendo para tal procedimento utilizado os quocientes das relações médias a nível nacional (TABELA 4) obtidos por CETESB (1979), explicitado em Tucci (2009).

**Tabela 4** – Quocientes a nível nacional das relações entre durações.

<b>Relação</b>	<b>Quociente</b>
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12/24h	0,85
24h/1dia	1,14

**Fonte:** Tucci (2009)

Ao obter as informações de alturas máximas para os períodos e durações pretendidos, gerou-se a equação IDF para as áreas de influência de cada estação pluviométrica em Rondônia por meio do estabelecimento das constantes – K, a, b e c – pelo método dos mínimos quadrados. Para a equação IDF geral, Equação 7, que segundo Villela e Mattos (1975) é o modelo matemático mais utilizado para expressar a relação IDF da precipitação. Sendo utilizado o software LAB Fit® (SILVA et al., 2004), apontado por seus criadores como uma ferramenta eficaz no ajuste de curvas.

$$i_m = \frac{K \cdot Tr^a}{(t+b)^c} \quad (7)$$

Onde:

$i_m$  – Intensidade máxima média de precipitação, mm/h;

t – Duração (min);

Tr – Período de retorno (ano);



K, a, b, c – Parâmetros relativos à localidade.

## 2.2.4 Análise de Eficiência das Curvas IDF

Na verificação da eficiência da equação IDF proposta por este estudo, utilizou-se o coeficiente de regressão ( $r^2$ ) de ajuste da função aos pontos e realizou-se o teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney, disponível no MINITAB® Statistical Software, 16.0 demo (MINITAB, 2011), para comprovar se os dados medidos e modelados conforme a distribuição de Gumbel diferem estatisticamente dos dados estimados pela função IDF, sendo estabelecida como hipótese nula ( $H_0$ ) que tais dados sejam iguais, ou seja, que a média das diferenças entre os dados modelados e os dados estimados é igual a magnitude 0 e como hipótese alternativa ( $H_1$ ), que os mesmos diferem entre si, ou seja que a média dessa diferença não é igual a 0.

O critério de decisão foi baseado no intervalo construído para essas diferenças com um nível de confiança de 99,5%, sendo esta magnitude estabelecida devido aos mesmos motivos da escolha do  $\alpha$  para o teste KS, desta forma se o valor 0 estiver contido nesse intervalo aceita-se a hipótese de nulidade, pois a média é estatisticamente igual a 0, caso contrário a hipótese alternativa seria aceita pois a assertiva anterior torna-se inverídica.

Ressalta-se que Prazeres Filho, Viola e Borges (2010) relatam que o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney é um teste não paramétrico, o qual prescindem da distribuição original dos dados, sendo por isso chamados de testes livre de distribuição, o mesmo é indicado para testar se duas amostras são idênticas ou não, além disso sua utilização ocorre quando as variáveis estudadas são mensuradas em escala pelo menos em nível ordinal, sendo o mesmo uma alternativa ao teste t-pareado.

Ao que tange à verificação dos resíduos produzidos pelas diferenças na magnitude dos dados pluviométricos extremos desagregados e modelados pela distribuição Gumbel ( $x_M$ ) e os dados estimados pelas equações IDF confeccionadas neste estudo ( $x_E$ ), realizou-se a análise de erro padrão médio (EPM), Equação 8; erro normalizado médio (ENM), Equação 9; e erro multiplicativo médio (EMM), Equação 10. Todas essas análises encontram-se explicitadas no trabalho de Moog e Jirka (1998).

$$EPM = \sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(x_E - x_M)_i^2}{N} \right]} \quad (8)$$

$$ENM = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_E - x_M}{x_M} \right)_i \quad (9)$$

$$EMM = e^{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n |\ln(x_E/x_M)_i|}{n} \right]} \quad (10)$$

### 2.3 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIAS DAS CURVAS IDF

Partindo da premissa de que os municípios do estado de Rondônia possuem grandes extensões territoriais, este estudo optou por indicar o uso das equações IDF geradas não para cada município especificamente, mas sim para a área de influência da equação.

A teoria utilizada para a construção dessas áreas de influência foi o diagrama de Voronoi, sendo que cada área representou uma célula nesse diagrama, a qual possui como característica a interseção de todos semi-espacos definidos por bissetores, ou seja, mediatrizes das linhas que ligam dois postos pluviométricos adjacentes, que foram utilizados na equação (BOOTS, 1986).

Cabe destacar que essa teoria para a construção de áreas de influência é amplamente utilizada em análises pluviométricas, a exemplo cita-se os polígonos de Thiessen, sendo esse descrito no item 3.1.1.2 desta obra.

A criação das áreas foi realizada por meio do software Quantum Gis® (SHERMAN et al., 2011), onde primeiramente converteu-se as coordenadas geográficas das estações pluviométricas amostradas, presentes numa tabela, para um arquivo em formato *shape file* (.shp), sendo esse posteriormente utilizado para a criação dos polígonos de influência ao selecionar na barra de menus do programa a opção “diagrama de Voronoi”. Após esse procedimento, interseccionou-se o diagrama gerado com o arquivo vetorial do estado de Rondônia, possibilitando dessa forma, a geração e identificação das áreas de influência das estações pluviométricas do estado.

### 2.4 AFERIMENTO DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS MÁXIMOS MÉDIOS PARA AS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Na determinação da pluviosidade extrema média para cada uma das sete bacias hidrográficas do estado de Rondônia foram utilizadas às técnicas da média aritmética, dos polígonos de Thiessen e das isoietas.

O cálculo pela média aritmética se realizou primeiramente pela obtenção dos dados de intensidade para cada período de retorno e duração das estações pluviométricas presente na bacia, sendo que posteriormente utilizou-se tais dados na Equação 2, em substituição da variável altura precipitada, para que, desta forma, o resultado corresponde-se a uma intensidade máxima média da bacia.

Na determinação da chuva máxima pelo método dos polígonos de Thiessen gerou-se, primeiramente, o elemento geométrico correspondente a intensidade de cada posto pluviométrico para uma duração e tempo de retorno específicos, sendo que os procedimentos para esta geração seguiu-se de forma similar a criação de áreas de influências descritos no item 1.3. Posteriormente, de posse desses dados, aplicou-se os mesmo na Equação 3, no lugar da altura precipitada.

Ao que concerne o emprego das isoietas, essas foram geradas, no software Quantum Gis® (SHERMAN et al., 2011), primeiramente pela importação da tabela de dados das intensidades das precipitações extremas em seus períodos de retorno e duração específicos, incluindo as localizações geográficas das estações, sendo a importação realizada com o *plugin* de “texto delimitado”.

Para limitar a análise para a área abrangida pelos pluviômetros, criou-se uma forma convexa simples mínima, através da seleção do item “forma(s) convexa(s)” no sub-menu “Ferramentas de Geoprocessamento” do menu “Vetor”. A fim de expandir a análise para a extensão de todo o estado gerou-se um “*Buffer*” da forma criada, sendo essa opção localizada também no sub-menu “Ferramentas de Geoprocessamento”.

Após essas etapas, a geometria resultante sofreu uma intersecção com o *shape file* do contorno de Rondônia. Como procedimento posterior a criação das isoietas, importou-se a forma geométrica criada nos passos anteriores, juntamente com o vetor dos pontos das estações para uma extensão denominada “GRASS” no próprio software, por meio do módulo “v.in.ogr.qgis”.

Realizada tais ações, converteu-se a geometria interseccionada para um “*raster*” utilizando o comando “v.to.rast”, para que o mesmo pudesse ser usado como uma máscara. Posteriormente, foi utilizado o módulo “r.mask”, com o objetivo de forçar a aproximação entre o *raster*, recém gerado, e o vetor das estações pluviométricas.

Na criação das grades interpoladas das intensidades das precipitações extremas utilizou-se o “v.surf.rst”, sendo selecionado como campo de atributo para fazer a interpolação da coluna que contivesse a intensidade de precipitação, com o  $T_r$  e  $t$  de interesse. Como

procedimento final na geração das grades, elas foram convertidas em curvas por meio do comando “r.contour”.

De posse das isoietas, extraiu-se os dados pertinentes de serem aplicados na Equação 4, para o cálculo da média, frisando que novamente a altura precipitada foi substituída pela intensidade.

Ressalta-se que posteriormente ao obter os dados de intensidades médias, para cada bacia hidrográfica de Rondônia em cada um dos métodos descritos acima, esses foram submetidos ao teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W) com  $\alpha$  de 0,001, devido a este ser o menor nível de confiança, que resultaria num menor erro do tipo I, com que o software trabalha, sendo o mesmo realizado pelo Graphpad Prism® 5.0 demo (GRAPHPAD SOFTWARE INC., 2007).

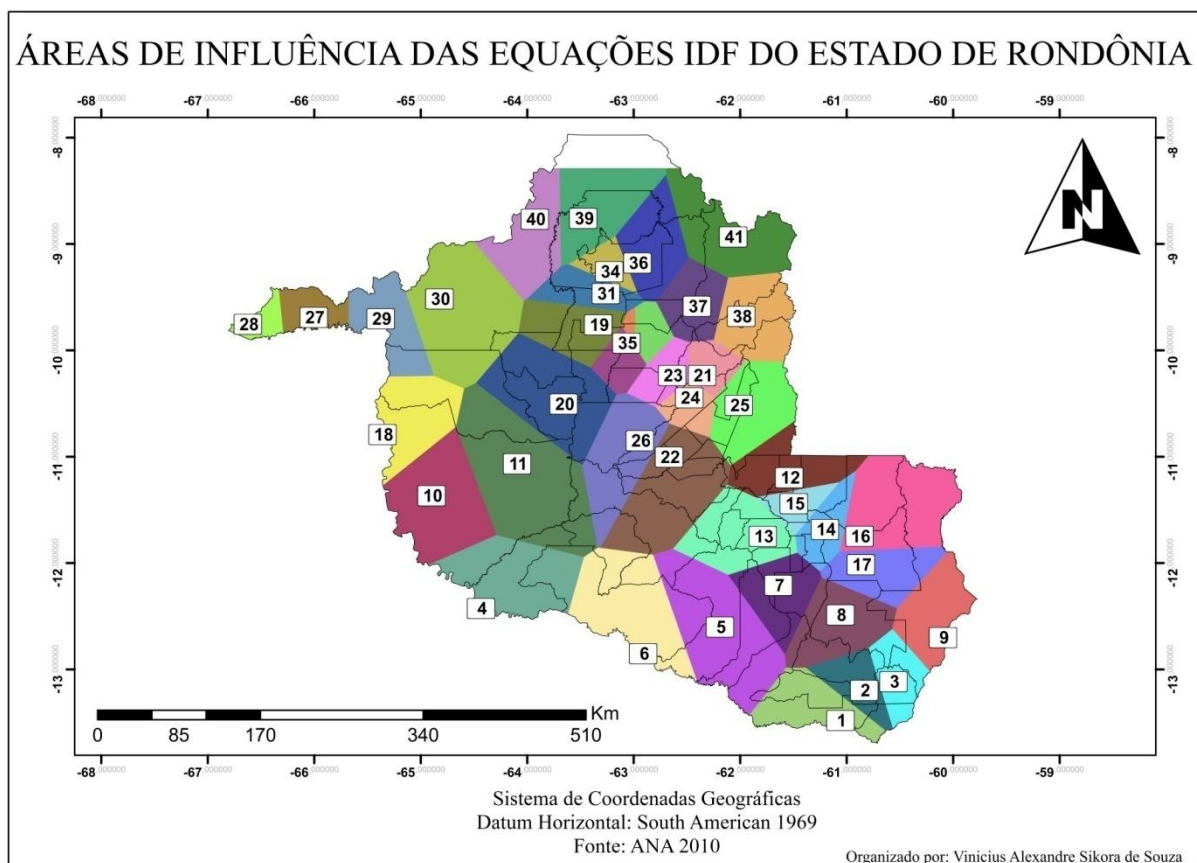
Frisa-se que o critério de decisão utilizado nesse teste foi o valor-p, sendo o mesmo maior que  $\alpha$  não rejeitar-se-ia a hipótese nula formulada para o teste, a qual consistia na afirmação da inexistência de diferenças estatística para os valores de intensidade de precipitação média das bacias hidrográficas obtidos pelas técnicas da média aritmética, dos polígonos de Thiessen e das isoietas. Em contraposição se o valor-p apresenta-se em uma magnitude inferior ao  $\alpha$  estabelecido, essa característica denotaria que a hipótese nula deve ser rejeitada em função da hipótese alternativa, pois existem diferenças estatísticas entre os resultados fornecidos pelas técnicas utilizadas.

Destaca-se ainda que o teste de Kruskal-Wallis foi complementado pelo teste não paramétrico de Dunn, também realizado pelo Graphpad Prism® 5.0 demo (GRAPHPAD SOFTWARE INC., 2007), a fim de averiguar em qual das técnicas residiria as discrepâncias, caso houvessem, que forçar-se-iam a rejeição da hipótese nula.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CURVAS IDF

A fim de verificar zonas de aplicabilidade das equações IDF construiu-se para o estado de Rondônia a Figura 6, cujas constantes a cada localidade estão contidas na Tabela 5. Ao analisar esta figura, percebe-se que praticamente todo o estado foi abrangido, com exceção de uma pequena área no extremo norte, pertencente ao município de Porto Velho. A não inclusão dessa região nas áreas de influência das curvas IDF ocorreu em virtude da disposição espacial das estações utilizadas que impossibilitou a sua inserção as demais na fase de interpolação efetuada pelo software.



**Figura 6** – Áreas de influência das equações IDF para as respectivas estações pluviométricas amostradas no estado de Rondônia.

Por esse motivo, recomenda-se para a porção norte do município de Porto Velho a adoção da equação da área de influência 39, uma vez que esta é a mais próxima geograficamente da localidade com ausência de dados e, possivelmente, ambas as regiões

apresentam características climáticas parecidas produzindo um erro menor ao utilizar tal equação.

As constantes da forma geral da equação IDF (Equação 7) apresentadas na Tabela 5 foram calibradas por este estudo utilizando a intensidade das precipitações máximas com durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 480, 600, 720 e 1.440 min; e períodos de retorno do fenômeno de 2, 5, 10, 20 e 100 anos. Logo, a mesma apresentou uma grande faixa de aplicação, devido à amplitude dos intervalos, assim essa estimativa pode ser utilizada em várias obras hidráulicas.

De forma geral torna-se possível observar que as equações propostas apresentam o comportamento típico para as curvas IDF, ou seja, a intensidade é indiretamente proporcional a duração, como constata Pereira, Silveira e Silvino (2007), ao observar que quanto menor for a duração da precipitação, maior é a intensidade média.

Verificou-se uma relação diretamente proporcional entre a intensidade e o período de retorno, evidenciando dessa forma a diferença no uso do Tr para o dimensionamento de obras hidráulicas, visto que altos períodos de retorno indicam uma elevada intensidade da precipitação. Dessa forma, a concepção de projetos hidráulicos mais complexos necessita da previsão de grandezas hidrológicas de grande magnitude com um intervalo temporal de recorrência grande, para que sejam estimadas máximas vazões ou precipitações que podem vir a ocorrer em certa localidade. Nesse contexto o custo de tal projeto encontra-se intimamente ligado ao período de retorno de ocorrência do fenômeno (BEIJO; MUNIZ; CASTRO NETO, 2005).

**Tabela 5** – Coeficientes das equações IDF para o estado de Rondônia.  
Continua.

<b>Equação</b>	<b>Código</b>	<b>K</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
1	1360002	865,211	0,284	13,868	0,714
2	1360001	922,522	0,242	13,868	0,714
3	1360000	926,887	0,213	13,868	0,714
4	1264000	786,164	0,244	13,868	0,714
5	1262001	822,730	0,220	13,868	0,714
6	1262000	829,215	0,206	13,868	0,714
7	1261001	801,558	0,205	13,868	0,714
8	1261000	763,368	0,247	13,868	0,714
9	1260001	734,652	0,233	13,868	0,714
10	1164001	684,101	0,271	13,868	0,714
11	1164000	731,896	0,146	13,868	0,714
12	1161003	778,344	0,172	13,868	0,714
13	1161002	895,658	0,204	13,868	0,714
14	1161001	867,613	0,183	13,868	0,714

Conclusão.

<b>Equação</b>	<b>Código</b>	<b>K</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
15	1161000	941,599	0,231	13,868	0,714
16	1160002	819,248	0,203	13,868	0,714
17	1160000	940,299	0,226	13,868	0,714
18	1065002	935,889	0,239	13,868	0,714
19	1063001	973,900	0,207	13,868	0,714
20	1063000	1038,794	0,293	13,868	0,714
21	1062004	873,381	0,196	13,868	0,714
22	1062003	742,118	0,189	13,868	0,714
23	1062002	926,701	0,173	13,868	0,714
24	1062001	918,014	0,204	13,868	0,714
25	1061003	963,613	0,161	13,868	0,714
26	1061001	951,542	0,198	13,868	0,714
27	966001	699,870	0,208	13,868	0,714
28	966000	918,097	0,190	13,868	0,714
29	965001	930,547	0,314	13,868	0,714
30	964001	703,547	0,322	13,868	0,714
31	963009	875,778	0,244	13,868	0,714
32	963006	933,698	0,255	13,868	0,714
33	963004	945,314	0,188	13,868	0,714
34	963001	981,296	0,182	13,868	0,714
35	963000	1053,185	0,206	13,868	0,714
36	962001	1093,628	0,216	13,868	0,714
37	962000	945,329	0,174	13,868	0,714
38	961003	903,301	0,206	13,868	0,714
39	863003	851,672	0,177	13,868	0,714
40	863000	1774,359	0,332	13,867	0,714
41	862000	826,299	0,191	13,868	0,714

Ao analisar os coeficientes regionais obtidos para a Equação 7 (TABELA 5), verifica-se que as constantes “b” de cada localidade, com exceção da 40, são iguais numericamente. O mesmo aspecto foi observado para a constante “c”, porém, essa apresentou tal característica para todas as 41 regiões que tiveram suas curvas IDF equacionadas. Essa igualdade numérica deve-se ao método de desagregação utilizado na transformação de chuvas diárias para eventos pluviométricos com durações menores, o qual emprega quocientes de desagregação idênticos para todas as séries históricas.

Dessa forma, observa-se que esses parâmetros regionais são funções das relações de intensidades pluviométricas de diferentes durações. Outras pesquisas também descrevem coeficientes regionais iguais, como o estudo de Oliveira et al. (2000). Esses autores notaram fato semelhante aos descritos anteriormente, sendo que em seus estudos foi utilizada uma metodologia semelhante à exposta neste trabalho na estimativa de equações de chuvas intensas para alguns locais no estado de Goiás.

Na Tabela 6 está apresentada a análise dos resíduos gerados por cada equação IDF ao estimar os dados medidos e modelados pela distribuição de Gumbel, os quais foram utilizados no processo de confecção deste modelo matemático de chuvas extremas. Constata-se que as flutuações dos resultados das equações não apresentam uma magnitude significativa quando comparados aos dados utilizados em sua estimação, pois a taxa de erros padrão médio (EPM) oscilou entre 3,215 a 32,382, concordando com os valores obtidos para os erros normalizados médio (ENM), que se encontram na faixa de -13,359 a -5,816%.

Os valores negativos encontrados nos ENM revelam que a equações propostas por este estudo tendem a subestimar, mesmo que de forma inexpressiva, os dados medidos. Ressalta-se que o trabalho de Oliveira et al. (2000) evidenciou erros normalizados médio de aproximadamente 14,4% em relação as equações IDF de algumas localidades de Goiás elaboradas em seu estudo.

Frisa-se ainda que os índices dos erros multiplicativos médios (EMM), os quais segundo Moog e Jirka (1998) são muito sensíveis a pequenas disparidades, estiveram próximos a 1, o que demonstra a inexistência de diferenças expressivas nos resultados fornecidos pelos modelos matemáticos quando comparados aos dados medidos.

**Tabela 6** – Resultados das análises de validação das equações IDF.

Continua.

Equação	EPM	ENM (%)	EMM	r	r <sup>2</sup>	Intervalo de Confiança de 99,5%	
						Inferior	Superior
1	7,622	-7,341	1,124	0,995	0,990	-4,020	2,960
2	7,927	-7,286	1,123	0,995	0,990	-3,420	2,090
3	6,326	-6,598	1,113	0,996	0,992	-2,900	1,500
4	5,720	-6,427	1,111	0,996	0,993	-2,940	1,830
5	5,829	-6,436	1,111	0,996	0,993	-2,680	1,420
6	4,614	-6,507	1,112	0,996	0,993	-2,420	1,300
7	5,351	-6,452	1,111	0,996	0,993	-2,370	1,220
8	6,829	-7,435	1,125	0,995	0,990	-2,900	1,830
9	7,383	-6,979	1,119	0,996	0,991	-2,600	1,430
10	7,469	-8,406	1,137	0,994	0,988	-2,950	1,990
11	8,903	-7,723	1,129	0,995	0,989	-1,560	0,560
12	4,235	-6,229	1,107	0,997	0,994	-1,890	0,770
13	4,617	-5,954	1,102	0,997	0,994	-2,600	1,370
14	10,494	-9,073	1,145	0,993	0,986	-2,230	1,090
15	7,839	-7,201	1,122	0,995	0,991	-3,290	1,800
16	5,199	-6,429	1,111	0,996	0,993	-2,400	1,240
17	7,651	-6,655	1,114	0,996	0,992	-3,190	1,690



Conclusão.

Equação	EPM	ENM (%)	EMM	r	r <sup>2</sup>	Intervalo de Confiança de 99,5%	
						Inferior	Superior
18	5,942	-6,736	1,115	0,996	0,992	-3,430	2,000
19	3,975	-6,041	1,103	0,997	0,994	-2,880	1,520
20	13,631	-9,656	1,152	0,993	0,985	-5,120	3,980
21	5,866	-7,042	1,120	0,996	0,991	-2,400	1,290
22	5,299	-6,241	1,107	0,997	0,993	-1,970	1,020
23	3,215	-5,861	1,100	0,997	0,995	-2,270	0,920
24	5,824	-6,363	1,109	0,997	0,993	-2,700	1,390
25	5,352	-6,137	1,105	0,997	0,994	-2,210	0,850
26	7,098	-6,855	1,117	0,996	0,992	-2,670	1,420
27	4,774	-6,145	1,106	0,997	0,994	-2,090	1,100
28	11,821	-12,215	1,179	0,991	0,981	-2,460	1,280
29	14,671	-11,420	1,171	0,991	0,982	-5,370	4,490
30	5,138	-6,460	1,111	0,996	0,993	-4,370	3,650
31	32,282	-13,359	1,190	0,990	0,980	-3,290	2,030
32	4,811	-6,247	1,108	0,997	0,993	-3,720	2,440
33	5,359	-6,206	1,107	0,997	0,994	-2,490	1,290
34	4,765	-6,051	1,104	0,997	0,994	-2,490	1,190
35	6,822	-6,483	1,111	0,996	0,993	-3,110	1,620
36	4,906	-6,077	1,104	0,997	0,994	-3,460	1,820
37	6,333	-6,486	1,111	0,996	0,993	-2,330	0,950
38	5,854	-6,467	1,111	0,996	0,993	-2,650	1,410
39	4,491	-6,088	1,104	0,997	0,994	-2,110	0,940
40	6,838	-7,333	1,124	0,995	0,990	-11,600	9,700
41	5,242	-6,304	1,109	0,997	0,993	-2,220	1,170

Vale salientar que as equações propostas por este estudo apresentaram um coeficiente de regressão (TABELA 6) de aproximadamente 0,980 a 0,995, indicando assim que de 98 a 100% das variações dos dados da intensidade são explicados pelas variações da duração e período de retorno. Assim, o coeficiente de correlação (r) dessas estimativas se encontram na faixa de aproximadamente 1, demonstrando, segundo Levin (1977) citado por Elias et al. (2009), que a relação de  $i_m$  é perfeitamente correlacionada de forma positiva com as outras duas variáveis.

Ao que confere o teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney foi possível demonstrar que não existem evidências estatísticas que comprovem que os dados estimados pela equação difiram dos dados medidos, pois os limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança contiveram o valor 0, portanto não rejeitou-se a hipótese nula. Logo se observa

que a extrapolação de dados para o período de 100 anos na maioria das séries históricas não causou distorções de grande magnitude que pudessem comprometer a estimativa destas equações, mesmo alguns dados disponíveis contendo período de retorno máximo abaixo de 10 anos.

Dessa forma pode-se afirmar com 99,5% de confiança que as equações IDF propostas nesse estudo são significativa para os dados utilizados, o que confirma a viabilidade no uso dessas para os processos que as mesmas se destinam.

### 3.2 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE

Os resultados das avaliações de aderência estão resumidos na Tabela 7, utilizando o Teste Kolmogorov-Smirnov, a fim de verificar o ajuste dos dados das estações em relação às distribuições de probabilidade empíricas. Como explicitado anteriormente, utilizou-se o software Weibull++ 7® (RELIASOFT, 2011).

O referido programa apresenta os resultados no seguinte formato: ele faz uma relação entre os parâmetros  $D_{crit}$  e  $D_{calc}$  e, as relações que se apresentam inferiores a 1 denotam que a distribuição teórica testada pode ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados por uma determinada estação pluviométrica, pois valores em tal magnitude expressam a afirmação que o parâmetro  $D_{crit}$  é superior ao parâmetro  $D_{calc}$ , sendo este o critério de aceitação da hipótese nula ( $H_0$ ).

No entanto, se tal relação apresentar-se com o valor de 1, esse indicará que a distribuição estatística em análise não é correspondente a disposição probabilísticas dos dados de chuvas máximas, pois a afirmação de  $D_{crit} < D_{calc}$  é verdadeira, o que obriga a negação da hipótese nula e aceitação da hipótese alternativa.

Analisando a Tabela 7 verifica-se que dentre as distribuições analisadas apenas a distribuição Gama não se apresentou correspondente à distribuição dos dados em todos os casos testados pelo KS.

Dessa forma, os resultados obtidos diferem da afirmação de Naghettini e Pinto (2007), os quais explicitam que a versatilidade de formas, o coeficiente de assimetria variável e positivo, aliados ao fato da variável aleatória não ser definida para valores negativos fazem da distribuição Gama um modelo probabilístico muito atraente para a representação de variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas. Além disso, tal constatação descarta em parte a eficiência da distribuição Gama descrita por Haan (1977) na modelação de alturas de precipitação de durações diárias, semanais, mensais e anuais.

**Tabela 7** – Resultados dos testes de aderência utilizando KS e análise de simetria.

Continua.

Estação	$D_{calc}/D_{crit}$							n	Coeficiente de Simetria
	Normal	Log-Normal	Gama	Weibull	Logística	Exponencial	Gumbel		
1	0,706	0,997	1,000	0,971	0,647	1,000	0,900	28	0,451
2	0,348	0,028	1,000	0,213	0,265	1,000	0,736	28	0,608
3	0,230	0,284	1,000	0,186	0,130	1,000	0,573	28	0,477
4	0,254	0,210	1,000	0,209	0,397	1,000	0,676	28	0,192
5	0,927	0,500	1,000	0,858	0,897	1,000	0,987	12	-0,242
6	0,483	0,729	1,000	0,276	0,574	1,000	0,116	31	-0,568
7	0,008	0,053	1,000	0,004	0,022	0,999	0,019	12	-0,041
8	0,805	0,696	1,000	0,872	0,863	1,000	0,923	21	0,642
9	0,381	0,010	1,000	0,108	0,292	1,000	0,616	24	2,802
10	0,010	0,551	1,000	0,158	0,002	0,998	0,128	19	0,215
11	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,001	12	0,018
12	0,036	0,024	1,000	0,072	0,017	1,000	0,096	12	-0,126
13	0,045	0,012	1,000	0,107	0,082	1,000	0,530	28	0,117
14	0,296	0,081	1,000	0,557	0,457	1,000	0,738	31	0,575
15	0,177	0,203	1,000	0,119	0,136	1,000	0,706	34	0,999
16	0,384	0,089	1,000	0,611	0,482	1,000	0,826	29	2,050
17	0,340	0,004	1,000	0,348	0,444	1,000	0,822	34	0,511
18	0,927	0,500	1,000	0,858	0,897	1,000	0,987	39	2,015
19	0,295	0,026	1,000	0,458	0,418	1,000	0,766	29	0,577
20	0,996	0,834	1,000	0,953	0,996	1,000	0,999	31	3,714
21	0,418	0,262	1,000	0,550	0,552	1,000	0,669	24	0,192
22	0,061	0,449	1,000	0,020	0,028	1,000	0,254	28	-0,288
23	0,024	0,288	1,000	0,005	0,006	1,000	0,206	33	0,292

Conclusão.

Estação	$D_{calc}/D_{crit}$							n	Coeficiente de Simetria
	Normal	Log-Normal	Gama	Weibull	Logística	Exponencial	Gumbel		
24	0,269	0,009	1,000	0,192	0,206	1,000	0,731	34	1,892
25	0,179	0,099	1,000	0,385	0,151	1,000	0,635	23	-0,001
26	0,045	0,000	1,000	0,046	0,018	1,000	0,350	23	0,760
27	0,012	0,242	1,000	0,000	0,026	1,000	0,022	28	-0,459
28	0,879	0,640	1,000	0,847	0,840	1,000	0,963	34	1,518
29	0,903	0,262	1,000	0,139	0,869	0,998	0,959	33	4,368
30	0,415	0,969	1,000	0,879	0,424	0,996	0,176	24	-0,117
31	0,021	0,330	1,000	0,155	0,007	1,000	0,002	14	-0,651
32	0,299	0,708	1,000	0,388	0,335	1,000	0,693	19	-0,555
33	0,471	0,097	1,000	0,650	0,539	1,000	0,875	31	0,793
34	0,504	0,140	1,000	0,455	0,389	1,000	0,786	34	1,113
35	0,292	0,002	1,000	0,282	0,231	1,000	0,785	36	0,829
36	0,206	0,091	1,000	0,201	0,187	1,000	0,695	27	1,043
37	0,007	0,144	1,000	0,106	0,048	1,000	0,311	29	0,598
38	0,492	0,192	1,000	0,473	0,889	1,000	0,770	21	0,821
39	0,466	0,181	1,000	0,605	0,481	1,000	0,806	19	0,866
40	0,999	0,959	1,000	0,998	1,000	0,999	0,990	45	1,752
41	0,019	0,361	1,000	0,006	0,007	1,000	0,242	34	-0,070

As análises realizadas, mostradas na Tabela 7, foram de séries temporais máximas anuais de um dia. Dessa maneira, os resultados apresentados anteriormente sobre a distribuição gama denotam que essa é mais adequada apenas para modelagem de períodos curtos de chuva, como conclui Thom (1958, apud MURTA et al., 2005), e se encontra evidenciado nos estudos de Moreira et al. (2010); Murta et al. (2005); Silva et al. (2007); e Vasconcellos, André e Perecin (1999).

A distribuição Exponencial assim como a distribuição Gama apresentaram um alto índice de rejeição quanto ao seu ajuste com os dados amostrais utilizados, sendo o seu uso recomendado apenas para 5 das 41 estações avaliadas. Tal fenômeno de reprovação também foi observado por Catalunha et al. (2002) ao testarem essa distribuição com dados pluviométricos do estado de Minas Gerais.

Os autores atribuíram a modelagem de tal elemento hidrológico à ineficiência da distribuição Exponencial. Esses autores ainda frisam sobre a superestimação que esse modelo estatístico provoca em grande parte dos dados de chuva. Desta forma, o KS demonstrou que os dados, em sua maioria, não possuem uma assimetria em forma de “J” invertido, característica típica da distribuição Exponencial que aprovaria o seu uso (CATALUNHA et al., 2002).

Torna-se possível constatar na Tabela 7 que não houve rejeição da aderência dos dados com as distribuições de Weibull, Log-Normal, Gumbel e Logística. Desta forma, o resultado da distribuição de Weibull concordou com a afirmação de Catalunha et al. (2002), o qual destaca o emprego desse modelo estatístico na análise hidrológica para eventos extremos, além de ressaltar a superioridade da mesma quando comparada com a distribuição Gama para a modelagem de dados de precipitação, como pode ser comprovado anteriormente.

Para os modelos estáticos de Log-Normal e Gumbel, o trabalho de Back (2001), confirma as constatações acima, pois tal autor ao selecionar uma distribuição estatística para descrever as chuvas extremas do estado de Santa Catarina entre os diversos modelos chegou a conclusão que a distribuição de Gumbel e Log-Normal apresentaram o melhor ajuste para a maioria das estações pluviométricas estudadas.

No que tange ao aceite para a distribuição Log-Normal, em todos os casos, ao contrário da distribuição Gama, revelou-se que as probabilidades dos dados pluviométricos analisados se encontram dispostos nos núcleos das curvas de distribuições e não em suas caldas, pois Tucci (2009) destaca que as caldas das distribuições Log-Normal e Gama, possuem similaridades, o que provocaria aceites de mesma natureza, dados a características assimétricas de tais modelos estatísticos.

Os resultados obtidos pela distribuição Logística mostraram que a mesma é passível de uso na modelagem de eventos pluviométricos extremos para os dados utilizados do estado de Rondônia, desta forma o KS atestou que tal distribuição pode ser aplicada em outra área, além das mencionadas no trabalho de Bittencourt (2001), como as áreas de saúde, economia, administração e educação.

Em análise a Tabela 7 se nota que houve um aceite de todos os dados para a distribuição Normal, mesmo os dados apresentando uma assimetria, característica essa que refutaria de forma automática a hipótese nula para essa distribuição empírica, visto que a disposição simétrica dos dados é um atributo latente a tal distribuição (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Essa anormalidade pode ser explicada pela inferioridade do teste KS em confirmar a normalidade dos dados, sendo essa constatação encontrada no trabalho de Leotti, Birck e Ribold (2005), onde ao avaliarem dados que não continham normalidade, o teste Kolmogorov-Smirnov apresentou respostas não verídicas, afirmando que os mesmos eram normais, sendo que o KS, dentre todos os testes analisados, foi o que apresentou o pior desempenho quanto à avaliação de distribuição normal.

Os resultados da Tabela 7 revelam de forma geral que as respostas fornecidas pelo teste KS devem ser analisadas rigorosamente, pois o mesmo forneceu uma grande aceitação na maioria das distribuições, tal observação assemelha-se as constatações de Catalunha et al. (2002), o qual verificou que o nível de aprovação do teste Kolmogorov-Smirnov para diferentes distribuições de probabilidade é elevado, gerando dessa forma uma insegurança em seu uso.

O autor supracitado atribuiu tal fenômeno de aceitação elevada às condições assimétricas das distribuições estatísticas, pois essa característica confere valores mais elevados nas classes iniciais e menores nas finais, o que compromete o teste KS por esse medir as diferenças entre as probabilidades teóricas e empíricas.

Nesse sentido, Araújo et al. (2007) também verificaram essa alta abrangência de aceite do KS ao analisarem a aderência de dados pluviométricos, de algumas estações na bacia da Lagoa Mirim no Rio Grande do Sul, em relação as distribuições: Normal, Log-Normal, Log-Pearson III e Gumbel.

Porém, esses mesmos autores destacaram que ao realizarem a plotagem dos dados em papel de probabilidade apropriado, não houve aderência adequada dos dados observados aos do modelo teórico, ressaltando novamente que os resultados fornecidos pelo KS devem ser utilizados com parcimônia.

Porém, diante do exposto, cabe frisar que segundo Naghettini e Pinto (2007) o teste de aderência é apenas uma das três ferramentas que deve ser levado em conta na seleção de uma distribuição probabilística empírica na representação de dados hidrológicos, sendo as outras duas: as características físicas do fenômeno em foco e as possíveis deduções teóricas quanto às propriedades distributivas da variável em questão.

Nesses termos, a literatura explicita que a distribuição de Gumbel torna-se a mais indicada na representação de eventos pluviométricos extremos, pois Hershfield e Kohler (1960) ao analisarem os dados de milhares de estações pluviométricas nos Estados Unidos comprovaram que a distribuição de Gumbel se mostra mais eficiente em descrever o fenômeno das chuvas intensas.

Em tal contexto, os trabalhos de Beijo et al. (2003); Oliveira et al. (2000); Oliveira et al. (2008); e Silva et al. (2003), são referências no uso da distribuição de Gumbel para a modelagem de chuvas extremas, comprovando, desta forma, a aplicabilidade dessa distribuição em tal fenômeno, sendo esse o motivo da escolha da distribuição de Gumbel na estimativa das curvas IDF para este estudo.

### **3.3 CHUVAS EXTREMAS**

Os eventos pluviométricos extremos registrados nas séries históricas das estações amostradas neste estudo estão evidenciados na Tabela 8, sendo apresentadas, na mesma, as intensidades ( $i$ ) dos eventos máximos e mínimos anuais, com seus respectivos anos de ocorrência (AO) e períodos de retorno ( $Tr$ ). Na referida tabela também estão contidas as médias dos eventos máximos e o desvio padrão para esse fenômeno.

De forma geral, a média das chuvas máximas de “um dia”, no estado de Rondônia encontra-se variando de aproximadamente 71,3 a 173,5 mm/dia, sendo ambas as médias presentes em postos localizados no município de Porto Velho.

Esse alto índice de precipitação observado em todas as séries históricas das estações amostradas é característico dos aspectos climáticas da região, pois segundo Rondônia (2009), a média anual da precipitação pluvial no Estado de Rondônia varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano.

**Tabela 8** – Eventos extremos das estações amostradas.

Continua.

Estação	Máximo			Mínimo			Média (mm/dia)	Desvio Padrão (mm/dia)
	i (mm/dia)	Tr (anos)	AO (ano)	i (mm/dia)	Tr (anos)	AO (ano)		
1	227,4	55,906	2008	9,7	1,009	2002	90,860	43,338
2	176,6	19,551	1996	42	1,039	1986	98,025	35,978
3	165	23,387	1992	52,5	1,028	1989	98,728	28,199
4	135	12,037	1998	28,9	1,010	2004	83,885	29,553
5	123,4	9,455	2010	48,5	1,034	2000	86,391	21,562
6	126,4	13,158	1998	39,5	1,000	1990	89,019	20,849
7	110,5	6,975	2007	57,4	1,101	2000	84,041	19,087
8	144	16,918	1985	48	1,177	1994	80,559	30,037
9	195,5	128,250	1981	41,4	1,135	1990	76,712	29,869
10	144,8	23,254	1992	10	1,005	1998	71,578	29,726
11	95	10,966	1986	56	1,023	1985	75,416	10,443
12	109	12,339	2006	52,4	1,010	1999	81,058	13,965
13	141	13,606	1991 1992	43,6	1,002	2004	95,432	24,695
14	131,2	13,919	2003	62,4	1,071	1986	91,738	21,385
15	215,3	66,309	1990	21,2	1,000	1989	100,161	35,531
16	184,2	110,170	1997	52,2	1,090	1982	86,251	26,088
17	173,4	21,306	1998	35,4	1,004	1989	100,438	32,906
18	222	52,721	1987 2003	41,2	1,061	1990	98,607	41,080
19	167,4	20,378	1996	58	1,035	1995	103,537	28,848
20	423,4	285,350	2002	31,8	1,184	1992	104,068	69,667
21	134,2	13,676	1998	59,5	1,051	2008	92,650	22,037



Conclusão.

Estação	Máximo			Mínimo			Média (mm/dia)	Desvio Padrão (mm/dia)
	i (mm/dia)	Tr (anos)	AO (ano)	i (mm/dia)	Tr (anos)	AO (ano)		
22	115,4	18,010	1987	32,7	1,000	1994	78,817	17,357
23	150,6	33,308	1979	60	1,007	1997	97,924	20,033
24	212,8	147,970	1983	53,3	1,045	2010	97,008	29,259
25	140,8	19,844	2005	65	1,005	1989 2003	100,921	17,713
26	170	31,259	1991	58,7	1,035	1996	100,556	25,907
27	101,2	8,756	1988	30,1	1,000	2004	74,939	18,414
28	190	97,333	1993	46	1,005	1990	96,867	25,988
29	464,8	536,010	2007	28	1,280	1990	90,387	73,169
30	151	13,805	1993	9,4	1,057	1997	71,341	42,048
31	135,7	8,764	2003	27	1,001	1997	92,128	27,478
32	147,7	8,271	1996	14,3	1,000	2000	98,794	33,839
33	165,2	33,474	1996	59,8	1,027	1980	99,977	24,600
34	185	67,780	1984	64	1,032	2002	103,567	24,978
35	201,2	39,063	1990	63,5	1,043	2008	112,114	32,391
36	218	38,680	1991	53,2	1,019	1986	115,855	36,152
37	150	24,404	1978	69,3	1,060	2007	99,606	21,172
38	150,2	16,101	2005	47	1,015	1992	95,300	26,429
39	133,2	19,669	1992	60,4	1,058	1993	89,147	19,146
40	665,3	77,784	2001	43,2	1,257	1989	173,542	149,014
41	137,8	27,204	1981	40,8	1,000	1991	88,088	20,381

Observando a Tabela 8 pode se verificar que a maior altura de chuvas intensas encontrada em todas as séries históricas foi de 665,3 mm/dia em Porto Velho no ano de 2001, porém, o período de um fenômeno de mesma magnitude ou superior incidir novamente em tal localidade constitui-se em apenas 77,784 anos. Dessa forma, observa-se que na área na qual está localizada tal pluviômetro apresenta um alto índice de chuvas extremas, fato que pode ser observado pelo período de retorno.

No entanto, Carvalho (2007) encontrou uma altura máxima de 128,1 mm/dia de Tr de 18,99 anos no ano de 1999, ao analisar uma série de chuvas intensas com 34 anos da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu em Boa Vista – RR, sendo essa pertencente a mesma região em que se encontra a área deste estudo.

O evento com o maior período de recorrência denotado na Tabela 8 foi no município de Porto Velho com 536,010 anos com uma magnitude de 464,8 mm/dia, sendo esse observado no ano de 2007.

Ressalta-se que a ocorrência desse fenômeno foi captado até mesmo pelos radares hidroestimadores de precipitação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), dado o núcleo da tempestade, a qual apresentou deslocamento de noroeste/sudeste, sendo as Zonas Norte e Oeste de Porto Velho serem as mais afetadas pelo temporal (DE OLHO NO TEMPO, 2011).

Em análise a Tabela 8 observa-se a ocorrência de chuvas intensas máximas em algumas estações pluviométricas no mesmo período de acontecimento, sendo os anos de 1992, 1991, 1998, 1996 e 2003, os que possuem mais repetições de intensidades extremas máximas.

Portanto, nesses períodos fica evidente a atuação de algum fenômeno meteorológico, como o *La Niña* que segundo Cutrim, Molion e Nechet (2000) ocasiona anomalias positivas de precipitação na região amazônica. Não obstante, esse mesmo fenômeno meteorológico foi apontado por Bergamaschi et al. (2004), como responsável pela ocorrência de precipitações abaixo da média histórica na região sul do Brasil.

Ao que tange os eventos extremos mínimos anuais esses mostram a existência de períodos mais secos em determinadas regiões, pois se observa que as ocorrências encontram-se muito abaixo das médias das mesmas localidades, o que pode denotar a presença de algum fenômeno climático que interferiu de forma expressiva na chuva de tais anos, como o *El Niño*, destacado no estudo de Silva, Saraiva e Silva (2010), como fator principal nos casos das secas registradas na região amazônica, nos períodos de 1925-1926, 1968-1969 e 1997-1998.

Nesse sentido, Santos e Buchmann (2010) relatam que tal fenômeno é caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico Equatorial (porção centro-oeste) e pelo enfraquecimento dos ventos alísios de leste. Assim, o mesmo pode provocar alterações climáticas e prejuízos financeiros em várias partes do globo.

Portanto, as constatações explicitadas acima acordam com os resultados de Grimm e Tedeschi (2004), que ao analisarem dados diários de precipitação de 2714 estações meteorológicas de todo Brasil, provenientes da ANA, durante o período 1956-2002, verificou que na Região Norte do país, há um maior acréscimo de eventos extremos durante *La Niña* e diminuição dos mesmos durante *El Niño*, sendo, no entanto, o comportamento dos mesmos sem muita simetria, pois o *La Niña* provoca aumentos na precipitação com mais frequência que o *El Niño* gera redução dessa variável.

Frisa-se que as discrepâncias nas alturas extremas máximas e mínimas justificam os altos valores encontrados para os desvios padrões da série. Essa alta dispersão dos dados de precipitação, indicada pelo desvio padrão, também foram mostradas por Mehl et al. (2001), que ao caracterizar os padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria – RS, observaram desvios padrões acima de 30 mm em precipitações com duração de 10 min.

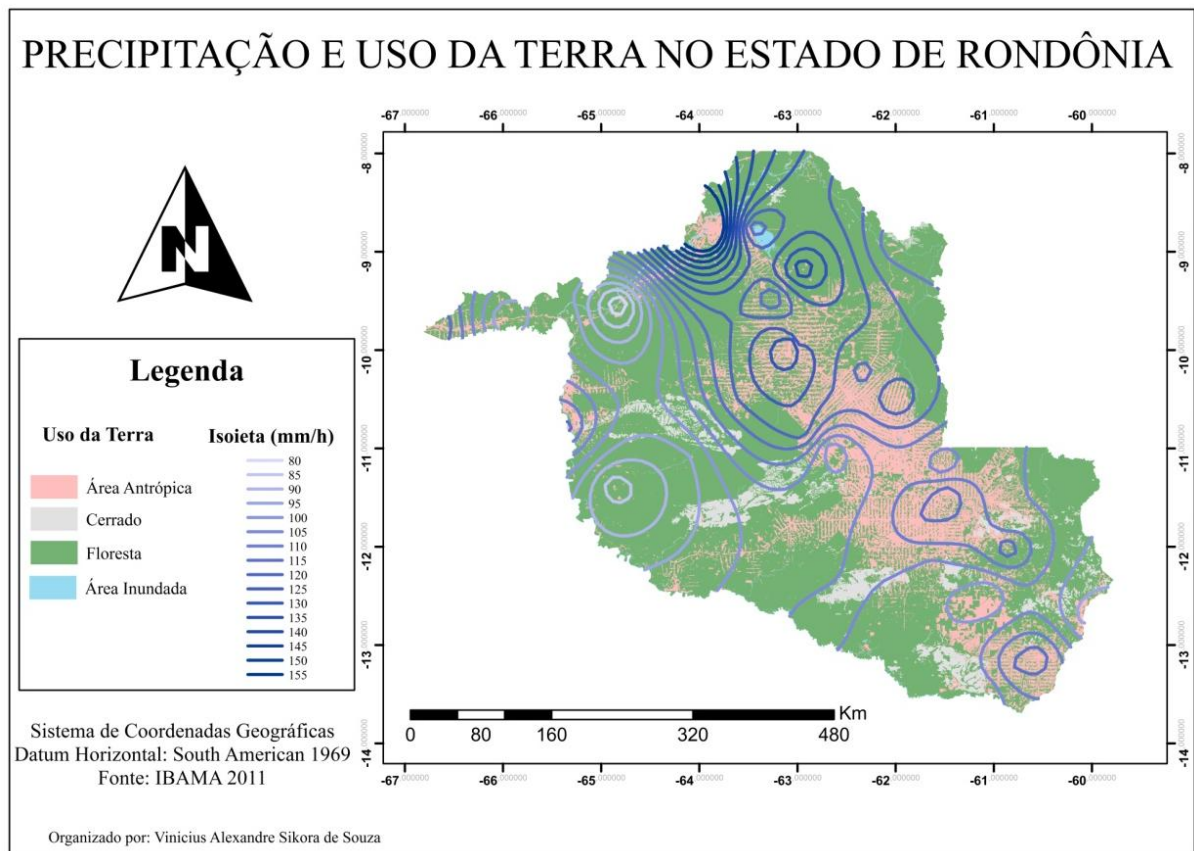
Outro fator notório é a inexistência de um padrão entre as intensidades extremas máximas e mínimas para as diversas localidades onde se encontram os pluviômetros analisados, sendo dois os elementos responsáveis por esta característica: as séries históricas que contemplam períodos diferentes, como se observa na Tabela 2; e os fenômenos meteorológicos presentes no estado que atuam na dinâmica do regime pluvial, tais como as altas convecções diurnas, a Alta da Bolívia, a Zona de Convergência Intertropical e as Linhas de Instabilidade (GAMA, 2003).

A Figura 7 exibe a distribuição das chuvas extremas mais intensas com maior recorrência em Rondônia, sendo essas com duração de 5 min e tempo de retorno de 2 anos, na forma de isoietas, destaca-se que precipitações dessas características é apontado por Brandão, Rodrigues e Costa (2001), como chuvas de alto fator erosivo, que podem acarretar danos de ordem ambiental e econômico. Além disso, ainda está presente nessa ilustração as características de uso e ocupação do solo do estado, segundo os dados colhidos por RADAM (BRASIL, 1978).

É possível observar na Figura 7, que as chuvas extremas com os atributos descritos acima, aumentam sua intensidade ao se aproximarem da região mais ao norte do estado, esse fato pode ocorrer devido à maior proximidade com a linha do equador, onde se encontra

presente uma zona de baixa pressão denominada de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Segundo Xavier et al. (2000), esse fenômeno propicia a formação de nuvens cúmulo-nimbo, sendo tal fator responsável por chuvas intensas sobre regiões tropicais como o Brasil. Nesse contexto, o trabalho de Xavier et al. (2003), destacou que as maiores intensidades registradas nas Bacias Hidrográficas do Ceará são função da ação da ZCIT.



**Figura 7** – Relação da precipitação máxima e uso e ocupação da terra no estado de Rondônia.

Ao relacionar o uso e ocupação do solo com as precipitações não se observa uma relação clara entre um uso predominante do solo e a minimização ou maximização dos eventos pluviométricos extremos.

A explicação de tal fato pode residir na falta de compreensão do ciclo hidrológico da Região Amazônica quanto à influência do desmatamento, pois Cohen et al. (2007) explicita a falta de consenso, na utilização de Modelos de Circulação Geral (MCG), quanto ao desmatamento da região amazônica provocar uma diminuição generalizada na precipitação desta mesma região.

Todavia ao examinar a região sudeste de Rondônia (FIGURA 7) nota-se uma leve redução na intensidade da chuva, o que pode ser gerado devido à presença de vários núcleos urbanos nessa região.

Esse fato acorda com o estudo de Werth e Avissar (2002), onde ao realizarem seis simulações climáticas, os mesmos observaram fortes reduções da precipitação, evapotranspiração e nebulosidade com o desmatamento na Amazônia. Sendo que, segundo os autores supracitados, tais mudanças são detectáveis em todo o planeta.

Assim, observa-se que a transformação das áreas florestadas em núcleos urbanizados possam influir na dinâmica de distribuição de chuvas. Como presume Nobre et al. (2004, apud COHEN et al., 2007), alterações dos ciclos da água, energia solar, carbono e nutrientes, resultantes da mudança no uso da terra na região amazônica podem provocar consequências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global.

Nesse contexto, o trabalho de Santos Neto, Moraes e Nóbrega (2010) aborda um notável decréscimo vertiginoso nos valores médios decadais da precipitação nesta mesma área, ao analisarem o impactos da ação antrópica na Região central de Rondônia, utilizando para tal uma série histórica de chuvas nos períodos de 1951 a 2008.

A influência do desmatamento nas precipitações do estado de Rondônia também foi observada por Butt, Oliveira e Costa (2011), os quais destacam a existência de uma mudança acentuada no tempo de início da estação chuvosa do estado, projetando atrasos de 18 dias para os próximos 30 anos, caso as características de mudança do uso do solo permaneçam.

A Tabela 9 fornece os dados das intensidades de precipitações máximas médias para as sete bacias hidrográficas do estado de Rondônia, sendo que esses eventos possuem as mesmas características da Figura 7, duração de 5 min e tempo de retorno de 2 anos.

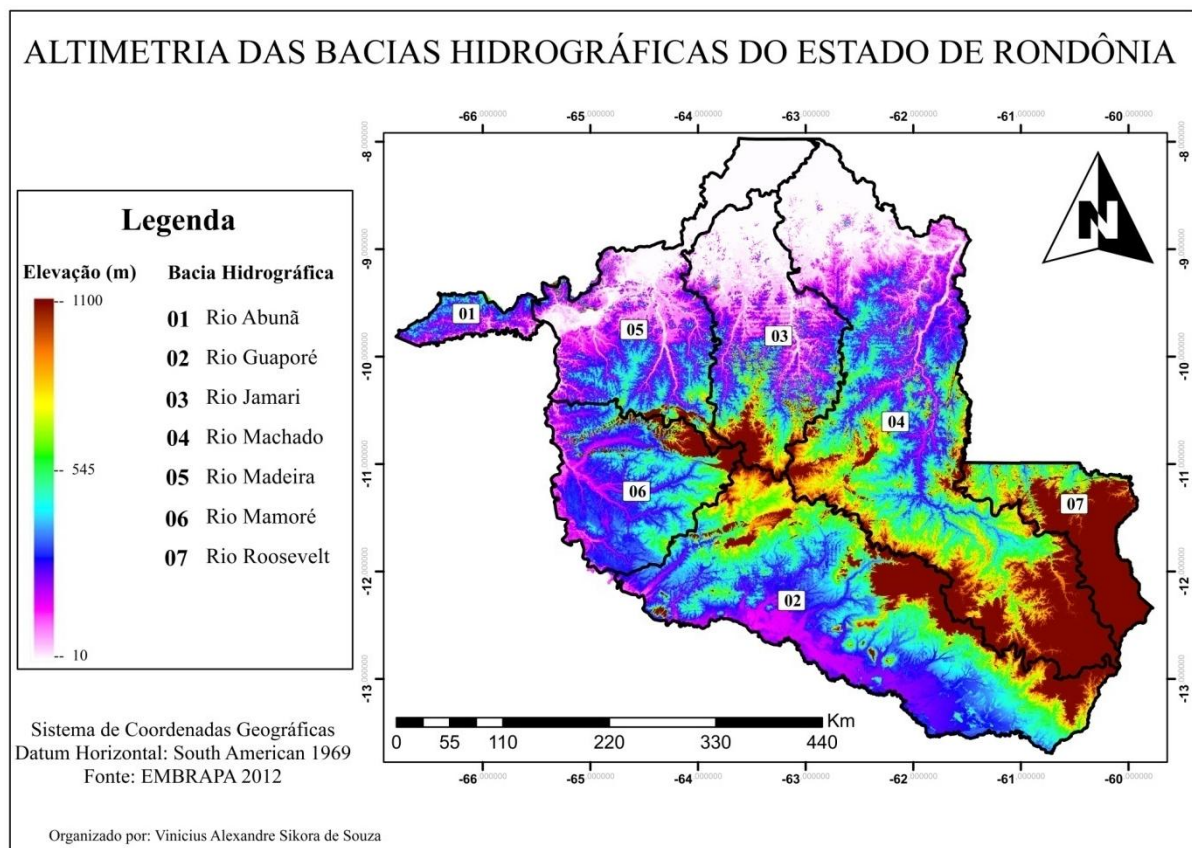
**Tabela 9** – Intensidades máximas médias para as Bacias Hidrográficas de Rondônia, calculadas pelas metodologias: Média Aritmética (M. A.), Isoietas e Polígonos de Thiessen (P. T.).

Bacia Hidrográfica	Intensidade Média (mm/h)		
	M. A.	Isoietas	P. T.
Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé	107,329	103,728	107,176
Bacia Hidrográfica do Rio Mamoré	98,103	95,540	95,732
Bacia Hidrográfica do Rio Abunã	104,170	101,476	113,624
Bacia Hidrográfica do Rio Madeira	118,956	109,820	110,874
Bacia Hidrográfica do Rio Jamari	120,390	124,634	110,864
Bacia Hidrográfica do Rio Machado	114,567	113,121	114,363
Bacia Hidrográfica do Rio Roosevelt	96,758	103,667	117,929

Ao relacionar os resultados de precipitação extrema média das Bacias Hidrográficas de Rondônia, obtidas pelos métodos de Média Aritmética (M. A.), Polígonos de Thiessen (P. T.) e Isoietas; denota-se que para a maioria das bacias analisadas os valores da distribuição dessa variável encontraram-se próximo nos diferentes métodos.

Segundo Braz et al. (2007), essa constatação indica que a disposição espacial das estações pluviométricas analisadas apresenta-se em forma homogênea na maioria das bacias hidrográficas (BRAZ et al., 2007).

Como exceção a esse fato, a Bacia Hidrográfica do Rio Roosevelt foi a que apresentou valores mais discrepantes, gerado devido à baixa densidade de pluviômetros nessa área (TIBÚRCIO; CASTRO, 2007). Além disso, esse fato também pode ter ocorrido devido a essa mesma região possuir transições de elevações mais bruscas, como pode ser visualizado na Figura 8, gerando dessa forma um terreno mais acidentado o que torna, segundo Tucci (2009), os valores de intensidade média da bacia hidrográfica, obtidos pela técnica de P. T. divergentes dos aferidos pelas isoietas.



**Figura 8** – Elevação das bacias hidrográficas do estado de Rondônia.

Nesse aspecto as regiões das bacias hidrográficas dos rios Machado e Madeira pela existência de extensas planícies, apresentaram os valores de intensidades médias mais próximas por essas técnicas.

Porém cabe ressaltar que as anomalias observadas na Tabela 9 não são estaticamente significativas, pois o valor-p obtido para o teste de K-W foi de 0,660, sendo este bem maior que o nível de significância estabelecido, o que denota que os resultados obtidos pelas diferentes técnicas são estatisticamente idênticos, resultado semelhante foi evidenciado pelo teste de Dunn, pois o mesmo indicou inexistência de diferenças em suas análises de pares, reforçando dessa forma que as diferenças observadas não são estatisticamente significativas.

Comparando a Figura 7 com a Figura 8, revela-se que a distribuição das chuvas máximas no Estado de Rondônia deslocam-se para as zonas de menores altitudes, dessa forma tal constatação discorda das tendências observadas no estudo de Costa et al. (2008), onde tais autores ao analisarem esse fenômeno em Portugal, verificaram que a distribuição das chuvas máximas variam localmente com a elevação, sendo que nas zonas de maior elevação encontravam-se as maiores precipitações. Assim, se pode observar que ao contrário de Portugal onde a pluviosidade extrema ocorre pelas chuvas orográficas, no estado de Rondônia essas são função da ZCIT, como já mencionado anteriormente.

Os dados explicitados na Tabela 9 revelam ainda que a Bacia do Rio Jamari apresenta eventos extremos de maior magnitude média quando comparadas as outras bacias hidrográficas, indicando assim que do ponto de vista do volume total das chuvas, há necessidade de maior preocupação com o controle de enxurradas e conservação do solo nessa localidade do estado de Rondônia (CARDOSO; ULLMANN; BERTOL, 1998).

Portanto, dadas as características da precipitação analisada, essa bacia hidrográfica está mais propensa a sofrer mudanças das características das pastagens; a perda de qualidade dos corpos hídricos, devido ao carregamento de sedimentos que prejudicam a vida das espécies de fauna aquática; a deterioração das estradas de terra; e perda de habitats e perda de biodiversidade local (CARVALHO, 2008).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou muitos resultados relevantes, uma vez que construiu as equações de chuvas intensas que poderão ser utilizadas como subsídio no dimensionamento de obras hidráulicas e em estudos hidrológicos.

O estudo realizado confirma que as equações propostas para estimar a intensidade das precipitações máximas são de grande aplicabilidade para as regiões dos municípios de Rondônia, apresentando alto grau de correlação com as variáveis relacionadas, duração e o período de retorno do fenômeno. Essa constatação foi realizada a partir de análises estatísticas e de comparações com dados da literatura, sendo possível verificar também o alto grau de confiabilidade da curvas IDF.

O trabalho denotou que o teste de aderência KS de forma geral forneceu uma expressiva aceitação na maioria das distribuições estatísticas testadas para os dados pluviométricos. No entanto, quando se relaciona as características físicas dos fenômenos pluviométricos extremos e as deduções teóricas quanto às propriedades distributivas da mesma, vislumbrou-se que a distribuição de Gumbel é mais indicada na modelagem desses eventos.

As séries históricas utilizadas revelaram que a média das chuvas máximas de “um dia”, no estado de Rondônia encontrou-se variando de aproximadamente 71,3 a 173,5 mm/dia. Além disso, observou-se que possíveis atuações de fenômenos climáticos como o *El Niño* e *La Niña* na região analisada podem ter gerado respectivamente as reduções e aumentos na ocorrência de eventos pluviométricos extremos.

Constatou-se nesse estudo que chuvas de alto fator erosivo, duração de 5 min e tempo de retorno de 2 anos, aumentam sua intensidade ao se aproximarem da região mais ao norte do estado, o que denotou que as mesmas são influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical. Ainda em relação a esses eventos verificou-se que a Bacia do Rio Jamari, quando comparada com as demais bacias hidrográficas do estado de Rondônia, apresenta chuvas extremas de maior magnitude média, indicando dessa forma a necessidade de maior



preocupação com o controle de enxurradas e conservação do solo nessa localidade do estado de Rondônia.

Para trabalhos futuros recomenda-se a instalação de estações pluviométricas com registros menores que um dia, a fim de confirmar os resultados obtidos, visto que os dados de precipitações menores que um dia foram obtidos de forma sintética, dessa forma podem não corresponder fielmente as características da região em estudo.

Além disso, aconselha-se que sejam instaladas estações pluviométricas na região mais ao norte de Rondônia, pois devido à inexistência nessa região, a mesma não foi contemplada como uma área de influência por alguma das equações estimadas.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. G.; VON RANDOW, C.; PRIANTE FILHO, N.; MANZI, A. O.; AGUIAR, L. J. G.; CARDOSO, F. L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 248-257, 2006.

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; RASCON, N. J. L.; LIMA, E. P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 354-358, 2011.

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. Piracicaba: USP, 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

ARANTES, E. J.; PASSIG, F. H.; CARVALHO, K. Q.; KREUTZ, C.; ARANTES, E. A. Análise das chuvas intensas da região noroeste do Paraná. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, n. Esp., p. 31-47, 2009.

ARAÚJO, R. D.; DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; ROSSKOFF, J. L.; TERRA, V. S. S.; GAYER, C. A. P.; FRAGA, D. S. Desempenho do teste Kolmogorov-Smirnov na seleção de modelos teóricos probabilísticos para predição da precipitação pluviométrica mensal provável na Bacia da Lagoa Mirim/RS. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2007, Pelotas. **Anais...**, Pelotas: FAEM, 2007.

ARGENTO, M. S. F.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento Geomorfológico. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia - Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Ed. Bertrand Brasil SA, Rio de Janeiro, 1996, p. 239-249.

BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.

BACK, Álvaro J.. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2009.

BARBOSA, S. E. S.; BARBOSA JÚNIOR, A. R.; SILVA, G. Q.; CAMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V. C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, Mar. 2005.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J.A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-147, 2003.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLE, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BITTENCOURT, H. R. **Comparação da discriminação logística com o método da máxima verossimilhança gaussiana na classificação de imagens digitais**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

BOOTS, B. N. **Concepts and techniques in modern geography: Voronoi (Thiessen) polygons**. Norwich, UK: Geo Books, 1986.

BORGES, L. C.; FERREIR, D. F. Poder e taxas de erro tipo i dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 67-83, 2003.

BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; COSTA, J. P. **Análise de fenómenos extremos precipitações intensas em Portugal Continental**. Lisboa: Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais. Folha SC – 20: Porto Velho**. Rio de Janeiro, v. 16, 1978.

BRAZ, R. L.; RIBEIRO, C. A. D.; FERREIRA, D. S.; CECILIO, R. A. Uso de séries históricas e técnicas de SIG no estudo da distribuição temporal e espacial da pluviosidade na bacia Barra Seca localizada ao norte do Estado do Espírito Santo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2007, São José dos Campos. **Anais...**, São José dos Campos: UNIVAP, 2007.

BUTT, N.; OLIVEIRA, P. A.; HEIL COSTA, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondônia, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. D11120, p. 1-8, 2011.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da Desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação de elementos de infiltração de águas pluviais na zona norte da cidade de Goiânia**. Goiânia: UFG, 2008. Dissertação (Mestrado em Geotécnica e Construção Civil), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2008.

CARVALHO, R. G. **Obtenção da curva intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas para a Bacia Hidrográfica do Igarapé Murupu, Boa Vista – RR**. Boa Vista: UFRR, 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais), Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – PRONAT, Universidade Federal de Roraima, 2007.

CASTRO, J. F. M. A importância da cartografia nos estudos de bacias hidrográficas. In: SEMANA DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS “O HOMEM E AS ÁGUAS”, 30., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2000.

CATALUNHA, J. M.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a série de precipitação pluvial do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F. F.; HOLLANDA, M. P.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 82-92, 2009.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. Cingapura: McGraw-Hill, 1988.

COHEN, J. C. P.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciencia e Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, 2007.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Apostila IPH/UFRGS, 2011. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila\\_hidrologia/apostila.html](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/apostila.html)>. Acesso em: 22 dez. 2011.

COSTA, A. C.; DURÃO, R.; PEREIRA, M. J.; SOARES, A. Using stochastic space-time models to map extreme precipitation in southern Portugal. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 8, p. 763–773, 2008.

CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia Durante o Século XX. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro, 2000. **Anais...**, Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas Intensidade-Duração-Frequência para Pelotas – RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 245-255, 2008.

DAUD, Z. M.; KASSIM, A.H. M.; DESA, M. N. M.; NGUYEN, V. **Statistical analysis of at-site extreme rainfall processes in Peninsular Malaysia**. In: LANEN H A J V, DEMUTH. FRIEND 2002 – Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice. United Kingdom: IAHS Publications, n.2 74, 2002.

DE OLHO NO TEMPO. 23:00 – ALERTA de chuva intensa para Porto Velho. Disponível em: <<http://www.deolhonotempo.blogspot.com/2007/02/2300-alerta-de-chuva-intensa-para-porto.html>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

DILL, P. R. J. **Gestão ambiental em bacias hidrográficas**. Santa Maria: UFSM, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Departamento de Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

ELIAS, Z.S.; LUIZ ALBERTON, L., VICENTE, E.F.R.; REBELLO, M.; BONIFÁCIO, R.C. Rateio dos custos indiretos: aplicação da análise de correlação e de regressão. **Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Comerciais da UERJ (online)**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, pp. 50-66, 2009.

ELTZ, F. L.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.265-269, 1992.

FELTRIN, R. M. **Comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico do solo em lisímetros de drenagem**. Santa Maria: UFSM, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

FIETZ, C. R.; COMUNELL, E. **Probabilidade de ocorrência de chuva em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

GAMA, M. J. Clima. In: **Atlas Geoambiental de Rondônia**. 2. ed. Porto Velho: SEDAM, 2003.

GRAPHPAD PRISM. **Graphpad Software Inc**. San Diego: [s.n.], 2007.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: SBMET, 2004.

GUMBEL, E. J. **Statistics of extremes**. New York: Dover Publications, 2004.

HAAN, C. T. **Statistical Methods in Hydrology**. Ames (IA): The Iowa University Press, 1977.

HERNANDEZ, V. Regionalização dos parâmetros de escala em chuvas intensas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13 n. 1, p. 91-98, 2008.

HERSFIELD, D. M.; KOHLER, M. A. An empirical appraisal of the Gumbel extreme value procedure. **Journal of Geophysical Research**, v. 65, n. 6, p. 1737-1746, 1960.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades por Unidades Federativas**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

LEOTTI, V. B.; BIRCK, A. R.; RIBOLDI, J. Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por simulação. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 11., 2005, Londrina. **Anais...**, Londrina: SEAEGRO, 2005.

LIMA, F. A. **Análise bayesiana de frequência de vazões máximas anuais com informações históricas: aplicação à bacia do rio São Francisco em São Francisco**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 475-483, 2001.

MINITAB. **Minitab Statistical Tab**. Pensilvânia: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 28 de Nov. de 2011.

MOOG, D. B.; JIRKA, G. H. Analysis of reaeration equations using mean multiplicative error. **Journal of Environmental Engineering**, v. 124, p. 104-110, 1998.

MOREIRA, P. S.; DALLACORT, R.; MAGALHÃES, R. A.; INOUE, M. H.; STIELER, M. C.; SILVA, D. J.; MARTINS, J. A. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Nova Maringá-MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 8, n. 1, p. 9- 20, 2010.

MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONOMO, P.; CHAVES, M. A. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 5, 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo horizonte: CRPM, 2007.

OLIVEIRA, J. P. B.; CECÍLIO, R. C.; XAVIER, A. C.; JASPER, A. P. S.; OLIVEIRA, L. B. Precipitação provável para Alegre-ES através da distribuição de probabilidade gama. **Engenharia**, v. 7, n. 2, p. 204-211, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S.; MORAIS, N. R. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 23-27, 2000.

PEREIRA, C. E. SILVEIRA, A.; SILVINO, A. N. O. Estudo de chuvas intensas e estimativa da equação IDF para a cidade de Barra do Bugres – MT. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 1., 2007, Cuiabá. **Anais ...**, Cuiabá: ABRH, 2007.

PEREIRA, S. C. **Sistema de Análise de Risco Operacional: Aplicação de modelos de risco operacional para empresas de produção e serviços não financeiros**. Brasília: UnB, 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação), Departamento de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2010.

PRAZERES FILHO, J.; VIOLA, D. N.; FERNANDES, G. B. Uso de teste de aleatorização para comparar dois grupos considerando teste não paramétrico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 19., 2010, São Pedro. **Anais...**, São Pedro: SINAPE, 2010.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGUETTI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 73-88, 1998.

PRIOSTE, M. A. O. **Bacia hidrográfica do rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável**. Rio de Janeiro, UERJ, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, Dec. 2004.

PUYOL, A. F. B.; VILLA, M. A. J. **Principios y fundamentos de la hidrología superficial**. Cidade do México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2006.

QUEIROZ, M. M. F.; SAMPAIO, S. C.; GOMES, B. M.; IOST, C. Estudo de vazões mínimas  $q_{1,10}$  e  $q_{7,10}$  de rios do Paraná segundo distribuição generalizada. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.3, p. 32-46, 2010.



RAGHUNATH, H. M. **Hydrology principles, analysis and design**. India: New Age International Ltd, 2006.

RELIASOFT – ReliaSoft Corporation. **Characteristics of the Weibull Distribution**. Disponível em: <<http://www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm>>. Acesso em: 03 dez. 2011.

REYNAUD, F. **Desagregação espacial estatística da chuva prevista pelo modelo atmosférico WRF**. Curitiba: UFPR, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2008.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Paulo: EESC/USP, 1998.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. F. Técnicas em Hidrografia. In: VENTURI, L. A.B. **Geografia: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula**. São Paulo: Ed. Sarandi, 2011.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim Climatológico de Rondônia – 2008**. Porto Velho: SEDAM, 2009.

ROSSA, S. R. L. G. S. **Contribuições para um uso mais eficiente da água no ciclo urbano: poupança de água e reutilização de águas cinzentas**. Porto: FEUP, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

SÁ, R. L. **Inventário de dados fluviométricos do estado do Espírito Santo**. Jerônimo Monteiro: UFES, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal), Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

SANTOS NETO, L. A.; MORAES, J. C.; NOBREGA, R. S. A Ação Antrópica na Região Central de Rondônia e a Resposta Climática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...**, Belém: SBMET, 2010.

SANTOS, I. A.; BUCHMAN, J. Uma Revisão Qualitativa Enfatizando Aspectos Climáticos da Amazônia e da Região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 33, n. 2, p. 09-23, 2010.

SHERMAN, G. E.; SUTTON, T.; BLAZEK, R.; LUTHMAN, L. **Quantum GIS User Guide – Version 1.7.2**. Seamus, 2011.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANASE, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 11, n. 1-4, p.7-14, 2003.

SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A.. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 22-33. 1999.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007.

SILVA, L. P.; ZUFFO, C. E. Recursos hídricos: conservando para o futuro. In: **Atlas Geoambiental de Rondônia**. 2. ed. Porto Velho: SEDAM, 2003.

SILVA, M. J. G.; SARAIVA, F. M.; SILVA, A. A. G. Estudo do Comportamento da Precipitação para o ano de 2005 no estado de Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...**, Belém: SBMET, 2010.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; CAVALCANTI, C. G. B.; SILVA, D. P. S.; SOARES, I. B.; OLIVEIRA, J. A. S. O.; SILVA, C. D. P. S. LAB Fit Ajuste de Curvas: um software em português para tratamento de dados experimentais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.26, n.4, p.419-29, 2004.

SILVINO, A. N. O.; SILVEIRA, A.; MUSIS, C. R.; WYREPKOWSKI, C. C.; CONCEIÇÃO, F. T. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 26, n. 4, p. 369-378, 2007.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional - IBEP, v. 1, 2009.

TIBÚRCIO, E. C.; CASTRO, M. A. H. Uma Aplicação de SIG para Determinação de Altura Pluviométrica Média em Bacias Hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ABRH, 2007.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcom, 1975.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia. Ciências e aplicação**. 4. Ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2009.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: Aldo da Cunha Rebouças; Benedito Braga; José Galizia Tundisi. (Org.). **Águas Doces no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Escrituras, 1999, v. 1, p. 475-508.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. 1. Ed. Porto Alegre: ABRH, 2007.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET/ Stilo, 2005.

VASCONCELLOS, S. L. B.; ANDRÉ, R. G. B.; PERECIN, D. Sequências de dias com e sem chuva no município de Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 2, p. 79-90, 1999.

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

WEBLER, A. D. ; AGUIAR, R. G. ; AGUIAR, L. J. G. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. **Revista Ciência e Natura**, v. Esp., p. 55-58, 2007.

WERTH, D.; AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 1-8, 2002.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27-43, 2000.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Interrelações entre eventos (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 111-126, 2003.

ZOLET, M. **Potencial de aproveitamento de água de chuva para uso residencial na região urbana de Curitiba**. Curitiba: PUC-PR, 2005. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

ZUFFO, C. E.; SILVA, L.P. O Caminho das águas. In: **Atlas Geoambiental de Rondônia**. 2. ed. Porto Velho: SEDAM, 2003.