

AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS DO ESTUDO DE VAZÃO MÁXIMA  
PROVÁVEL  
ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JI-PARANÁ/RO

Olivia de Castro Mercadante

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Rio de Janeiro

Junho de 2018

AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS DO ESTUDO DE VAZÃO MÁXIMA  
PROVÁVEL  
ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JI-PARANÁ/RO  
Olivia de Castro Mercadante

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

---

Prof. Daniel Andrés Rodriguez, Ph.D.

---

Prof. Marcio Cataldi, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JUNHO DE 2018

Mercadante, Olivia de Castro

Avaliação das Metodologias do Estudo de Vazão Máxima Provável -Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Ji-Paraná/RO/ Olivia de Castro Mercadante. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XIV, 155p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 125-131.

1. Precipitação Máxima Provável. 2. Cheia Máxima Provável. 3. Estudo Hidrometeorológico. I. Azevedo, José Paulo Soares de II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

*“Conhece-te, aceita-te, supera-te. ”*  
*Santo Agostinho*

## AGRADECIMENTOS

A PCE Engenharia, além do grande incentivo ao mestrado, por me darem essa grande base profissional e a honra de conviver com grandes engenheiros diariamente.

Ao Maximiliano Strasser, Eduardo Madeira e ao Ulmar Duarte, por sempre serem compreensivos e sempre compartilharem as datas mais importantes comigo.

Aos amigos de baia, Fernanda e Luís por fazerem todos os dias de trabalho serem mais agradáveis e divertidos.

A amiga Valéria Santana, pela paciência, pelas revisões, conselhos e especialmente por todos os cafés que compartilhamos. Tudo isso foi essencial, para esse trabalho, e para me tornar uma pessoa melhor. Obrigada pela amizade.

A Minha mãe, por tudo, principalmente por sempre apaziguar meu desespero, mas sem nunca me desmotivar e ao meu irmão, que poderá, finalmente, chamar-me de mestre.

Ao meu pai, pelas conversas motivacionais, por ler o texto – inúmeras vezes – e dizer achar interessante.

As minhas avós, por que vocês – as três – são as pessoas mais fortes, corajosas e motivadoras que eu conheço. São meus pilares e meus exemplos. Ao meu avô *in memoriam*, que se orgulharia muito de ter uma neta mestre em engenharia.

Aos meus grandes amigos – Lucas, Cecília, Carol, Camila, Grimaldi, Alexandre e Bernardo - que toleraram todas as minhas desculpas para desmarcar todos os eventos e encontros.

Por fim, ao meu marido, Felipe, por todos os almoços, jantares, louças e apoio para que essa dissertação ficasse pronta.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS DO ESTUDO DE VAZÃO MÁXIMA  
PROVÁVEL  
ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JI-PARANÁ/RO

Olivia de Castro Mercadante

Junho/2018

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Programa: Engenharia Civil

A definição de valores para vazões máximas de projeto sempre foi questionada dada a qualidade e quantidade de dados disponíveis. A maioria dos projetos considera a vazão de projeto relativa a probabilidade excepcional de um tempo de retorno definido, dependendo diretamente do risco associado. Apresenta-se neste trabalho avaliações das metodologias de determinação da cheia máxima provável considerando métodos estatísticos e hidrometeorológico, metodologia mais recomendada pela WMO. Com o objetivo de caracterizar os métodos estatísticos e hidrometeorológico, será apresentado o estudo de caso para a bacia do Rio Ji-Paraná. Conclui-se que o método hidrometeorológico representa um avanço em relação aos atualmente utilizados, uma vez que é consistente com o fenômeno físico e permite atribuir probabilidades às variáveis hidrológicas, resultando em valores de projeto mais realistas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ASSESSMENT OF THE METHODOLOGIES OF THE PROBABLE MAXIMUM  
FLOW  
CASE STUDY: JIPARANÁ RIVER WATERSHED/RO

Olivia de Castro Mercadante

June/2018

Advisor: José Paulo Soares de Azevedo

Department: Civil Engineering

Defining metrics when designing maximum flow has always been questioned due to the quality and quantity of the available data. Most designs consider the project flow in relation to the exceptional probability within a set time, with a direct correlation to the associated risk. This thesis displays an evaluation of the different methodologies to determine maximum probable flood, whilst taking in consideration statistical and hydrometeorological methods, in accordance to the recommendations of the WMO. In order to quantify and compare the various methods, a case study will be presented for the Ji-Paraná watershed. Lastly, it is concluded that the hydrometereological approach represents an advancement over the currently used techniques, since it is consistent with physical phenomena and allow the assignment of probabilities to hydrological variables, ultimately resulting in more realistic project values.

## INDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Justificativa: .....	3
1.2	Objetivos:.....	3
1.3	Organização do Trabalho .....	4
2	Revisão Bibliográfica .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1	Ciclo hidrológico .....	6
2.2	Hidrometeorologia e a composição do ar atmosférico .....	7
2.2.1	Umidade Atmosférica.....	8
2.3	Formação de tormentas .....	10
2.3.1	Chuvas Extremas .....	10
3	Precipitação Máxima Provável.....	12
3.1	Métodos Estatísticos .....	12
3.2	Métodos Hidrometeorológico .....	16
3.2.1	Conceituação Metodológica .....	17
3.2.2	Método de Estimativa da PMP .....	18
4	Vazão Máxima Provável e Probabilidade Excepcional de Cheia.....	28
4.1	Cheias de Probabilidade Excepcionais .....	28
4.1.1	Tempo de Recorrência ou Retorno.....	28
4.1.2	Distribuição de Gumbel.....	29
4.2	Modelos Chuva Vazão .....	31
4.2.1	Histórico .....	32
4.2.2	Classificações .....	34
4.2.3	Modelo SMAP - Soil Moisture Accounting Procedure.....	35
5	Bacia do Rio Ji-Paraná .....	35
5.1	Caracterização Fisiográfica da Bacia.....	36
5.1.1	Localização .....	36
5.1.2	Parâmetros Fisiográficos .....	39
5.1.3	Uso e Ocupação do Solo.....	42
5.1.4	Vegetação e Solos.....	44
5.1.5	Orografia.....	46
5.2	Caracterização Climática Da Bacia .....	47



5.2.1	Temperatura.....	49
5.2.2	Umidade Relativa .....	50
5.2.3	Evaporação .....	52
5.3	Regime Pluviométrico .....	55
5.3.1	Dados Utilizados .....	55
5.3.2	Regime de Chuvas .....	58
5.4	Caracterização Fluviométrica. ....	62
5.5	Vazões Extremas.....	68
5.5.1	Vazões Máximas Anuais .....	68
6	Precipitação Máxima Provável NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ .....	70
6.1	Modelo Hidrometeorológico na Bacia Ji-Paraná.....	70
6.1.1	Análises Isoietais .....	72
6.2	Processamento Básico dos Dados Pluviométricos.....	84
6.2.1	Preenchimento de Falhas .....	85
6.2.2	Alturas de Chuva Equivalentes Observadas.....	85
6.3	Estimativa do Ponto de Orvalho Histórico Persistente .....	86
6.4	Ponto de Orvalho Representativo dos Eventos Chuvosos .....	88
6.5	Cálculo do Fator de Maximização .....	88
6.6	Análises Isoietais – Transposição de Tempestades .....	90
6.7	Determinação das Curvas Altura – Área – Duração.....	91
6.8	Distribuição Temporal .....	94
6.9	Modelo de Hershfield .....	97
7	Simulação do modelo de chuva vazão.....	98
7.1	Calibração e Validação do Modelo.....	100
7.2	Cenários de simulação de cheias.....	105
7.2.1	Condições Pluviais Antecedentes .....	105
7.2.2	Posição da Chuva de Projeto na Sequência de Meses Chuvosos .....	107
7.3	Simulação da VMP .....	109
7.3.1	Estudo Estatístico .....	109
7.3.2	Estudo Hidrometeorológico.....	110
7.3.3	Simulação Final .....	113
8	Considerações Finais .....	116

8.1	Análise Da Vazão Máxima Provável Estimada .....	116
8.1.1	Método de Hershfield .....	116
8.1.2	Método Hidrometeorológico .....	116
8.1.3	Comparativo geral .....	117
8.2	Considerações e Recomendações .....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de Balanço Hídrico .....	7
Figura 2 - Mapa climático do Brasil de acordo com a classificação climática de Köppen .....	11
Figura 3 - K em função da duração da chuva e da média das precipitações .....	14
Figura 4 - Ajuste da média das séries anuais para valores atípicos (WMO, 2009).....	14
Figura 5 - Ajuste do desvio padrão das séries anuais para valores atípicos .....	15
Figura 6 - Ajuste da média e do desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da série.....	15
Figura 7 - Normais Climatológicas – Período(1961-1990) .....	20
Figura 8 - Envoltória do Ponto de Orvalho Máximo      Fonte: WMO, 2009.....	22
Figura 9 – Diagrama Psicométrico - Cálculo do Ponto de Orvalho .....	23
Figura 10 - Curva de Área x Altura de Chuva e Duração .....	26
Figura 11 - Localização da Bacia do Rio Ji-Paraná.....	38
Figura 12 - Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia .....	43
Figura 13 - Vegetação do Estado de Rondônia .....	45
Figura 14 - Temperatura em Porto Velho – Normais Climatológicas (1961-1990).....	50
Figura 15 - Umidade Relativa Histórica – Normais Climatológicas (1961-1990).....	51
Figura 16 - Umidade Relativa Sinótica - Normais Climatológicas (1961-1990).....	52
Figura 17 - Umidade Relativa Mensal - Normais Climatológicas (1961-1990) .....	52
Figura 18 - Evaporação Total Mensal .....	53
Figura 19 - Localização das Estações Meteorológicas .....	56
Figura 20 - Precipitação Total Anual no Brasil.....	59
Figura 21 - Dados Mensais das Estações Ji-Paraná (1975-1997) e Tabajara (1978 - 2016) .....	60
Figura 22 - Precipitação Total Mensal nas Estações Ji-Paraná e Tabajara .....	61
Figura 23 - Histórico de Dias de Chuva na Estação .....	62
Figura 24 - Curva Chave Estimada para a Estação Tabajara .....	63
Figura 25 - Comportamento Hidrológico do Rio Ji-Paraná .....	64
Figura 26 - Fluviograma de Vazões Médias Diárias na Estação Tabajara.....	66
Figura 27 - Ajuste de Gumbel .....	69
Figura 28 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 5 dias .....	73
Figura 29 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 10 dias .....	74
Figura 30 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 15 dias .....	75
Figura 31 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 20 dias .....	76
Figura 32 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 5 dias .....	77
Figura 33 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 10 dias .....	78
Figura 34 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 15 dias .....	79
Figura 35 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 20 dias .....	80
Figura 36 - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 5 dias .....	81
Figura 37 - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 10 dias .....	82
Figura 38 - - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 15 dias .....	83
Figura 39 - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 20 dias .....	84
Figura 40 -Envoltórias dos valores mensais do ponto de orvalho histórico persistente, para Porto Velho, período de 1961 a 2016.....	87
Figura 41 - Exemplos dos Tipos de Núcleos de chuva posicionados sobre uma região de estudo.....	91
Figura 42 - Curvas Altura - Área – Duração .....	93
Figura 43 - Envoltórias da Curva AAD.....	94
Figura 44 - Hietograma com 5 Dias de Duração .....	96

Figura 45 - Hietograma com 10 Dias de Duração .....	96
Figura 46 - Hietograma com 15 Dias de Duração .....	96
Figura 47 - Hietograma com 20 Dias de Duração – .....	96
Figura 48 - Resultado da Calibração do Modelo SMAP - Período de 06/1998 a 05/2009 .....	102
Figura 49 - Validação 1 - Período (10/1993 a 12/1995).....	103
Figura 50 - Validação 2 - 06/2012 a 05/2014.....	104
Figura 51 - Validação 3 - Período (10/2017 a 12/2016).....	104
Figura 52 - Precipitação Mensal dos Eventos Chuvosos.....	106
Figura 53 - Alternativas Propostas e Simulações a serem consideradas .....	108
Figura 54 - Alternativas Propostas e Simulações a serem consideradas .....	108
Figura 55 - Posicionamento do Núcleo na Condição Antecedente .....	109
Figura 56 - Hidrograma da VMP.....	110
Figura 57 - Resultado do Modelo para Diferentes Durações .....	111
Figura 58 - Resultado do Modelo para Diversos Posicionamentos da PMP .....	112
Figura 59 - Resultado do Modelo para diferentes condições Antecedentes.....	113
Figura 60 - Simulação Condição Antecedente 1990-1991 .....	114
Figura 61 - Simulação para condição antecedente 2013-2014.....	114
Figura 62 - Resultado da Simulação Final .....	115
Figura 63 - Análise de Sensibilidade da VMP de Tabajara.....	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação da vazão de projeto de acordo com o risco .....	1
Tabela 2 - Fator de correção da PMP devido à área de drenagem .....	16
Tabela 3 - Tabela de Cálculo da Precipitação Máxima .....	27
Tabela 4 - Tabela de Risco em função da vida útil e do período de retorno .....	29
Tabela 5 - Classificação da declividade segundo EMBRAPA - .....	40
Tabela 6 - Estações Climatológicas.....	48
Tabela 7 - Evaporação Média Total Mensal na Estação Cachoeira do Samuel (mm) Período 1989 - 1998 .....	53
Tabela 8 - Coeficiente (Kp) para o Tanque Classe A.....	54
Tabela 9 - Valores de Evapotranspiração Mensal .....	55
Tabela 10 - Estações Pluviométricas da Bacia do Ji-Paraná e Entorno .....	57
Tabela 11 - Estação Fluviométrica do Estudo .....	62
Tabela 12 - Vazões Médias Mensais .....	65
Tabela 13 - Vazões Médias Diárias Máximas na Estação Tabajara e Tempos de Recorrência.....	68
Tabela 14 - Parâmetros Estatísticos da Série de Vazões Máximas Anuais na Estação Tabajara .....	69
Tabela 15 - Vazões Máximas Anuais Calculadas pelo Método de Gumbel .....	70
Tabela 16 - Eventos Chuvosos Críticos.....	71
Tabela 17 - Ponto de Orvalho Histórico Persistente.....	87
Tabela 18 - Pontos de Orvalho de Referência para os Eventos Críticos .....	88
Tabela 19 - Ponto de Orvalho Persistente e Água precipitável total contida na Atmosfera .....	89
Tabela 20 - Valores Estimados para o Fator de Maximização – Porto Velho.....	90
Tabela 21 - Cálculo da PMP .....	94
Tabela 22 - Valores Máximos Diários Anuais .....	97
Tabela 23 - Dados Estatísticos da amostra .....	98
Tabela 24 - Parâmetros de Qualidade de Calibração do Modelo SMAP .....	102
Tabela 25 - Indicadores de Qualidade de Validação .....	105
Tabela 26 - Data de Início da Chuva de Projeto - Alternativa 2 .....	107
Tabela 27 - Data de Início da Chuva de Projeto – Alternativa 3.....	107
Tabela 28 - Dados de VMP para Diversos Empreendimentos .....	118
Tabela 29 - Resultados do Métodos .....	120
Tabela 30 - Configurações de Thiessen realizadas.....	151

## 1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de obras de hidráulica e de arte como vertedouros, canais e pontes, é realizado em função da vazão do projeto, sendo esta baseada em métodos estatísticos ou sintéticos. As Cheias de projeto são usualmente determinadas através de séries observadas e análises de probabilidade. (BURGUER, 2014)

O critério utilizado no dimensionamento de cada obra deve considerar o custo e o risco inerentes a cada empreendimento, de forma a estabelecer um ponto de equilíbrio entre o orçamento e a segurança do mesmo.

Obras hidráulicas, como barragens, são vinculadas a Lei de Segurança de Barragens, que estipula padrões de segurança relativos aos impactos e a possibilidade de ruptura das mesmas, sendo considerados danos econômicos, sociais e ambientais, dependendo da região passível de ser afetada. A Tabela 1 mostra a classificação de consequência de ruptura da estrutura e o critério para sua cheia de projeto (CBDB, 2001).

**Tabela 1- Classificação da vazão de projeto de acordo com o risco**

<b>Consequência da Ruptura</b>	<b>Perdas Vitais</b>	<b>Dano Econômico Social e Ambiental</b>	<b>Cheia Afluente de Projeto</b>
<b>Muito Alta</b>	Significativa	Excessivo	Cheia Máxima Provável (VMP)
<b>Alta</b>	Alguma	Substancial	Cheia Excepcional (Tr=10.000 anos)
<b>Baixa</b>	Nenhuma	Moderado	-
<b>Muito Baixa</b>	Nenhuma	Nenhum	-

Fonte: **CBDB (2001)**

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2009) a Precipitação Máxima Provável (PMP) é a altura de chuva teórica correspondente a uma duração fisicamente passível de ocorrência sobre uma dada área de drenagem em uma dada época do ano. Pode-se dizer que a PMP é a máxima precipitação para uma determinada duração condicionada as piores condições meteorológicas e orográficas.

Sendo a determinação da precipitação máxima provável um estudo que agrega uma segurança ao projeto, dado a baixa probabilidade dessa chuva, em consequência menor é o risco agregado a obra.

Dentre os métodos indicados pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) há os sintéticos, o método estatístico e o método hidrometeorológico. As séries sintéticas são mais indicadas quando na bacia hidrográfica há inexistência de dados. Os métodos estatísticos e os hidrometeorológicos já fazem uso dos dados observados na bacia.

É também necessário considerar a existência de outras variáveis com grande importância no dimensionamento, sendo as mais imprescindíveis, a disponibilidade e a qualidade dos mesmos. Existe um grande número de estações Pluviométricas e Fluviométricas no Brasil, entretanto, existem poucas estações meteorológicas e muitas vezes, o histórico destas não é acessível.

Importante observar que cada método apresenta vantagens e limitações. Os métodos sintéticos, que não serão abordados nesse trabalho, oferecem resultados mais práticos, mas muitas vezes superestimam os resultados.

A análise estatística das chuvas é um método que não demanda uma grande quantidade de trabalho, entretanto, limita-se a área, a disponibilidade de dados e a qualidade dos mesmos. Dado que a leitura de dados possui uma série de inconsistências que são agregadas ao estudo.

A análise meteorológica consiste basicamente na maximização de condições extremas, isso é, através de parâmetros meteorológicos como umidade e temperatura, cria-se um fator maximizador de grandes tormentas.

Burger (2014) afirma que através dos modelos do tipo chuva-vazão, transforma-se a Precipitação Máxima Provável em Cheia Máxima provável. Isso é, criam um hidrograma máximo teórico associado a bacia e as condições meteorológicas do ano.

Acrescenta-se também que os principais fatores que contribuem para as condições das cheias são fisiográficos (a forma, relevo, solo e orografia da bacia de estudo), os fatores climatológicos, isso é, a temperatura e a umidade do ar e do solo e, por fim, a distribuição temporal e espacial da precipitação na bacia.

Portanto, entende-se que um modelo que leve em consideração a variabilidade climática, a distribuição espaço-temporal das chuvas e as fisiografias das bacias, irá representar melhor a vazão máxima provável.

## 1.1 Justificativa:

O potencial hidrelétrico Brasileiro é estimado em cerca de 260GW, dos quais 40,5% estão localizados na Bacia Hidrográfica do Amazonas (ANEEL, 2007). Cada hidrelétrica a ser construída tem um grande Risco Associado.

Com isso, é imperativo analisar os possíveis métodos de reduzir os riscos. Para tal, apresentam-se os métodos estatísticos e hidrometeorológicos para estimar a vazão de projeto.

Apesar de ser recomendado em inúmeros casos, o estudo de Precipitação Máxima Provável e consequentemente de Cheia Máxima Provável, não existem muitos estudos em bacias brasileiras.

Existe uma grande dificuldade de obtenção de dados, que apesar de, em sua grande maioria serem públicos, muitos não são disponibilizados.

Os métodos estatísticos possuem algumas limitações, tais quais a área da bacia (não é recomendada para bacias maiores que 1000km<sup>2</sup>) e o fato de não incorporar parâmetros meteorológicos da região. A WMO (2009) recomenda o método hidrometeorológico para o cálculo de cheia de grandes projetos, o que o confere maior confiabilidade.

Com isso, justifica-se esse trabalho, como uma análise das metodologias possíveis a serem realizadas.

Em virtude do cenário apresentado, justifica-se um estudo aprofundado sobre as análises das metodologias possíveis de serem realizadas bem como o levantamento de dados e parâmetros necessários a cada estudo.

## 1.2 Objetivos:

Os objetivos gerais são a Verificação da aplicabilidade dos métodos recomendados pela Organização Mundial de Meteorologia para determinação de Precipitações e Vazões Máximas Prováveis no caso de grandes bacias hidrográficas.

.



Como objetivos específicos, propõem-se:

- Analisar os dados necessários para aplicar o método hidrometeorológico;
- Avaliar as limitações e vantagens de cada modelo;
- Determinar qual método é capaz de fornecer maior segurança ao projeto;
- Comparar os métodos com o cálculo da Vazão com probabilidade excepcional de retorno de dez mil anos

### 1.3 Organização do Trabalho

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, conforme descrito a seguir,

Além deste capítulo introdutório

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica: Esse capítulo faz uma breve revisão dos tópicos levantados para esse estudo, abordam-se temas como o Ciclo hidrológico. Uma breve revisão de Meteorologia e composição atmosférica e, por fim, a formação de tormentas e chuvas extremas.

Capítulo 3 - Precipitação Máxima Provável: Esse aborda os métodos apresentados no estudo de caso e explica detalhadamente a metodologia a ser aplicada.

Capítulo 4 - Método de Estimativa da PMP – Esse capítulo apresenta uma possível metodologia de cálculo da vazão decamilenar e faz uma breve pincelada sobre os modelos chuva-vazão disponíveis.

Capítulo 5 - Bacia do Rio Ji-Paraná – Capítulo introdutório do estudo de caso, apresenta subsídios necessários para realização do estudo de Precipitação Máxima Provável. São abordados temas como Fisiografia, Caracterização climática, pluviológica e fluviológica, bem como o cálculo de vazões extremas.

Capítulo 6 - Estudo Precipitação Máxima Provável –Apresentam-se os resultados dos métodos propostos no capítulo 2.

Capítulo 7 – Simulação da VMP – Esse item aborda a calibração do Modelo Chuva-Vazão e todas as simulações possíveis para o cálculo da VMP

Capítulo 8 – Considerações Finais – Faz uma breve referência aos estudos realizados e apresenta as considerações gerais desse estudo.

As publicações consultadas para o desenvolvimento da dissertação estão

Relacionadas no final do texto.

Os Apêndices 1, 2 e 3 tratam da apresentação do Modelo SMAP, da Lei Complementar nº 233, de 06 de junho de 2000 e de uma descrição detalhada da vegetação local.

Também são anexados os seguintes arquivos

Anexo 1 – Tabela de dados da WMO – 2009

Anexo 2 – Disponibilidade de dados Pluviométricos e Fluviométricos

Anexo 3 – Dados dos Thiessens realizados.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Ciclo hidrológico**

Entende-se por hidrologia a ciência que estuda a disposição, movimento e ocorrência da água na atmosfera, superfície e solo do planeta terra, isso é, procura explicar e quantificar a dinâmica do balanço hídrico para qualquer escala espacial definida (de um ponto para o global) e temporal (de segundos para anos) e suas relações com o transporte físico e químico da matéria através do ciclo hidrológico e com a ecologia (LEE, 1992).

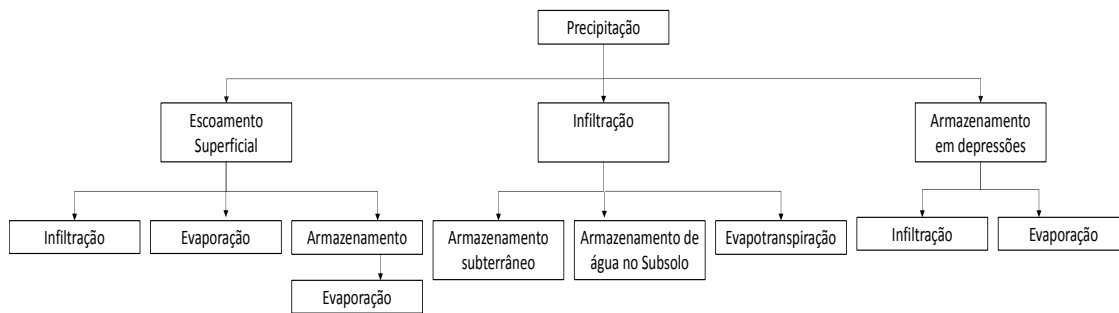
A água se encontra em um eterno movimento cíclico movido pela força da gravidade e pela rotação da terra tendo como principal combustível a energia do sol. O conjunto de caminhos pela qual a água circula pela natureza é conhecido como ciclo hidrológico LIMA (2008).

Segundo LIMA (2008), o ciclo hidrológico, é mais do que uma simples sequência de processos, constitui-se de um conjunto de fases que compõem um sistema global. Tais forma de movimentação são quantificadas pelo balanço hídrico.

A precipitação segundo Occhipinti (1989) é resultado da força da gravidade nas partículas presentes na atmosfera, essa precipita-se nos solos ou rios e oceanos. A energia fornecida pela luz solar muda o estado físico da água e a faz retornar para atmosfera, fenômeno conhecido como precipitação.

Da parcela de água que atinge o solo, parte infiltra-se e quando este se encontra saturado, a outra transforma-se em escoamento superficial. A evaporação também age na parcela retida pelo solo e quando essa ocorre através das plantas, chama-se evapotranspiração. Por fim, quando a água é capaz de escoar para os rios e oceanos, fecha-se o ciclo.

A Figura 1 ilustra o diagrama do balanço hídrico. Considerando um sistema hidrológico formado por uma bacia hidrográfica que é delimitada por divisores de água e o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, o exutório.



**Figura 1 – Fluxograma de Balanço Hídrico**

**Fonte:** RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, R.K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY

Pode-se equacionar o balanço hídrico pela equação 1.

$$P - E - Q \pm \Delta S = 0 \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

P - Precipitação;

E - Evapotranspiração;

Q - Escoamento;

$\Delta S$  - armazenamento total da bacia, como a água retida na superfície (poças), umidade do solo (soma da água na região não saturada, ou seja, na região vadosa e na franja capilar) e água subterrânea (zona saturada).

## 2.2 Hidrometeorologia e a composição do ar atmosférico

Segundo Villela e Mattos (1975) o regime hidrológico de uma região é determinado por características físicas, geológicas, topográficas e por seu clima. Entende-se que os fatores climáticos mais importantes são a precipitação e a evaporação. A chuva é principal *input* do balanço hidrológico de uma região, já a evaporação influencia na redução do escoamento superficial.

Occhipinti (1989) prega que a hidrometeorologia compreende principalmente os balanços hídricos e energéticos que se verificam entre a atmosfera e a superfície terrestre, a termodinâmica da atmosfera, o mecanismo das perturbações meteorológicas, a física e a distribuição espaço temporal das precipitações.

Para compreender toda a dinâmica hídrica energética, faz-se necessário compreender a dinâmica meteorológica da atmosfera. TUCCI (1998), conceitua o ar atmosférico como uma mistura de gases constituída de ar seco acrescido do vapor d'água. Nas condições de pressão e temperatura observadas na atmosfera, essa mistura comporta-se como um gás perfeito.

Na composição volumétrica desse ar destacam-se o oxigênio e o nitrogênio com aproximadamente 20,95% e 78,08%. Essas proporções mantêm-se constante com a variação atmosférica, porém a porcentagem do vapor d'água varia no espaço e no tempo, conforme será visto.

### *2.2.1 Umidade Atmosférica.*

A umidade atmosférica é o elemento essencial do ciclo hidrológico. Ela é a fonte de todas as precipitações e controla a taxa de evaporação dos solo e reservatórios, bem como a evapotranspiração de animais. (TUCCI, 1988)

A umidade do ar refere-se ao vapor d'água na atmosfera, não levando em consideração a água nos estados líquido e sólido. Segundo em Blair e Fite (1964), pode ser definida como sendo a razão entre a quantidade de vapor de água presente no ar e a quantidade de vapor de água necessária para a saturação do ar, sob condições constantes de temperatura e pressão.

Para compreender melhor a questão da umidade admite-se uma superfície d'água plana contida em um sistema fechado. Fornecendo-se energia ao sistema, a água irá evaporar transformando-se em vapor d'água. Com isso, as moléculas de vapor d'água irão exercer uma pressão máxima chamada tensão saturante de vapor que é função proporcional a uma temperatura  $T$ .

Com isso, para uma dada temperatura existe uma quantidade máxima de vapor d'água  $e_s$ , que o ar pode conter. Quando um certo volume de ar a uma dada temperatura atinge essa quantidade máxima, diz-se que o vapor é saturante.

Os valores da tensão saturante de vapor  $e_s$  podem ser obtidos por meio de aproximações em função dos valores da temperatura do ar  $T$  e a partir de formulas presente na equação 2, como a de Tetens (Occhipinti, 1989):

$$e_s = 6,11 \times 10^{\frac{a \times T}{b+T}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$e_s$  é a tensão saturante do vapor em mb;

T é a temperatura do ar e °C;

a e b são constantes, sendo a= 7,5 e b=237,3 para água e a=9,5 e 265,5 para o gelo.

Segundo Villela e Mattos (1975) os principais índices de umidade utilizados são a umidade absoluta, a umidade específica, a umidade relativa e principalmente a temperatura de orvalho.

- Umidade Absoluta ( $\rho_v$ ): é a relação entre massa de vapor d'água e volume do ar que a contém..

$$\rho_v = \frac{m_v}{V} \quad \text{Equação (3)}$$

- Umidade Específica: É a razão entre massa de vapor d'água e a massa de ar úmido de densidade  $\rho$ .

- Umidade Relativa (U): é a relação percentual que expressa a quantidade real de vapor d'água em termos relativos ao valor de saturação para mesma temperatura

$$U(\%) = 100 \times \frac{e}{e_s} \quad \text{Equação (4)}$$

- Temperatura do Ponto de Orvalho: É a temperatura,  $T_d$ , com à qual o ar deve ser resfriado de forma isobárica, para tornar-se saturado. Isso é, é a temperatura a qual o vapor de água que está em suspensão no ar começa a se condensar
- Temperatura do Bulbo Seco e Úmido: Uma forma de estimar a evaporação e a umidade do ar é através do bulbo seco (t) e do bulbo úmido ( $t_m$ ). Entende-se como temperatura do bulbo seco a temperatura aferida em um termômetro comum. Para se obter a temperatura do bulbo úmido, cobre-se o bulbo do termômetro com um algodão embebido com água destilada. Esse deve ser posicionada em local ventilado e coberto.

As análises desses parâmetros atmosféricos são importantes dado que as evoluções desses parâmetros na atmosfera determinam a Estabilidade das massas de ar atmosféricas.

## 2.3 Formação de tormentas

A principal fonte formadora da tormenta, é a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Essas provem da quantidade de água precipitável contida em uma massa de ar. A quantidade de d'água precipitável é definida como a altura de água equivalente a condensação de todo vapor d'água em uma coluna de ar úmido. (Occhipinti, 1989):

A estimativa da água precipitável máxima pode ser feita por sondagens aerológicas realizadas por aerosondas que fornecem os parâmetros de necessários ao longo de uma coluna de ar vertical. Entretanto, no Brasil, não existe uma rede de estação de sondagens capaz de fornecer um dado com qualidade para realizar tais cálculos.

Dessa forma, faz-se necessário utilizar as redes meteorológicas de superfície. A hipótese primordial para esse cálculo é considerar que nas ocorrências das maiores precipitações, as massas de ar estejam sempre saturadas desde a superfície até a alta troposfera. Com isso, considera-se que a distribuição de umidade na coluna vertical, pode ser representada pela temperatura de orvalho na superfície, isso é:

$$e = \frac{U}{100} e_s(T) \quad \text{Equação (5)}$$

Conhecendo-se a temperatura do ar  $T$ , e a umidade relativa, pode-se estimar  $e$ .

Com isso, para determinar a água precipitável faz-se uso das tabelas e ábacos para determinação da água máxima precipitável em função do ponto de orvalho representativo a 1000 mb e em diferentes pressões da coluna.

O Anexo 1 apresenta a tabela do manual WMO, 2009.

### 2.3.1 Chuvas Extremas

Para estimar o tipo de chuva extrema, deve-se ter em mente a amplitude do Brasil, bem como os diversos tipos de clima que estão presentes, como mostra a Figura 2.

Segundo Serra, (1960) os principais tipos de perturbações meteorológicas capazes de gerar uma precipitação extrema no Brasil são os sistemas frontais, os Sistemas de Mesoescala e as perturbações tropicais, sendo que esses não são independentes e podem ocorrer de forma combinada.



**Figura 2 - Mapa climático do Brasil de acordo com a classificação climática de Köppen**  
**Fonte: Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G. (2013)**

Alguns tipos de chuva são mais propensos a gerar eventos extremos que outros. Os sistemas frontais prevalecem no sul e centro sul do país, tem grande escala e podem durar dias. Já as trovoadas de convecção térmica, são de curta geração e caem em pancadas.

Geralmente são tormentas tropicais as perturbações que geram os tipos de precipitação mais apropriados para avaliação da precipitação máxima provável em grandes bacias nas regiões tropicais e equatoriais.



### 3 PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL

Conforme foi mencionado, a PMP pode ser entendida como a maior altura pluviométrica fisicamente possível em uma bacia, em uma época do ano, considerando as piores condições meteorológicas e a orografia.

Essa definição permite supor a existência de um limite superior de precipitação, que representaria uma altura de chuva máxima na atmosfera terrestre. Entretanto essa altura não é necessariamente a PMP, uma vez que essa é determinada por condições hidrometeorológicas e hidrológicas compatíveis com a disponibilidade de dados e informações de estudo. O conceito da tormenta máxima provável não deve ser entendido como um limite máximo, mas como uma chuva de probabilidade admissível muito baixa, quase nula. (WMO,2009)

Nesse item serão apresentadas as revisões metodológicas do método estatístico e do Método hidrometeorológico.

#### 3.1 Métodos Estatísticos

O método estatístico é usado para obter a precipitação máxima provável (PMP) em áreas pequenas ( $< 1.000\text{km}^2$ ). Apesar do método ser uma análise de frequência, difere das análises tradicionais em dois aspectos: Inicialmente, essa concentra-se em uma macrorregião em vez de focar em uma única estação ou bacia hidrográfica, permitindo estimar uma tempestade que se aproxime do limite máximo possível da precipitação. Em segundo, os métodos de análise de frequência são usados para determinar as estatísticas de extremos, enquanto esse método envolve a aplicação do processo de envoltória.

A WMO (2009) recomenda o método hidrometeorológico, contudo, na ausência de informações climatológicas, o método estatístico indicado é o Hershfield.

No método estatístico, proposto por Hershfield (1961) a PMP é derivada de dados de várias estações pluviométricas de uma zona considerada meteorologicamente homogênea, utilizando o método de análise de frequência hidrológica, juntamente com o método regional generalizado.

Esse método se baseia na maximização do fator de frequência, na equação 6, proposta por Chow, (1964):

$$X_T = \bar{X}_n + (K_T \times S_n) \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

- $X_T$  Corresponde à chuva com tempo de recorrência  $T$ ;
- $\bar{X}_n$  e  $S_n$  são a média e o desvio padrão da série de  $n$  elementos da série de chuva anual para uma duração
- $K_T$  é um fator de frequência

Se a PMP observada  $X_T$  é a PMP, então teremos  $X_{PMP}$  relativa um  $K_T$  - fator de frequência único que não será superado – o  $K_M$ , portanto, tem-se:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + (K_m \times S_n) \quad \text{Equação (7)}$$

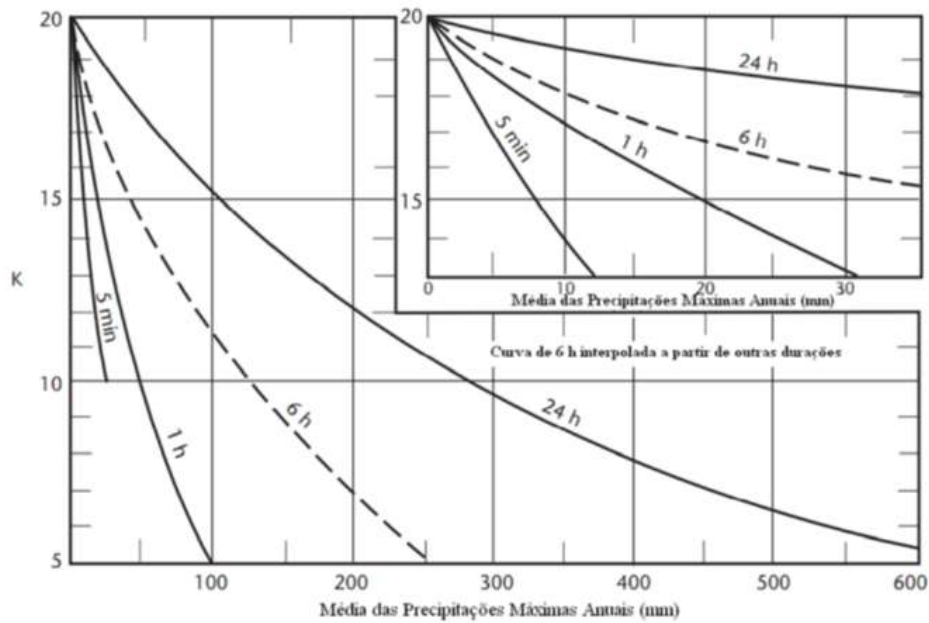
A determinação de um fator de frequência foi realizada com base no comportamento de chuvas com 24 horas de duração e na observação de 2700 estações meteorológicas nos Estados Unidos.

O Manual da WMO (2009) relata que o maior valor de  $K_m$  estimado pelas estações analisadas foi igual a 15. O que levou a um pensamento que o fator de frequência independia da precipitação. Contudo, estudos posteriores comprovaram que o fator de frequência varia de forma inversamente proporcional as chuvas, de forma que o valor fixo 15 poderia ser alto para áreas úmidas e irrisório para regiões áridas, além de ser alto para precipitações inferiores a 24 horas.

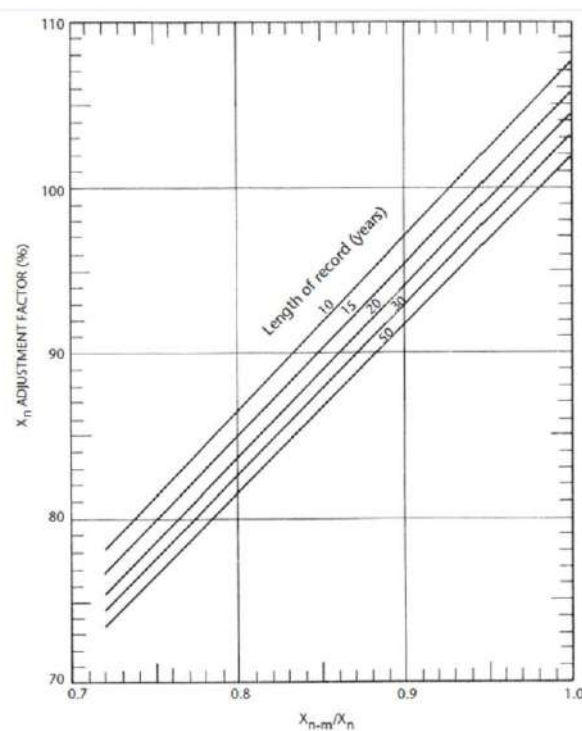
Baseado nisso, Hershfield definiu as envoltórias para diversas durações como 5 minutos, 1 hora e 24 horas, no qual  $K_m$  é determinado a partir da média das precipitações e máximas anuais com duração  $d$ . A Figura 3 mostra as curvas de envoltória que definem um valor máximo para  $K_m$ .

A metodologia estatística definida por Hershfield apresentada no manual da WMO, também define o cálculo de ajuste da média e do desvio padrão das séries considerando o universo das amostras e a presença de valores *outliers*, isso é, valores considerados incoerentes. As Figura 4 e 5 mostram os ajustes necessários para utilizar na média e no desvio padrão para compensar valores atípicos.

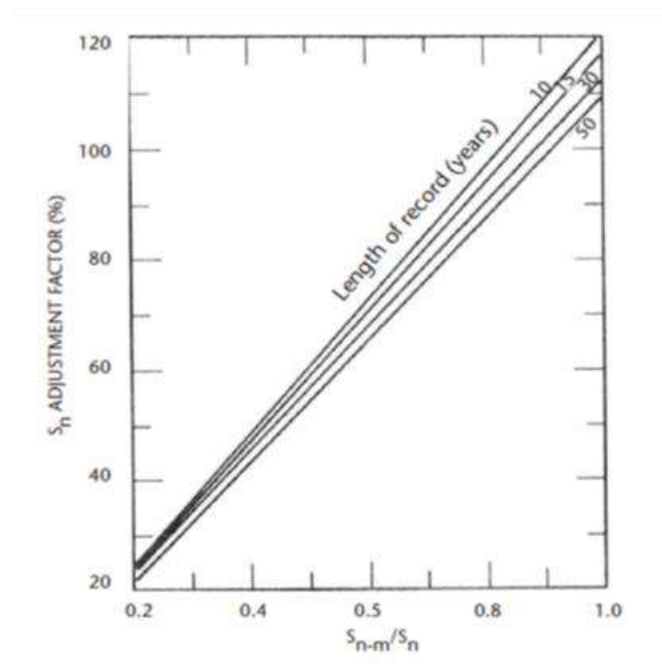
O número de componentes da série pode também alterar a média,  $\bar{X}_n$ , e o desvio padrão,  $S_n$ , da amostra. A Figura 6 mostra os ajustes sugeridos de  $X$  e  $S$  conforme o tamanho da amostra.



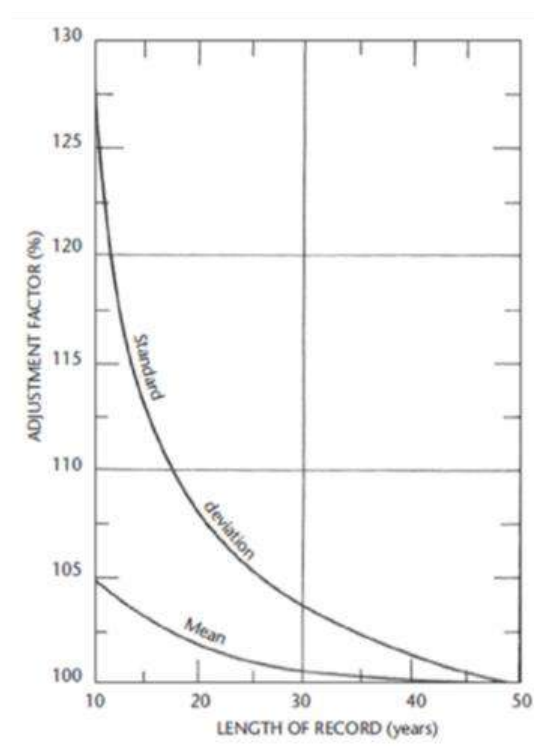
**Figura 3 - K em função da duração da chuva e da média das precipitações**  
 Fonte:(WMO, 2009)



**Figura 4 - Ajuste da média das séries anuais para valores atípicos**  
 Fonte:(WMO, 2009)



**Figura 5 - Ajuste do desvio padrão das séries anuais para valores atípicos**  
**Fonte:(WMO, 2009)**



**Figura 6 - Ajuste da média e do desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da série**  
**Fonte:(WMO, 2009)**

O método também considera alguns ajustes, a correção devido à quantidade de observações no intervalo da chuva e o ajuste devido à área de drenagem.

O ajuste do número de observações realizadas é feito com intuito de estimar a precipitação máxima horário e compensar pequenas perdas por evaporação. No caso do número de observação realizadas, a WMO (2009) apresenta os seguintes valores:

- Para precipitação máxima obtida de registrador contínuo = 1
- Para 1 observação efetuada no intervalo considerado = 1,13
- Para 2 observações efetuadas no intervalo considerado = 1,04
- Para 6 observações efetuadas no intervalo considerado = 1,02
- Para 24 observações efetuadas no intervalo considerado = 1,01

A correção da área de drenagem envolve a Tabela 2, que correlaciona a área de drenagem e a duração das chuvas.

**Tabela 2 - Fator de correção da PMP devido à área de drenagem**

Área	24 h	12 h	6 h	3 h	1 h
<b>25</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>100</b>	0,96	0,95	0,94	0,92	0,83
<b>200</b>	0,94	0,92	0,90	0,86	0,75
<b>300</b>	0,93	0,90	0,87	0,83	0,71
<b>400</b>	0,91	0,89	0,86	0,81	0,67
<b>500</b>	0,90	0,88	0,85	0,79	0,65
<b>600</b>	0,90	0,87	0,84	0,78	0,65
<b>700</b>	0,89	0,86	0,83	0,77	0,64
<b>800</b>	0,88	0,85	0,82	0,76	0,63
<b>900</b>	0,88	0,85	0,81	0,75	0,62
<b>1000</b>	0,87	0,84	0,80	0,74	0,61

Fonte: WMO,2009

Dado o procedimento estatístico explicado, pode-se averiguar que os resultados obtidos dependem não só da homogeneidade dos dados pluviológicos e da área, mas também da quantidade e da qualidade dos dados disponíveis.

### 3.2 Métodos Hidrometeorológicos

Salienta-se que o cálculo da PMP pelo modelo hidrometeorológico é mais reconhecido e recomendado pela WMO (2009). Esse procedimento consiste na maximização de eventos

históricos através da transposição de tormentas observadas, combinadas com a maximização da umidade, além da otimização temporal e espacial.

Salienta-se que o Manual proposto pela WMO tem a função de guiar um estudo de PMP, entretanto não estabelece um roteiro específico para estimar, uma vez que para cada região estudada deve-se analisar as condições meteorológicas, a disponibilidade de dados, o número de tormentas e assim definir o procedimento adequado. A seleção do método utilizado deve ser baseada na análise do risco associado, juntamente com a sensibilidade técnico econômica do projeto. (RAMOS, OCCHIPINTI, VILLA NOVA, MAGALHÃES, CLEARY; 1989)

Deve-se definir a análise baseando-se nos dados meteorológico e hidrológicos. Os seguintes fatores são responsáveis por essa análise:

1. Disponibilidade de dados hidrometeorológico – serie representativas, isso é, com universo composto por um número de dados suficiente para inferir uma grande tormenta na bacia.
2. Número de Tormentas de Grande intensidade observadas sobre a bacia ou em regiões vizinhas que possam ser consideradas meteorologicamente homogêneas e cujas tormentas possam ser transpostas para bacia de estudo.
3. Disponibilidade de modelos apropriados interrelacionados das precipitações as demais variáveis hidrometeorológicas, tais como vazão e evaporação.
4. Combinação física e estatística factível das probabilidades de ocorrência dos valores das variáveis hidrometeorológicas utilizadas nos modelos e na maximização de tormentas.

Nesse tópico será explicitada a metodologia para estimativa da PMP considerando latitudes médias e regiões não orográficas.

### *3.2.1 Conceituação Metodológica*

Cada Bacia de estudo deve ser vista como caso único, já que suas características geomorfológicas irão distingui-las das demais. Além disso, a disponibilidade e disposição dos dados hidrometeorológicos, considerando o tipo, qualidade e a quantidade dos mesmos irão determinar a metodologia que melhor se adapte.

O procedimento de cálculo considerando o modelo hidrometeorológico consiste basicamente na maximização da umidade presente da atmosfera. Esse baseia-se na simplificação de que quando a água presente na atmosfera, em qualquer das suas formas

físicas supera um limite denominado umidade de saturação, ocorre a precipitação. (SUGAI, 1989).

Não bastando, entende-se como imperativa a necessidade de coleta de dados hidrometeorológicos observados no período das maiores tormentas ocorridas na área. Os dados mais importantes são os de precipitação e temperatura de ponto de orvalho. Quando não há disponibilidade do ponto de orvalho, coletam-se outros índices de umidade, como umidade relativa ou temperatura do bulbo úmido, além da temperatura do bulbo seco e da pressão atmosférica. Utilizando-se esses dados e aplicando equações da física da atmosfera é possível obter o ponto de orvalho.

Assim, o método procura estimar a PMP através da maximização do teor de umidade na atmosfera englobando as condições meteorológicas críticas que ocorreram na região de estudo.

Entretanto, a conjunção dos fatores de maximização deve ser realística. Caso contrário, pode-se obter valores de tormentas não coerentes com a região, resultando em projetos inviáveis ou em gastos incompatíveis com a realidade.

### *3.2.2 Método de Estimativa da PMP*

Nesse item, será realizado um breve resumo dos possíveis procedimentos a serem adotados em um estudo de PMP

Existem três métodos utilizáveis para estimar a PMP em regiões não orográficas. O primeiro é a maximização da tempestade local utilizando um fator de incremento relativo à umidade e ao vento. O segundo é o método da transposição da tempestade com ajuste de elevação, análise de barreiras e a transposição da tormenta. Por fim, tem-se o terceiro método, com a maximização do espaço temporal, na qual as distribuições espaciais e temporais da tempestade são ajustadas deliberadamente formando uma sequência de tempestades para aumentar o efeito da cheia. (WMO,2009)

Os métodos acima são aplicáveis a determinadas bacias hidrográficas e a estimativas generalizadas em zonas meteorologicamente homogêneas.

#### *3.2.2.1 Características Climáticas da Bacia*

Nessa etapa inicial deve-se validar uma premissa de condição máxima que toda a região de estudo é meteorologicamente homogênea. Deverão, portanto, ser analisadas as

variações espaciais e temporais das condições climáticas da região através das principais variáveis registradas, a saber: precipitação, temperatura e umidade relativa.

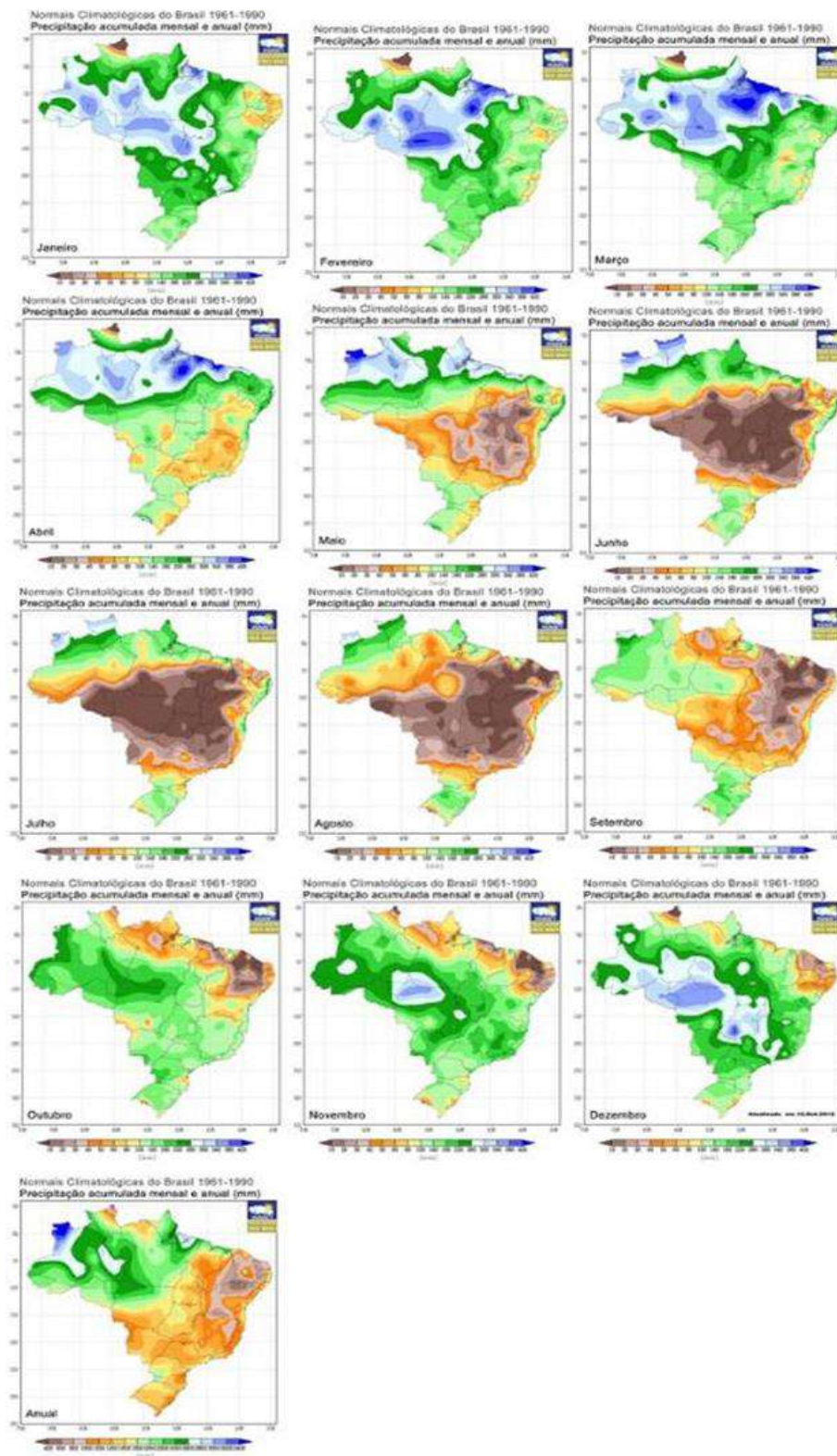
A precipitação da região, nessa etapa, pode ser analisada por meio das normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais Climatológicas os “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos.

Além dos dados mensais também deve-se analisar os Máximos de precipitação em 24 horas, de forma a garantir uma igualdade entre as tormentas da região

O INMET fornece informações de um projeto que reviu e ampliou as Normais Climatológicas 1961-1990 computadas pelo INMET em 1992, abrangendo 414 estações meteorológicas de superfície do INMET em operação durante os anos do período entre 01/01/1961 a 31/12/1990, cobrindo um conjunto de 26 parâmetros meteorológicos. Estas informações foram consolidadas em uma publicação de novembro de 2009. A Figura 7 mostra os valores Mensais e Anuais obtidos para o Brasil nesse período.

Além desses parâmetros, deve-se analisar a temperatura dos postos da região e a umidade relativa média mensal, nos horários sinóticos (12:00h, 18:00h e 24:00h)





**Figura 7 - Normais Climatológicas – Período(1961-1990)**  
**Fonte:INMET, 2017**

### *3.2.2.2 Identificação de Grandes Tormentas – Distribuição Temporal*

Essa análise traduz a extensão dos fenômenos meteorológicos que deram origem às chuvas intensas e, conseqüentemente, às cheias mais expressivas na região.

Além disso, o Manual da WMO indica essa análise como uma medição indireta de taxas máximas de convergência em movimento vertical da atmosfera que são referidos como o mecanismo de tempestade ou produtoras de precipitação. Mecanismos extremos de tempestades extremas podem então ser determinados nas bacias em estudo, sem a necessidade de realmente calcular a magnitude da convergência e de movimento vertical. A definição de eventos críticos é realizada por meio da análise de um pluviograma de postos da região. É válido ressaltar que se deve garantir que haja um número representativo de dados.

Para pequenas bacias e principalmente bacias urbanas, é desejável uma disponibilidade de dados horários, entretanto para bacias grandes, entende-se que os dados diários já são suficientes (OCCHIPINTI, 1969)

Também é aconselhado a análise sinótica e de satélite de cada um dos eventos selecionados com o objetivo de explicitar a extensão dos fenômenos meteorológicos que deram origem às chuvas intensas e, conseqüentemente, às cheias mais expressivas na região.

### *3.2.2.3 Estimativa do Ponto de Orvalho Histórico Persistente*

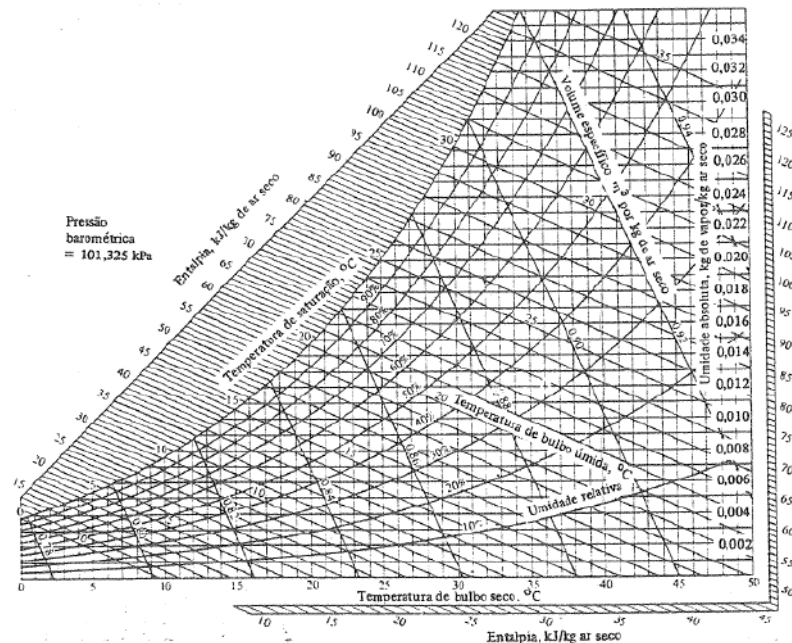
Uma vez que muitas das tempestades extremas ocorreram antes de que redes de monitoramento tenham sido implantadas, qualquer índice de umidade atmosférica pode ser obtido a partir de observações de superfície. Ainda hoje, redes de monitoramento climatológica são demasiado escassas para que se possa definir uma análise adequada dos parâmetros meteorológicos tais como umidade.

Para estimar a umidade na atmosfera, utiliza-se o Ponto de Orvalho,  $T_d$ , esse pode ser definido como a temperatura até à qual o ar úmido deve ser arrefecido, a pressão e razão de mistura constantes, para que atinja a saturação em relação à água líquida. O nível de condensação é o nível até ao qual uma parcela de ar úmido pode ascender adiabaticamente antes de atingir a saturação

A temperatura de ponto de orvalho é um indicador da quantidade de água existente numa parcela de ar. Conhecida a pressão parcial de saturação de vapor de água e a temperatura



obtenção. Nesse caso, recomenda-se a utilização do diagrama Psicométrico presente na Figura 9, com o qual é possível definir a temperatura de orvalho com os dados de umidade relativa do ar e temperatura do bulbo seco.



**Figura 9 – Diagrama Psicométrico - Cálculo do Ponto de Orvalho**  
**Fonte: (VALVENCA e TETER, 1971).**

### 3.2.2.4 Cálculo do Fator de Maximização

Nos cálculos da precipitação máxima provável são determinados os coeficientes de maximização para determinadas durações. Utiliza-se o método que considera a razão entre as quantidades de água precipitável correspondentes aos pontos de orvalho máximo e representativo, devidamente rebatido para o nível de 1.000 hPa. A umidade contida na massa de ar associada aos eventos chuvosos considerados nas durações determinadas é estimada pela água precipitável,  $W(T_{dr,1000})$  e correspondente ao ponto de orvalho representativo,  $T_{dr}$ . Por outro lado, a máxima umidade possível de conter a massa de ar é determinada pela água precipitável,  $W(T_{dm})$ , correspondente ao máximo ponto de orvalho representativo,  $T_{dm}$ . Teoricamente, a água precipitável é calculada pela integral da distribuição vertical da umidade específica associada ao gradiente térmico vertical num processo pseudo-adiabático. Para calcular a água precipitável total a integração deve ser feita desde o nível de 1.000 hPa (teoricamente o da superfície) até cerca de 300 hPa, considerado como o limite superior da convecção, denominado de nível nodal.

$W_{baf}(Td, 1000)$  e  $W_{baf}(Td, max, 1000)$  são valores de água precipitável bloqueada em caso de barreira de afluência acima de nível 1000mb.

Dessa forma, pode-se calcular o fator de maximização,  $F_m$ , pela relação:

$$F_m = \frac{W(T_{d,max,1000}) - W_{baf}(T_{d,max,1000})}{W_{tot}(T_{d,r,1000}) - W_{baf}(T_{d,r,1000})} \quad \text{Equação (8)}$$

Na prática, as integrais já se encontram tabeladas, para diferentes valores de ponto de orvalho e altitudes, o que facilita a determinação do fator de maximização.

Há estudos que consideram a maximização do vento e são comumente usados em regiões montanhosas, nas quais as precipitações orográficas aumentam com a velocidade da componente do vento normal a escarpa de montanha.

Em regiões não orográficas, a maximização do vento é pouco utilizada. Nestas regiões, as tempestades podem ser transpostas centenas de quilômetros para sintetizar uma tempestade histórica adequada para uma bacia projeto. Estudos realizados pela WMO, comprovam que a utilização da umidade registradas em grandes tempestades são mais adequadas à maximização de precipitação não havendo, portanto, necessidade de maximizar a velocidade do vento. (WMO,2009)

Em casos em que seja necessário tal fator, ou quando não existem dados hidrometeorológicos, pode-se recorrer a maximização dos ventos para tentar suprir os dados de umidade. Quando não se dispõem de tormentas severas ou de séries representativas do ponto de orvalho, é aconselhável a maximização dos ventos.

O fator de ajuste do vento é a razão entre a máxima velocidade média e a velocidade média observada durante a tormenta. (WMO, 2009)

A máxima velocidade média pode ser inferida através da distribuição de frequências das máximas velocidades médias anuais de uma série representativa de dados. De tal forma que se tem o fator:

$$f_{v(d,Tr)} = \frac{\max \nabla(d,Tr)}{\nabla_{obs}(d)}; f_{v(d,Tr)} \geq 1 \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

$\nabla_{obs}(d)$  é a velocidade média observada durante a tormenta com duração  $d$ , e  $\max \nabla(d, Tr)$  é a máxima velocidade média com duração  $d$  e tempo de retorno  $Tr$ .

Com isso, pode-se estabelecer uma maximização conjunta obtida pelos produtos dos fatores de maximização, isso é:

$$PMP = Pobs \times F_M \times f_v \quad \text{Equação (10)}$$

#### 3.2.2.5 *Análises Isoietais - Distribuição Espacial e Transposição de Tempestades*

As tempestades excepcionais em uma região meteorologicamente homogênea são parte muito importante da evidência histórica sobre a qual uma estimativa da PMP é baseada. A transferência de tempestades ocorridas em outras áreas, são chamadas de transposição de tempestade.

Precipitações são medidas através das estações pluviométricas em pontos discretos de uma área de uma dada bacia. Mas o estudo da PMP requer o conhecimento da distribuição espacial e temporal da bacia. Os volumes de chuva precipitados podem ser calculados planimetrando-se as áreas entre as isoietas e multiplicando-se pela altura pluviométrica correspondentes.

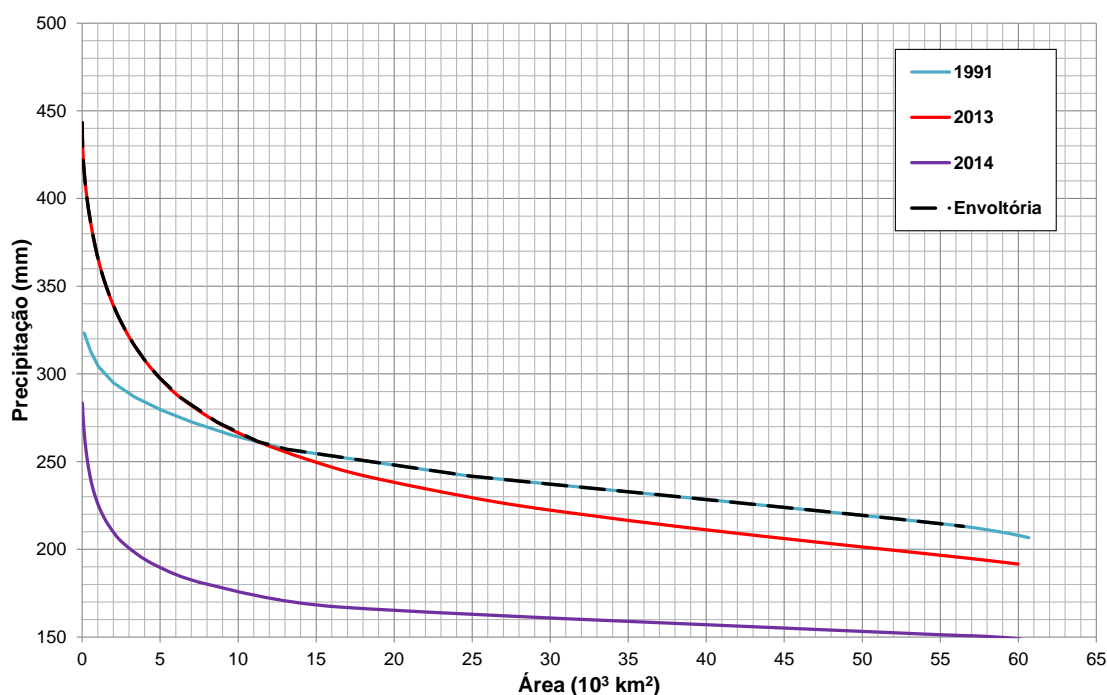
A transposição de núcleos chuvosos deve ser baseada em análise cuidadosa da distribuição espacial e temporal da chuva, da área geográfica analisada e das condições meteorológicas associadas às referidas tormentas. A análise isoietal é a primeira etapa e tem a função primordial de identificar os locais de ocorrência das tormentas. Em seguida é preciso identificar as causas das tormentas, buscando os mecanismos de grande e de mesoescala que lhe deram origem. O próximo passo consiste em delinear a região na qual o tipo de tormenta identificado no primeiro passo ocorre frequentemente como uma consequência das instabilidades regionais e locais. Isto é possível pela análise de uma série de cartas meteorológicas em que se observam situações semelhantes às que estão sendo analisadas. O terceiro passo é verificar a influência topográfica, a qual pode ter um papel importante na instabilidade atmosférica associada às direções dos escoamentos, aos fluxos e umidade e aos fenômenos de escala maior.

A maximização espacial envolve a transposição das tempestades que ocorreram na bacia ou em suas proximidades para um ou local mais crítico da mesma, de forma a obter o máximo de escoamento. O procedimento envolve a determinação de tempestades

particulares que podem ser transpostas para locais críticos dentro de intervalos de tempo específico e combinadas para produzir taxas de escoamento ou volumes máximos.

### 3.2.2.6 Determinação das Curvas Altura – Área – Duração

Para determinar a curva AAD – Altura – Área – Duração deve –se calcular as alturas médias precipitadas. As alturas médias de uma tormenta são funções definidas por área e de intervalo de tempo. Através de uma sequência de mapas isoietais correspondentes, determinam-se as alturas precipitadas correspondentes as respectivas áreas. Para maximizar o processo, isso é, obter as maiores alturas, deve-se integrar a partir do epicentro da tormenta. Com isso, pode-se estabelecer as relações entre máximas alturas de chuva em função da área e do tempo de duração. A plotagem desses dados de chuva são as curvas AAD – Altura Área e Duração, Figura 10.



**Figura 10 - Curva de Área x Altura de Chuva e Duração**

Fonte: Elaboração própria

A envoltória é o processo para selecionar o maior valor de qualquer conjunto de dados. Na estimativa de PMP, os dados de precipitação maximizados e transpostos são plotados em um gráfico, e uma curva suave é desenhada através dos maiores valores.

Para obtenção dessa curva, é imperativo obter os volumes acumulados na área interna à cada linha isoietal bem como a divisão dos volumes acumulados, visando à obtenção da altura de chuva equivalente para cada uma dessas áreas. (Tabela 3)

**Tabela 3 - Tabela de Cálculo da Precipitação Máxima**

Precipitação (mm)	Área (km <sup>2</sup> )	Área Acumulada (km <sup>2</sup> )	Área Acumulada (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Volume (mm x km <sup>2</sup> )	V/A (mm)	H <sub>eq</sub> (mm)
290	4,13	0,00	0,00	0,00		
280	16,68	16,68	0,02	55,59	3,33	283,33
270	29,86	46,54	0,05	359,19	7,72	277,72
260	43,91	90,45	0,09	1,032,08	11,41	271,41
250	59,36	149,81	0,15	2,220,99	14,82	264,82

**Fonte: Elaboração Própria**

Para a estimativa da PMP, é recomendável plotar em gráfico todas as curvas AAD das grandes tormentas observadas, os dados das máximas alturas pluviométricas médias espaciais em função da área para diferentes durações (OCCHIPINTI, 1989).

Através das envoltórias é possível calcular as alturas de chuvas para diferentes áreas, isso é, para bacia inteira ou subbacias contidas na mesma.

#### *3.2.2.7 Distribuição Temporal*

Com a finalidade de definir a distribuição temporal da PMP, aconselha-se traçar uma curva de massa da chuva equivalente na bacia de projeto considerando cada um dos eventos chuvosos críticos. O passo seguinte é obter a “curva S” que será a envoltória da curva de massa.

Dada a envoltória da chuva, essa pode ser discretizada a níveis diários de forma a gerar um hietograma. É válido ressaltar que essa chuva sintética gerada será baseada o estudo da PMP.

Os passos seguintes desse estudo devem envolver a escolha para um modelo chuva vazão na região de estudo.



## 4 VAZÃO MÁXIMA PROVÁVEL E PROBABILIDADE EXCEPCIONAL DE CHEIA

### 4.1 Cheias de Probabilidade Excepcionais

A análise de frequências de vazões extremas tem como objetivo vincular as ocorrências de vazões máximas com os seus respectivos tempos de recorrência. Para estabelecer essa relação faz-se mão de uma análise probabilísticas dos registros de vazões máximas anuais (TUCCI, 2005)

Usualmente, as análises de frequências possuem um universo de 30 a 60 anos de dados, dependendo da disponibilidade da bacia. Esses valores são a base para o realizar a extrapolação até o tempo de recorrência necessário para o projeto. Entretanto, nem sempre a série de dados tem uma boa representatividade da realidade da bacia, já que os eventos extremos podem não ocorrer nesse intervalo.

Para tentar estimar as vazões de longo prazo de uma bacia utiliza-se a análise probabilísticas, dentre as abordagens mais empregadas constituem-se os trabalhos e de Gumbel (1941) e Fuller.

Para a seleção da distribuição de probabilidades a ser empregada seguiu-se a recomendação do “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedouro - MME - ELETROBRÁS - 1987”, que preconiza a utilização da distribuição de Gumbel para séries com assimetria inferior a 1,0.

#### 4.1.1 *Tempo de Recorrência ou Retorno*

Define-se período de retorno (T) como o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. Esse é um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedores, bueiros, galerias de águas pluviais e obras hidráulicas. (Righeto, 1998)

Para o cálculo do período de retorno, considera-se a vazão máxima anual como uma variável aleatória X. Desta forma como a probabilidade de ocorrência de um evento hidrológico de uma observação é o inverso do período de retorno (Mays, 2001), tem-se que, para que a vazão máxima de um determinado ano tenha magnitude  $x_p$ , com intervalo de recorrência  $Tr$ . Então a probabilidade de que esta vazão seja igualada ou superada em um ano qualquer é expressa por:

$$P\{X \geq x_p\} = \frac{1}{T_R} \quad \text{Equação (11)}$$

Como cada evento hidrológico é considerado independente, a probabilidade complementar, isso é, de não ocorrer para uma enchente em “n” anos é:

$$P = \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^n \quad \text{Equação (12)}$$

A probabilidade complementar de exceder um evento extremo em um universo de n anos é igual ao risco R.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^n \quad \text{Equação (13)}$$

A Tabela 4 mostra o risco assumido em cada tempo de retorno.

**Tabela 4 - Tabela de Risco em função da vida útil e do período de retorno**

T Anos	Vida Útil da Obra (anos)				
	2	5	25	50	100
2	75,0%	97,0%	99,9%	99,9%	99,9%
5	36,0%	67,0%	99,9%	99,9%	99,9%
10	19,0%	41,0%	93,0%	99,0%	99,9%
25	25,0%	18,0%	64,0%	87,0%	98,0%
50	40,0%	10,0%	40,0%	64,0%	87,0%
100	2,0%	5,0%	22,0%	39,0%	63,0%
500	0,4%	1,0%	5,0%	9,0%	18,0%

Fonte: Porto, Rubens (1995)

#### 4.1.2 Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel (máximos) é a distribuição extrema mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas (NAGHETTINI, 2007). A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada por:

$$Fy(y) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right] \text{ para } -\infty < y < \infty, -\infty < \beta < \infty, \alpha > 0 \quad \text{Equação (14)}$$

Sendo que  $\alpha$  representa o parâmetro escala e  $\beta$  o parâmetro posição. A função densidade de distribuição é

$$fy(y) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{y-\beta}{\alpha} - \exp \left( -\frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right] \quad \text{Equação (15)}$$

Em face do acima exposto, nos ajustes da distribuição estatística foram consideradas as seguintes equações:

$$Q_T = \beta - \alpha [\ln - [\ln\{(T - 1)/T\}]] \quad \text{Equação (16)}$$

Sendo:

$$E[Y] = \beta + 0,5772 \times \alpha \quad \text{Equação (17)}$$

$$Var [Y] = \sigma_Y^2 = \frac{\pi^2 \times \alpha^2}{6} \quad \text{Equação (18)}$$

Onde:

$Q_T^{md}$  = vazão média diária com tempo de recorrência T;

$\bar{Q}$  = média das vazões médias diárias máximas;

S = desvio padrão das vazões médias diárias máximas;

T = tempo de recorrência em anos;

$E[Y]$  = Valor Esperado;

$Var [Y]$  = Variância

#### 4.1.2.1 Vazão Máxima Instantânea

A determinação da vazão máxima instantânea de projeto, com um determinado risco, é dificultada pela falta de registros históricos. Em função da pouca disponibilidade de dados instantâneos, a prática comum é a determinação de vazões máximas diárias. No Brasil, na maioria dos postos fluviométricos são realizadas duas leituras diárias (JÚNIOR & TUCCI, 2017)

Tucci (*in* Tucci 2005 *apud* Fuller (1914)) apresentou uma aproximação considerando a razão entre a média diárias e vazão máxima considerando a área de drenagem. O autor estabeleceu a distribuição estatística das séries de máximas e médias para obter a relação.

Segundo Conte (2012) o fator de Füller deve ser aplicado quando existir alguma incerteza quanto à qualidade dos dados disponíveis ou quando o universo de dados observados for inferior a 20 anos.

Dessa forma, foram calculadas para diferentes tempos de recorrência as vazões médias diárias máximas ( $Q_t^{med}$ ). As vazões máximas instantâneas ( $Q_t^{max}$ ) correspondentes foram então obtidas pela fórmula de Füller. A equação X apresenta o fator utilizado.

$$Q_t^{max} = Q_t^{méd} \times (1 + 2,66 \times A^{-0,3})$$

Onde:

A é a área de drenagem da bacia.

#### 4.1.2.2 Probabilidades Empíricas de Não-Excedência.

Para análise de probabilidade de não excelência, utilizou-se a análise de Gringorten, na qual considera  $n$  a dimensão da amostra e  $n_i$  o posicionamento do valor  $i$  dentro da dimensão de  $n$ .

$$T = \frac{n_i + 0,12}{n - 0,44} \quad \text{Equação (19)}$$

#### 4.1.2.3 Limites de Confiança

Para uma avaliação do grau de aderência entre as distribuições ajustadas e as amostras, foi utilizado o teste de Kolmogorov – Smirnov, que tem como base a expressão:

$$D2 = \max |F_x(x) - \hat{F}_x(x)| \quad \text{Equação (20)}$$

Essa expressão reflete a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumulada empírica e teórica. A hipótese do teste à aderência é considerada boa quando o resultado da expressão supracitada é menor que um determinado valor crítico ( $D2_{crítico}$ ), tabelado em função do tamanho da amostra e do nível de significância adotado.

A Manual de disponibilidade Hídrica (ANA, 2010) recomenda utilizar o fator de segurança correspondente à adoção do limite superior da distribuição de probabilidades utilizada, para o intervalo de confiança de 90% ou 95% para o caso de um universo de dados com menos de 40 anos.

## 4.2 Modelos Chuva Vazão

O estudo de VMP envolve diversas áreas de conhecimento contidas na hidrologia. Entende-se que a hidrologia é composta por diversas disciplinas, uma vez que envolve a distribuição e circulação da água na terra e no ar. Considerada toda a complexidade do ciclo hidrológico e suas interações com clima, solo, geomorfologia, deve-se ressaltar que não é exata, e nem única e que cada bacia deve ser tratada de uma forma.

Um modelo hidrológico consiste em uma representação matemática de um ciclo hidrológico, realizada por meio de variáveis e parâmetros. Entende-se por ciclo hidrológico a repetição dos fenômenos como precipitação, evaporação, infiltração e escoamento da água. Para tal descrição, faz-se uso de variáveis que são valores que descrevem quantitativamente um fenômeno, pois alteram-se no espaço e no tempo. Os parâmetros utilizados para caracterizar o sistema e os torna-los únicos, são área, hidrografia, declividade entre outros. (TUCCI, 2005). Ressalta-se, no entanto, que ao se estudar modelos hidrológicos, deve-se entender as limitações de cada um e procurar o que melhor se adapta a bacia de estudo.

Há diversos modelos passíveis de utilização, desde métodos simples como o modelo racional, a modelos que consideram variabilidade espacial e temporal da região. Entretanto a necessidade de parâmetros e de dados que caracterizem bem a região de estudo é uma das maiores limitações dos modelos e aquela que mais interfere no resultado final.

#### *4.2.1 Histórico*

TUCCI (2005) afirma que os modelos hidrológicos surgiram de acordo com a necessidade humana. Serviam em geral para expandir as séries de vazão de forma mais representativa. Dado que as séries de precipitação são mais antigas que as de vazão, começou-se a estudar a maneira de correlacionar a precipitação com a vazão.

Os modelos desenvolvidos, procuraram resolver questões pontuais de cada projeto, pincelando os processos hidrológicos da região para qual foi criado.

Os modelos hidrológicos foram desenvolvidos no início do século passado. Na medida da necessidade passou-se a descrever cada processo do ciclo hidrológico, como infiltração, por Horton na década de 30 (HORTON, 1933), o escoamento em rios, por Macarthy em 1939, com o Modelo Muskingum, e Puls para o escoamento em reservatório.

O desenvolvimento dos computadores foi essencial para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos modelos. A partir da década de 50 iniciou-se uma revolução nos modelos hidrológicos. Inicia-se o estudo do ciclo hidrológico como um todo, focando principalmente a porção deste ciclo entre a precipitação que sobre uma bacia hidrográfica e a vazão que escoar em um rio. Estes modelos representavam a necessidade de extensão de séries de vazão.

Nas décadas seguintes foram criados modelos que já eram capazes de analisar a distribuição espacial da chuva e a sua infiltração, como o Stanford IV (CRAWFORD e LINSLEY, 1966 *apud* LOU, 2010), o DAWDY de O'DONNELL (1965), HEC-1 (HEC, 1968), que introduziu a otimização dos parâmetros de um modelo hidrológico. Muitos outros modelos surgiram no período, contudo, entende-se que apesar da variação do nome, esses eram combinações similares aos modelos anteriores. Ressalta-se que a hidrologia é uma ciência composta por múltiplas disciplinas e cada pesquisador tende a buscar o que apresentava os melhores resultados nas bacias da sua região.

A WMO foi bastante atuante na época e chegou a realizar diversos estudos comparativos entre modelos hidrológicos para diferentes casos. Entretanto, as incertezas embutidas no processo, juntamente com as dúvidas na qualidade dos dados utilizados, não tornaram as comparações definitivas. Portanto, dentro de um mesmo grupo de modelos, o melhor é aquele em que o usuário possui mais familiaridade e maior conhecimento de suas limitações.

No final da década de 70, observou-se duas tendências nos estudos de modelos hidrológicos. A primeira foi utilização somente dos parâmetros dos processos mais importantes. Dado a grande quantidade de parâmetros, optou-se por uma simplificação de forma a otimizar os projetos de engenharia. Seguindo essa linha surgiram modelos com menor número de funções e parâmetros como o IPH II e SMAP.

A outra tendência, com foco em outras áreas de estudo, apresenta-se mais complexas. Com o aumento da consciência ambiental, e uma forte onda de estudos de impacto do solo, foram desenvolvidos modelos com bases físicas maiores, definindo aspectos que se correlacionassem a características físicas do sistema e aprimorando os parâmetros, reduzindo, assim, o empirismo na estimativa desses. Em relação a modelos hidrológicos que retratavam apenas a transformação chuva-vazão com fundamentos hidrológicos físicos, destacam-se o TOPMODEL (Beven & Kirkby, 1979) e o SHE – Systéme Hydrologique Européen.

Na década de 90, com os modelos começando a basear-se em dados climáticos, entendeu-se a necessidade de analisar o macro para entender a influência das marés e da circulação no ciclo hidrológico. Foi também avaliada e introduzida a questão da escala do estudo, ao simular a interação dos sistemas climáticos com o terrestre.

Mais recentemente, modelos hidrológicos seguem duas linhas de acordo com a área de bacia de estudo. Modelos para pequenas bacias, que buscam representar com precisão, e de forma distribuída, os processos hidrológicos e modelos para grandes bacias, geralmente com forma empírica a distribuição dos parâmetros em grandes áreas. Não bastando, os modelos distribuídos foram agregados a modelos digitais de elevação e ao geoprocessamento, de forma a tentar simular com maior verossimilhança cada comportamento de cada bacia de estudo. (TUCCI, 2005).

#### 4.2.2 Classificações

Dado os diversos modelos hidrológicos, foi realizada uma classificação que diferencia cada modelo RIGHETTO (1998), TUCCI (1998), LINSLEY (1981) resumem esta classificação da seguinte forma:

- **Modelo Determinístico:** baseiam-se nos fenômenos e conceitos envolvidos no ciclo hidrológico, relacionando causa e efeito. Nesse o ciclo hidrológico é descrito com componentes não aleatórias, isso é, para uma determinada situação inicial o modelo sempre irá retornar ao mesmo resultado.
- **Modelo Estocástico ou Probabilístico:** diferentemente do modelo empírico são os parâmetros e formulações que descrevem o ciclo hidrológico são aleatórias e seguem distribuição probabilística.
- **Modelo com embasamento físico:** Esse tenta representar todas as etapas dos ciclo hidrológico e dos processos envolvidos por meio de equações matemáticas. Sua utilização é mais restrita em casos de indisponibilidade de dados, dado que seus parâmetros podem ser medidos, de forma a não necessitar de calibração.
- **Modelo Conceitual e Semiconceitual:** fundamentado no conceito do ciclo hidrológico, por meio de equações empíricas, consegue explicar os processos envolvidos, entretanto esse é bem simplificado.
- **Modelo Concentrado:** considera os dados de entrada e os parâmetros representativos da bacia como valores médios, válidos para toda área de estudo.
- **Modelo Distribuído:** a variação espacial é discretizada em célula, conseguindo envolver toda a heterogeneidade da bacia e suas características geomorfológicas.

No caso do Brasil, foram desenvolvidos diversos modelos hidrológicos para previsão e operação dos reservatórios. Destacam-se o IPH, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa

Hidráulicas da Universidade do Rio Grande do Sul, o Soil Moisture Accounting Procedure (SMAP - USP), o SMAPII (COPPE), SMAPII (COPPE - versão com suavização hiperbólica), o modelo hidrológico auto-calibrável (MODHAC).

O modelo adotado nesse trabalho é o SMAP “*Soil Moisture Accounting Procedure*” é classificado como um modelo chuva vazão determinístico e concentrado. Esse foi concebido por LOPES *et al.* (1982) baseado na experiência com o modelo Stanford Watershed IV e com o modelo Mero em trabalhos realizados no DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Pode ser considerado um modelo robusto e com grande utilização no Brasil.

#### 4.2.3 Modelo SMAP - *Soil Moisture Accounting Procedure*

LOPES *et al.* (1981) apresentaram um modelo de estrutura simples, o modelo **SMAP**, que utiliza a separação do escoamento baseado nos parâmetros do US Soil Conservation Service. A diferença entre esse modelo e o do SCS é que o SMAP é utilizado para simular séries contínuas e não apenas a cheia de projeto. O modelo está descrito, detalhado e avaliado em referências como DIB (1986), ROTUNNO (1989), SILVA (1990), THOMAZ (1992), CASTRO (1993), DI BELLO (2005), LIBOS (2008) e GONÇALVES (2008). O SMAP foi originalmente desenvolvido para intervalo de tempo diário e, posteriormente, apresentado em versão horária e mensal.

Em sua versão original, o SMAP é constituído de três reservatórios lineares hipotéticos representando o reservatório do solo, o da superfície, que corresponde ao escoamento superficial da bacia, e o reservatório subterrâneo, que corresponde ao escoamento de base. Nesta dissertação, empregou-se o modelo SMAP, que foi implementado, em uma de suas versões, na escala diária.

O modelo trabalha com discretização temporal horária, diária ou mensal. A escolha por uma das três versões do SMAP irá depender principalmente da disponibilidade dos dados de entrada por parte do usuário. No estudo de caso, será utilizado o modelo diário.

A descrição detalhada do modelo chuva-vazão SMAP encontra-se no apêndice

## 5 BACIA DO RIO JI-PARANÁ

A bacia do rio Ji-Paraná está completamente inserida no estado de Rondônia, localizado na Região Norte do País. O Estado de Rondônia, integrante da Amazônia Legal, tem como



regiões limítrofes os estados do Amazonas, Mato Grosso e Acre, no Brasil, e os departamentos de Santa Cruz, Beni e Pando, na Bolívia. O estado é dividido em 52 municípios, possuindo de acordo com o IBGE (2015a) uma área de 237.590,543km<sup>2</sup>, uma população estimada em 2014 de 1.748.531 habitantes e uma densidade demográfica de 6,58 hab/km<sup>2</sup>.

O rio Machado ou Ji-Paraná é assim identificado após a confluência dos rios Barão de Melgaço ou Comemoração e Pimenta Bueno ou Apediá, nas proximidades da cidade de Pimenta Bueno, estando suas nascentes localizadas no município de Vilhena e, sua foz, situada à margem direita do rio Madeira, próximo à localidade de Calama, 180 km a jusante de Porto Velho (ROCHA, 2016)

Esgotado o potencial hidráulico da região Sudeste para construção de grandes usinas, as empresas geradoras voltam seus esforços para a região Norte. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) essa região detém 44% do potencial total do país ou 114 GW. Esta oportunidade levou FURNAS, Eletronorte a solicitarem, em junho de 2004, à Aneel, o registro ativo do Estudo de Inventário no rio Ji-Paraná, afluente do rio Madeira, no trecho compreendido entre a sua foz até o encontro dos rios.

A Bacia do Rio Ji-Paraná é o estudo de caso adotado na presente dissertação. Essa é uma subbacia e a maior contribuinte do Rio Madeira, maior afluente do Rio Amazonas. Dentro desse estudo, pretende-se obter a maior cheia provável passível de ocorrência nessa região, o que é interessante dado a viabilidade da implantação da Usina Hidrelétrica Tabajara, no rio Ji-Paraná, em Rondônia.

Como a bacia hidrográfica do rio Machado representa o objeto de estudo da presente pesquisa, será apresentada a seguir uma breve descrição das características desta bacia.

## 5.1 Caracterização Fisiográfica da Bacia

### 5.1.1 *Localização*

O processo de caracterização fisiográfica da Bacia do Rio Ji-Paraná começa com o modelo digital de terreno e a definição da rede de drenagem da bacia. Nesse trabalho, utilizou-se o Software Arcgis da empresa Esri, esse permitiu o mapeamento da superfície do terreno.

Dado que o software é capaz de realizar a delimitação automática da bacia hidrográfica, foram utilizadas as informações de relevo, apresentados em uma representação

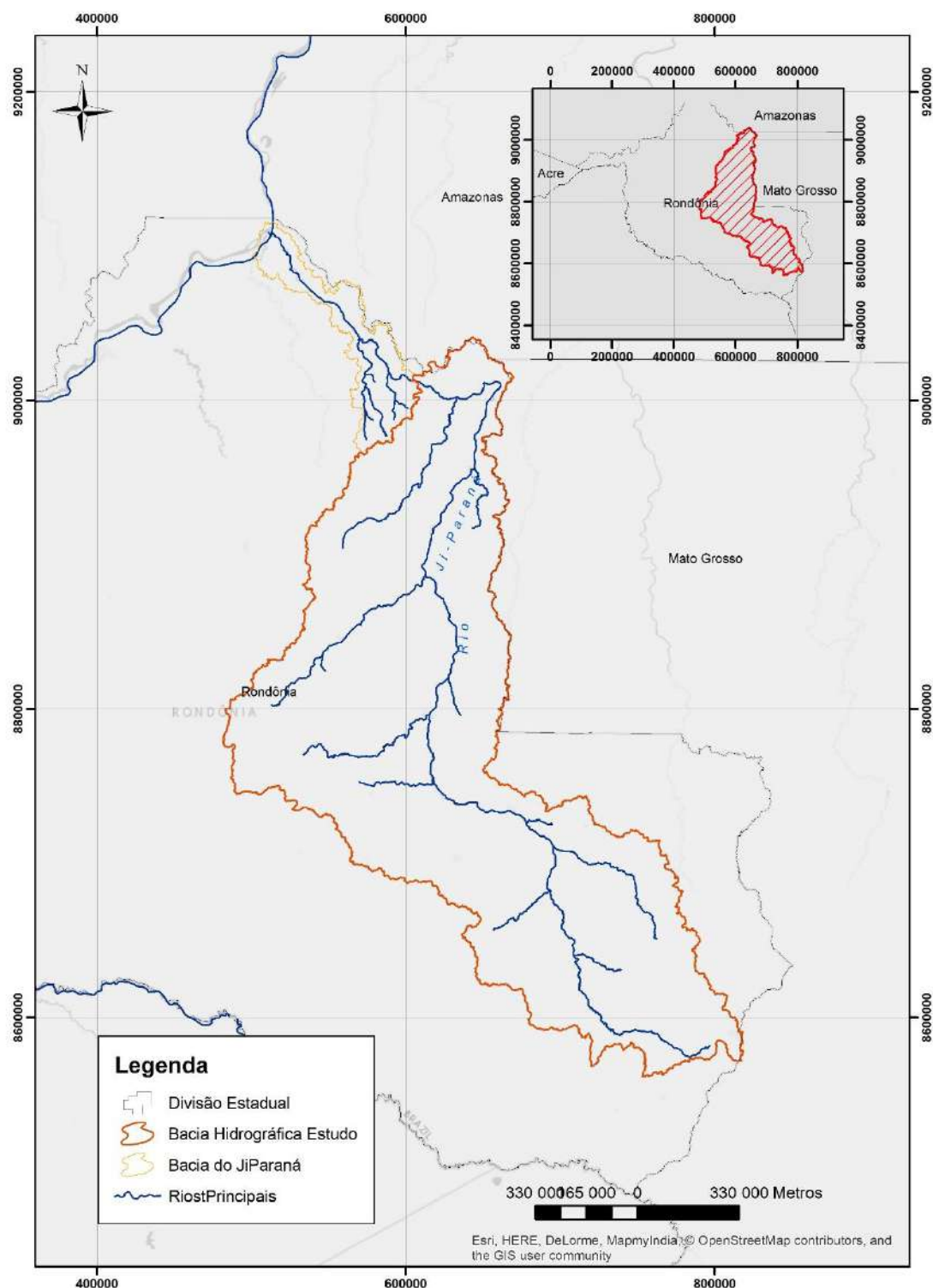
matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real em um modelo digital de terreno (MDT). Esse pode ser obtido por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou através de imagens de sensores remotos (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010).

Com o advento de sensores orbitais, modelos de elevação puderam ser extraídos através da interferometria. Este processo é o modo de operação de alguns sensores imageadores de micro-ondas SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission*, ou da estereoscopia, através de sensores ópticos que adquirem imagens com retrovisada.

O projeto Topodata (VALERIANO; ROSSETTI, 2011) disponibiliza dados SRTM refinados por krigagem para todo o território brasileiro, com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m). Esta abordagem não aumenta o nível de detalhe do modelo resultante, porém resulta em uma superfície com coerência de suas propriedades angulares (p.ex., declividade, orientação de vertentes, etc.) entre as células vizinhas (VALERIANO *et al.*, 2006), fator importante em análise morfométrica.

A primeira etapa para obtenção do modelo digital do terreno foi localizar os postos pluviométrico e fluviométricos de Tabajara e de Ji-Paraná. De posse da localização dos postos selecionou-se as imagens: que contemplava a área da bacia, e obteve-se o modelo digital do terreno. Com o MDT, delimitou-se a bacia até a Estação Fluviométrica Tabajara e sua rede de drenagem, através de algoritmos de análise de fluxo acumulado presentes software ARCGIS.

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, cuja localização é mostrada no desenho Figura 11, encontra-se no estado de Rondônia. Limitando-se com a bacia do Rio Roosevelt.



**Figura 11 - Localização da Bacia do Rio Ji-Paraná**

Fonte:Elaboração Própria

Em termos setoriais, a bacia do rio Ji-Paraná encontra-se enquadrada em nível federal na Bacia 1 – Bacia Amazônica, Subbacia 15 – área de drenagem do rio Madeira. Formado pela confluência dos rios Comemoração e Pimenta Bueno, na altura do paralelo 11° 40' S, o rio Ji-Paraná, com 850 km de extensão, segue a direção sudeste-noroeste até as

proximidades de Presidente Médici e, daí toma a direção sul-norte até a altura do paralelo 9° S, quando o curso, toma a direção sudeste-noroeste, até desaguar no rio Madeira pela margem esquerda.

### *5.1.2 Parâmetros Fisiográficos*

A caracterização fisiográfica de uma bacia hidrográfica diz respeito à análise das características físicas presentes na área, elaborando uma interação entre esses elementos, levando ao conhecimento das possíveis evoluções desses ambientes.

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Machado foi realizada a partir do cálculo de área da extração de informações do *MDT* da bacia hidrográfica, dos cursos d'água e da representação do relevo do terreno.

A partir da extração dos dados referentes à bacia, estes foram transferidos para o software Excel e a partir das equações determinadas na literatura, foram mensurados os índices necessários à caracterização morfométrica da bacia, conforme descrito a seguir.

São relacionadas a seguir, as principais características físicas correspondentes à bacia do rio Ji-Paraná considerando o fechamento na estação hidrometeorológica Tabajara.

#### *5.1.2.1 Área, Perímetro, comprimento axial e largura média*

A área de drenagem traçada pelo software Arcgis. Os componentes fisiográficos foram então traçados a partir dos dados obtidos no software. Já o comprimento do rio foi considerado como o trecho entre a nascente e a localização da estação Fluviométrica Tabajara, sendo a largura média a razão entre a área e o comprimento.

Importante ressaltar que a forma superficial apresentada por uma bacia hidrográfica influencia significativamente o escoamento superficial, possuindo grande relevância na determinação do hidrograma resultante de uma determinada chuva, bem como na determinação do tempo de concentração, que representa o tempo necessário para que toda a água precipitada alcance o exutório, que se traduz como o tempo necessário para que a água que choveu no ponto mais distante da bacia hidrográfica possa alcançar sua foz.

#### *5.1.2.2 Declividade Média e Bruta*

A declividade dos terrenos de uma bacia é a principal variável que influencia a velocidade com que se dá o escoamento superficial. Com isso, quanto mais íngreme for a região,

maior a energia potencial e que irá se transformar em cinética, dessa forma, mais rápido será o escoamento superficial, as cheias irão ocorrer mais rápido e, conseqüentemente, menor será o tempo de concentração da bacia.

A declividade bruta equivale à razão entre a diferença de cotas da seção de fechamento e a da nascente e o seu comprimento axial.

Assim, a declividade do terreno pode ser expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. A partir da elaboração do mapa de declividades no software ArcGIS, as classes de declividade geradas neste tema foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1979), conforme Tabela 5.

**Tabela 5 - Classificação da declividade segundo EMBRAPA -**

Declividade (%)	Classificação
Até 3	– 3 Relevo plano
3 – 8	3 – 8 Relevo suave ondulado
8 – 20	8 – 20 Relevo ondulado
20 – 45	20 – 45 Relevo forte ondulado
45 – 75	45 – 75 Relevo montanhoso
> 75	> 75 Relevo forte montanhoso

**Fonte: EMBRAPA (1979)**

A declividade média, que melhor caracteriza a velocidade do escoamento fluvial, foi estimada de forma que a área abaixo da linha que a representa graficamente fosse igual à área do perfil longitudinal do rio. Essa resultou em uma declividade média equivalente a 3,9 % classificando o relevo como plano.

O relevo plano reduz a velocidade de escoamento, o que aumenta o tempo de concentração da bacia, e com isso, dada uma chuva na bacia, essa irá demorar mais tempo para escoar e atingir o pico do hidrograma de vazão.

### 5.1.2.3 Coeficiente de compacidade

Esse coeficiente é a relação entre o perímetro da bacia e a da circunferência de um círculo de área igual à da bacia, isso é:

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação(21)}$$

Onde:

Kc é o coeficiente de compacidade;

P é o perímetro em km

De acordo com Porto et al. (1999), bacias que possuem um formato mais próximo de um círculo, com Kc igual a 1, convergem o escoamento superficial simultaneamente para um trecho relativamente pequeno do rio principal, com maior potencialidade de produção de picos de enchente elevados.

#### 5.1.2.4 Fator de forma

O fator de forma –  $K_f$  – é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A largura média é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia.

$$k_f = \frac{\bar{L}}{L} \quad \text{Equação(22)}$$

Sendo que,  $\bar{L} = \frac{A}{L}$ , então:

$$k_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação(23)}$$

O coeficiente constitui outro índice indicativos da maior ou menor tendência para enchentes da bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra do mesmo tamanho, porém com um  $k_f$  mais baixo

#### 5.1.2.5 Densidade de drenagem

Uma indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é dada pelo índice chamado densidade de drenagem Dd. Este índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmero, intermitentes ou perenes) de uma bacia e sua área total. Representando o comprimento total dos cursos d'água na bacia por L e a área de drenagem por A, a densidade de drenagem é dada pela expressão:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad \text{Equação(24)}$$

A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem bacia. Villela et Mattos (1975) corroboram que embora existam poucas informações sobre densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de 0,5km/km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 a mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas.

#### 5.1.2.6 Tempo de concentração

O tempo de concentração é considerado pela ANA (2009) como o tempo necessário para que toda a água precipitada na bacia hidrográfica passe a contribuir na seção considerada, sendo este um dos elementos que define as características do relevo de uma bacia.

Nesse trabalho, foi utilizada a metodologia baseada na fórmula empregada pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (US Soil Conservation). A seguir, são apresentadas as características e índices necessários ao cálculo do tempo de concentração.

$$t_c = 0,95 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação(25)}$$

Onde L é o comprimento axial;

H é a diferença entre cotas de nascente e da foz.

A seguir apresenta-se todos os parâmetros descritos anteriormente:

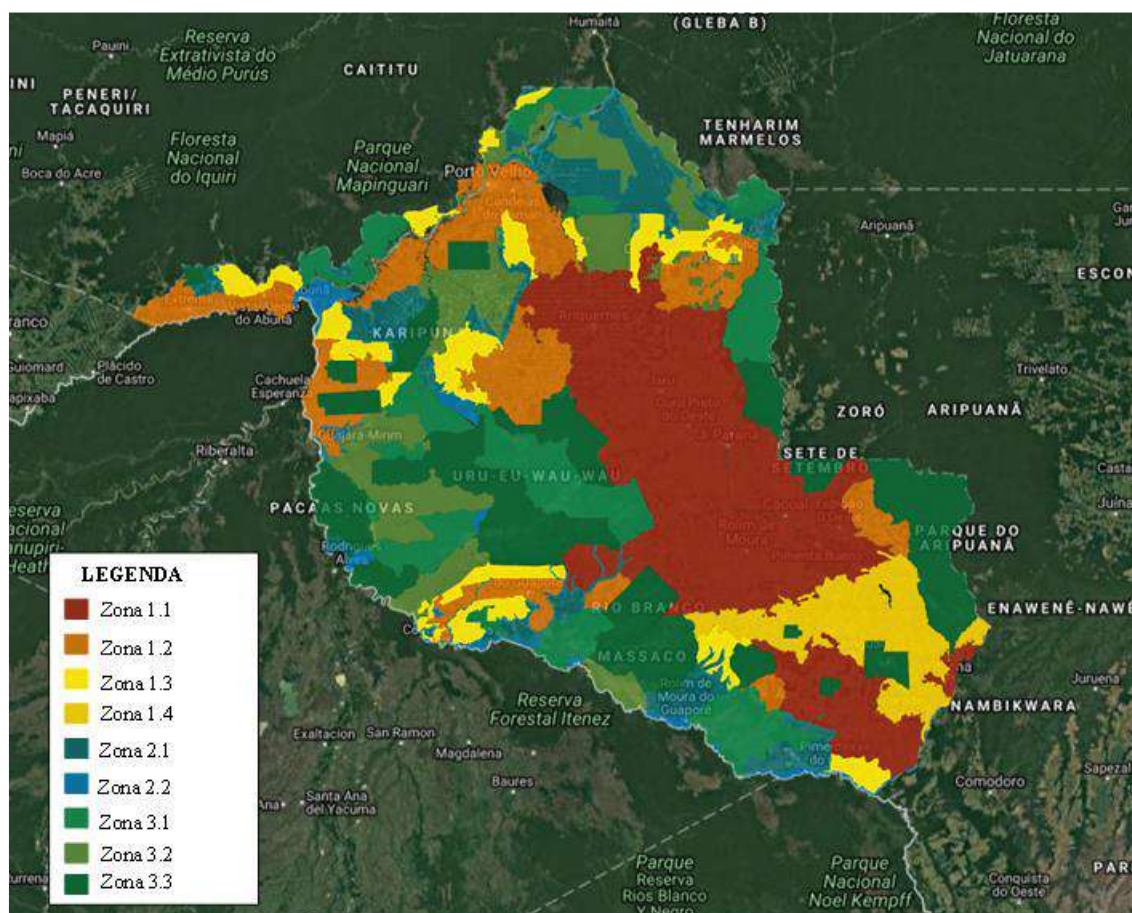
- Área: ..... 60.214 km<sup>2</sup>
- Comprimento axial: ..... 743 km
- Perímetro: ..... 2299,9 km
- Largura média: ..... 74,4 km
- Cota da nascente: ..... 612 m
- Cota de fechamento: ..... 96 m
- Declividade bruta: ..... 0,69 m/km
- Declividade média: ..... 0,36 m/km
- Coeficiente de compacidade: ..... 2,62
- Fator de forma: ..... 0,11
- Comprimento dos canais de drenagem (bacia do rio Ji-Paraná) ..... 54.598 km
- Densidade de drenagem (bacia do rio Ji-Paraná) ..... 0,75 km/km<sup>2</sup>
- Tempo de Concentração ..... 177,6 horas

#### 5.1.3 Uso e Ocupação do Solo

O uso do solo foi baseado no Zoneamento Socioeconômico ecológico do estado de Rondônia – ZSEE-RO. Esse é um instrumento de planejamento que divide o estado em zonas de uso. Essa classificação considera as características do uso de cada região bem como suas potencialidades e restrições.

Seu objetivo principal foi orientar a implementação de medidas de elevação do padrão socioeconômico das populações, por meio de ações que levassem em conta as potencialidades, as restrições de uso e a proteção dos recursos naturais, permitindo que fosse realizado o pleno desenvolvimento das funções sociais e do bem-estar de todos, de forma sustentável (RONDÔNIA, 2007).

Válido ressaltar que o Zoneamento foi aprovado pela Lei Complementar nº 233, de 06 de junho de 2000 (RONDÔNIA, 2000) posteriormente alterada pela Lei Complementar nº 312, de 06 de maio de 2005, constituindo-se no principal instrumento de planejamento da ocupação e controle de utilização dos recursos naturais do estado. A Figura 12, mostra o mapa do Zoneamento no Estado.



**Figura 12 - Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia**  
Fonte SEDAN

A descrição detalhada da legenda da Figura 12 foi baseada na Lei Complementar N° 233, de 06 de junho de 2000, encontra-se no apêndice 2.

A bacia encontra-se majoritariamente na Zona 1.1 e parte na Zona 3.

A zona 1 são áreas destinadas ao uso agropecuário, agroflorestal e florestal. A sub-zona 1.1 também engloba Áreas com grande potencial e dotadas de infraestrutura para o desenvolvimento urbano (maiores densidades populacionais), bem como para o



desenvolvimento rural (potencial agropecuário), com áreas de alto custo de preservação e baixa vulnerabilidade a erosões.

A Zona 3 compreende as áreas institucionais, constituídas pelas Unidades de Conservação de uso restrito e controlado.

Portanto, são áreas com maior risco humano, isso reafirma a necessidade de um estudo mais detalhado de Vazão Máxima Provável.

Outro dado que se pode inferir, é que por ainda ser uma região preservada, ainda existe uma evapotranspiração elevada e uma potencial de retenção de água no solo muito grande.

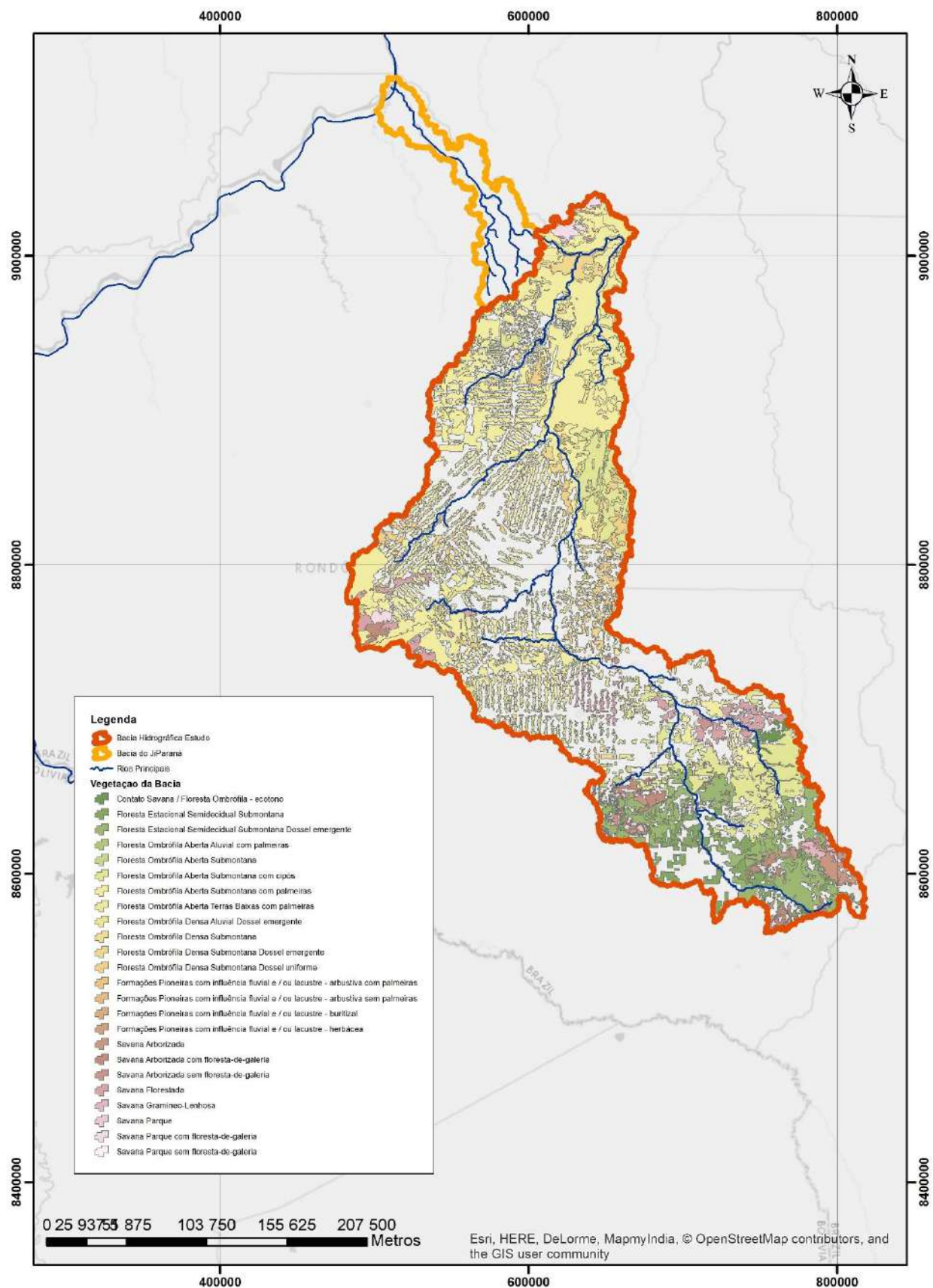
#### *5.1.4 Vegetação e Solos*

O ICMBio (2009) caracteriza a vegetação do estado de Rondônia como uma área de transição entre as formações vegetais das Florestas Tropicais da Região Amazônica e as do Cerrado do Brasil Central, sendo predominante a floresta ombrófila aberta.

Na bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, conforme se pode verificar na Figura 13, no que tange à cobertura vegetal, há predominância da Floresta Ombrófila Aberta Submontana, porém, as áreas de pastagens também compreendem uma fração relevante da área da bacia.

Os solos predominantes em Rondônia são os Latossolos, que ocupam área em torno de 58%, sendo 26% de Latossolo Vermelho amarelo, 16% de Latossolo Vermelho e 16% de Latossolo Amarelo. Os Argissolos e Neossolos ocupam 11% do território cada um deles, os Cambissolos ocupam 10 % e os Gleissolos ocupam 9%. As demais classes de solos ocupam o restante da área (1%).

O latossolo, que é um solo argiloso, confere a região uma característica de alta taxa de infiltração das chuvas e por isso uma boa drenagem superficial da região.



**Figura 13 - Vegetação do Estado de Rondônia**  
**Fonte: Elaboração Própria**

A análise detalhada da Figura 13 baseada no Manual Técnico da Vegetação Brasileira – 2ª Edição, elaborado pelo IBGE (2012) encontra-se no apêndice 3.

#### *5.1.5 Orografia*

Segundo o Mapa do IBGE – A região da bacia do Rio Ji-Paraná é predominantemente dominada por uma superfície de aplanamento, com pontos de agrupamento de morros e colinas.

Na região Sul da bacia, encontra-se presente um agrupamento de Morros e com Controle Estrutural, essa formação corresponde em um alinhamento das formas do relevo. Próximo a Ji-Paraná e cabeceira do Jamari. Compreende um grande adensamento de morros, entremeados por vales abertos e conectados com a superfície de aplanamento circundante. Também compreende uma série de morros isolados, mas com grande distinção em relação aos mais baixos de entorno. Essa formação geralmente alcança mais de 100 metros dos relevos aplanados que geralmente os circundam.

Em sua região central, encontra-se algumas elevações de morros e colinas com superfícies tabulares. O padrão de formas predominantes é composto por interflúvios amplos e levemente tabulares, com fundos de vale geralmente abertos e amplos. Pequenas planícies fluviais formam-se em setores restritos da rede de drenagem. Há também uma série de relevos tabulares elaborados sobre rochas meta-vulcano sedimentares, com diferentes graus de dissecação e dimensões interfluviais, que se enquadram como superfícies tabulares.

Já próximo a foz apresenta uma morfologia conhecida como formação Palmeiral, que apresenta relevo tabular composto principalmente por ortoconglomerados e arenitos, depositados em um sistema fluvial entrelaçado. Fisiograficamente apresenta-se em três corpos básicos, com topo suave arredondado, com rebordos erosivos arredondados, e com paredes desnudas.

Seguindo o curso do rio Ji-Paraná, próximo a localidade de Dois de Novembro, deixa a Depressão Periférica adentrando numa região de terrenos baixos que se estende por todo o baixo curso, até as proximidades da foz no rio Madeira, denominada Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental.

A região da bacia, não apresenta é plana, sem grandes formações, o que não impede o deslocamento das massas atmosféricas.

## 5.2 Caracterização Climática Da Bacia

Importante frisar que a meteorologia utiliza uma distinção entre o tempo e clima, considerando o tempo um estado da atmosfera em determinado momento e lugar, enquanto o clima se refere às características da atmosfera inferidas de observações contínuas durante um longo período, como por exemplo, uma normal climatológica, cujo tempo de observação é de 30 anos, no caso as normais de 1961 – 1990. (INMET, 2003).

A precipitação pode ser entendida como a fase do ciclo hidrológico responsável pelo retorno das águas condensadas na atmosfera à superfície da terra. Inicia-se quando o vapor de água presente na atmosfera condensa-se formando nuvens, que podem se precipitar em um dado momento de condições meteorológicas favoráveis. Esse fenômeno, considerado aleatório no tempo e no espaço, provém das intervenções de fatores climáticos, característicos das regiões. Com isso entende-se que a análise climatológica da bacia é de extrema importância.

O IBGE (2002) classifica o estado de Rondônia como *Equatorial*, havendo apenas uma pequena área do sul do estado que compreende o clima *Tropical do Brasil Central*; como *Quente* pelo sistema fundamentado a partir da frequência e médias dos valores extremos mensais de temperatura, com temperatura média superior a 18°C em todos os meses; e como *Úmido* pelo sistema baseado nos padrões de umidade e seca mensais, compreendendo períodos de 1 a 2 e 3 meses secos, destacando-se uma pequena área no sul do estado que classifica o clima como semiúmido, com período de 4 a 5 meses secos. Considera-se a bacia do rio Ji-Paraná é homogênea do ponto de vista climático, apresentando variação sazonal com estações bem definidas durante o ano.

A bacia do Ji-Paraná está inserida na Zona Equatorial da América do Sul, onde a circulação geral é regida pelos Anticiclone Semi-Permanente do Atlântico Sul, pelo Anticiclone Migratório Polar, pela Depressão do Chaco e pela faixa de “doldrums”.

Os sistemas atmosféricos determinados por esses centros de ação compõem o quadro de circulação equatorial, no qual os sistemas que interessam à região Amazônica são o

Equatorial Continental Amazônico (Hic), o Equatorial Atlântico (Ea), a Convergência InterTropical (CIT) e o Polar Atlântico (Pa).

Nesse item serão avaliados parâmetros climatológicos considerados relevantes para o estudo, como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação.

Para analisar a temperatura e a umidade relativa do ar, foram utilizadas as Normais Climatológicas (INMET, 1992) referentes ao período 1961/1990 da estação meteorológica de Porto Velho. Essa estação situa-se nas coordenadas 08°28' S (latitude) e 63°03'W (longitude), no estado de Rondônia, a uma altitude da ordem de 95m. Para caracterização pluviométrica da região, foram utilizadas três estações pluviométricas, consideradas devido a sua localização. A primeira é Ariquemes, no sul da bacia, Tabajara em sua porção central e Porto Velho dada a sua proximidade a foz.

Além disso, foram utilizados os dados compilados da estação climatológica de Cachoeira do Samuel para análise do comportamento evaporimétrico da bacia, visto que os dados da estação de Porto Velho referem-se somente ao evaporímetro tipo Piché, que fornece valores de evaporação inferiores aos usuais.

As estações climatológicas listadas na Tabela 6, cujos dados utilizados foram adquiridos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, se referem ao período entre 1961 e 2014.

As estações Ariquemes, Cacoal e Vilhena se localizam dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Ji-Paraná, entretanto, essas estações não possuíam um longo período de dados, portanto optou-se por estações fora bacia.

**Tabela 6 - Estações Climatológicas**

Nº	Estação - Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de Funcionamento	
1	Porto Velho Convencional	-08° 46'	-63° 55'	95	01/1961	02/2008
2	Porto Velho (Automática)	-08° 45'	-63° 28'	95	07/2007	07/2018
3	Ariquemes (Automática)	-09° 56'	-62° 57'	140	07/2008	07/2018
4	Cacoal (Automática)	-11° 26'	-61° 26'	210	07/2008	07/2018
5	Vilhena (Automática)	-12° 44'	-60° 09'	590	08/2008	07/2018
6	Porto Velho - SBPV	-08° 43'	-63° 54'	102	09/1996	06/2018

**Fonte: Elaboração Própria**

### 5.2.1 Temperatura

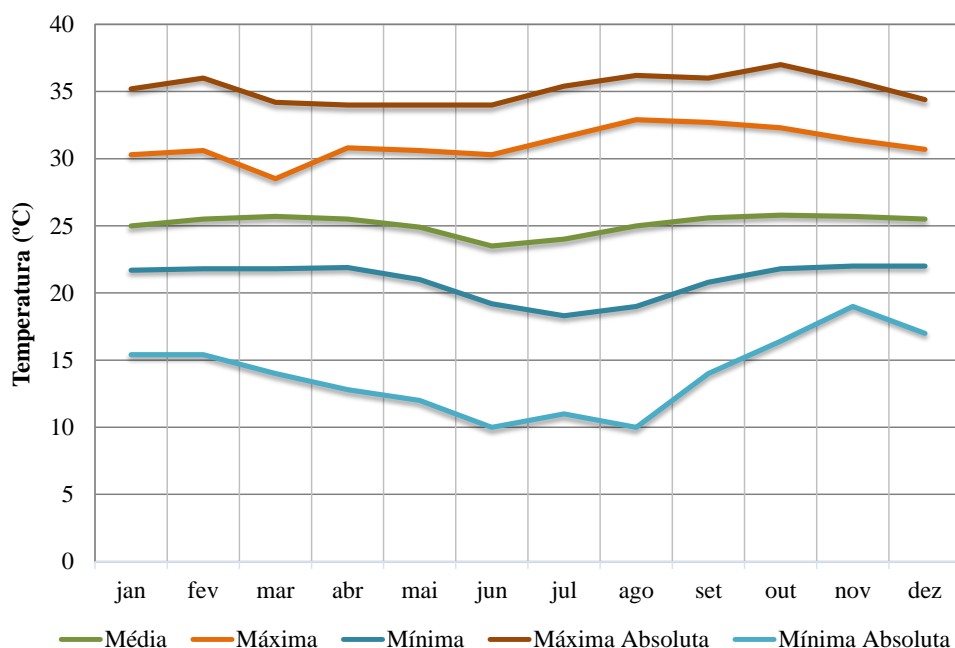
Os dados de temperatura obtidos no INMET - registram as temperaturas, definida como a quantidade de calor que existe no ar e medida pelo termômetro meteorológico. Também foram registradas

- **Temperatura Máxima Absoluta Mensal:** A mais alta das temperaturas máximas mensais observadas em um mês dado, durante um número determinado de anos.
- **Temperatura Mínima Absoluta Mensal:** A mais baixa das temperaturas mínimas mensais observadas em um mês dado, durante um número determinado de anos.
- **Temperatura Média:** Média da leitura de temperaturas verificada num período específico de tempo. Frequentemente a média entre temperaturas máxima e mínima.
- **Temperatura Virtual:** Em um sistema de ar úmido, temperatura do ar absolutamente seco que tem a mesma densidade e a mesma pressão que o ar o úmido.

A variação das temperaturas médias ao longo do ano, bem como as médias das temperaturas máximas e mínimas, e os extremos observados no período 1961 a 1990, para a estação de Porto Velho (INMET, 1992), são apresentados na Figura 14.

Na Figura 14 se observa que a região se caracteriza por possuir uma pequena amplitude térmica anual, e a existência de um bimestre mais frio entre junho e agosto. A temperatura mínima absoluta observada ocorreu em agosto de 1978 e junho de 1985, quando atingiu o valor de 10°C. Já o período mais quente, em média, ocorre em setembro e outubro, tendo a temperatura máxima observada atingido o valor de 37o C (em outubro de 1988).

Na estação de Porto Velho, a temperatura média anual é de 25,2° C, com médias extremas de 25,8° C e 23,5° C.



**Figura 14 - Temperatura em Porto Velho – Normais Climatológicas (1961-1990)**  
**Fonte: INMET (2010)**

### 5.2.2 Umidade Relativa

Define-se umidade como a quantidade de vapor de água contida na atmosfera. O ar pode facilmente absorver umidade na forma de vapor d'água. A capacidade de absorção varia com diversos fatores, entre eles a temperatura do ar, a da água e a quantidade de vapor existente. Quanto maior a temperatura do ar, mais vapor o mesmo poderá reter.

Em hidrometeorologia, a umidade do ar refere-se unicamente ao vapor d'água contido na atmosfera, não considerando a água nos estados líquido e sólido. O índice mais conhecido para descrever o conteúdo de vapor d'água é a umidade relativa. Por definição, umidade relativa é a razão entre a razão de mistura real  $w$  e a razão de mistura de saturação

Pode-se dizer:

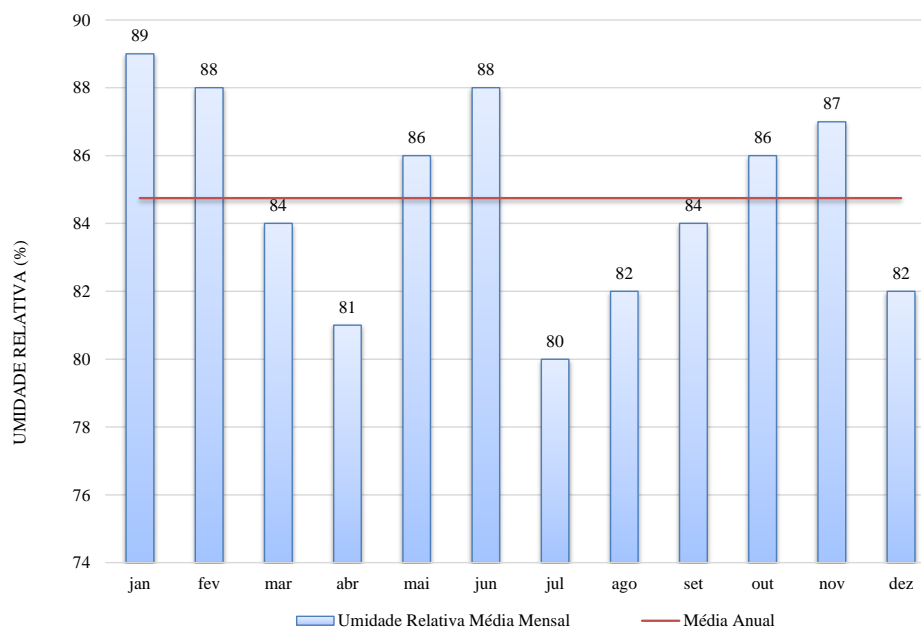
$$U(\%) = 100 \frac{e}{e_s(T)} = \frac{w}{w_s} \quad \text{Equação (26)}$$

Onde,

$e_s(T)$  é a tensão saturante do vapor à temperatura  $T$  e  $w_s$  é a razão da mistura saturantes correspondente a  $e_s(T)$ .

A Umidade Relativa indica quão próximo o ar está da saturação, ao invés de indicar a real quantidade de vapor d'água no ar.

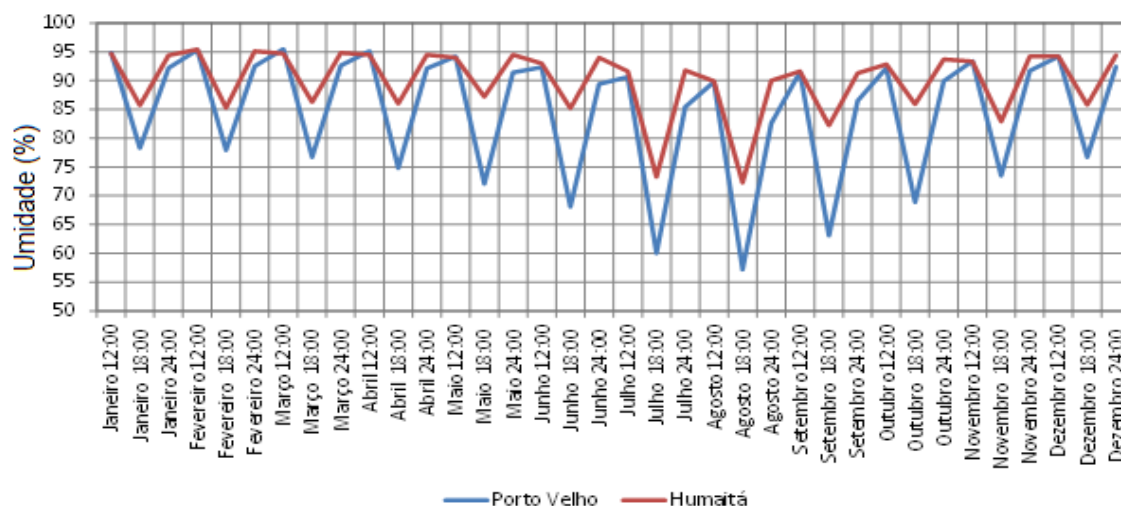
De acordo com os dados do INMET relativos a estação de Porto Velho. A sazonalidade da umidade relativa na estação de Porto Velho se observa na Figura 15. A análise desse gráfico indica que a umidade relativa média anual nesse local é de 85%, sendo julho o mês onde ocorreu o valor mínimo e janeiro o máximo. Os valores extremos médios anuais da umidade relativa oscilam entre máximos da ordem de 89% e mínimos superiores a 80%.



**Figura 15 - Umidade Relativa Histórica – Normais Climatológicas (1961-1990)**  
**Fonte: INMET (2010)**

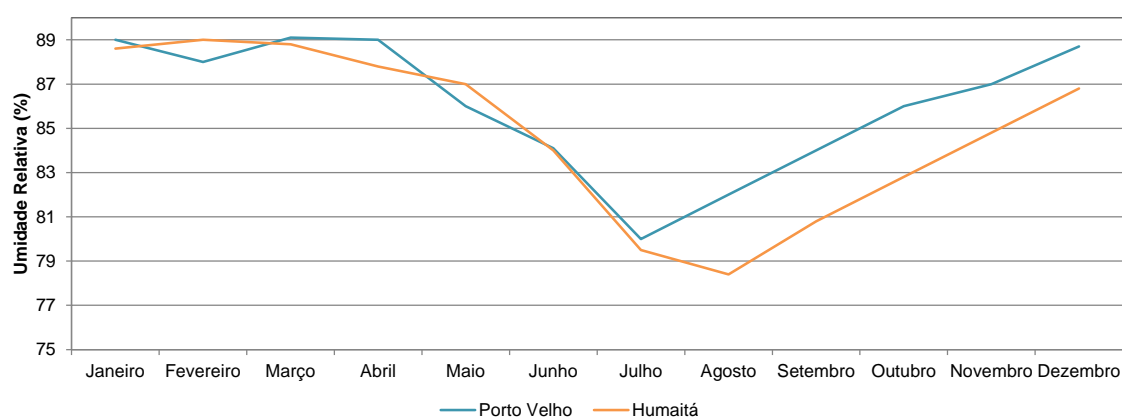
A umidade relativa média mensal, nos horários sinóticos (12:00h, 18:00h, 24:00h) varia entre a mínima de 55 e 65% na estação seca julho / agosto / setembro e a máxima de 90 a 95 %, na estação chuvosa dezembro / janeiro / fevereiro. Nota-se que os valores mínimos diários ocorrem sistematicamente no horário de 18:00 horas GMT, enquanto os máximos ocorrem no período entre 24:00 e 12:00 horas GMT, devido ao ciclo diurno. (Figura 16)





**Figura 16 - Umidade Relativa Sinótica - Normais Climatológicas (1961-1990)**  
**Fonte: INMET (2010)**

A Figura 17 mostra a média mensal histórica do período para as estações de Humaitá e Porto Velho.



**Figura 17 - Umidade Relativa Mensal - Normais Climatológicas (1961-1990)**  
**Fonte: INMET (2010)**

### 5.2.3 Evaporação

Evaporação é o processo natural pelo qual a água, de uma superfície livre (líquida) ou de uma superfície úmida, passa para a atmosfera na forma de vapor, a uma temperatura inferior à de ebulição.

No que diz respeito a evaporação de superfície d'água livre, existem inúmeros métodos que procuram estimar as relações de dependência com o clima. Existe, contudo, maior confiabilidade nos Métodos dos Tanques. A popularidade de tal método deve-se ao baixo custo, fácil manutenção, operação e facilidade de conversão para coeficiente reservatório

x tanque. Não bastando, esse método apresenta relação direta para o cálculo de evapotranspiração.

Para caracterizar a evaporação na bacia do rio Ji-Paraná foram utilizados os dados de tanque “classe A” disponíveis na estação climatológica de Cachoeira do Samuel, para o período 1989/1998, visto que a estação de Porto Velho, além de possuir dados disponíveis referentes a um período mais antigo tanto nas Normais Climatológicas quanto no HIDROWEB, encontra-se mais afastada do aproveitamento.

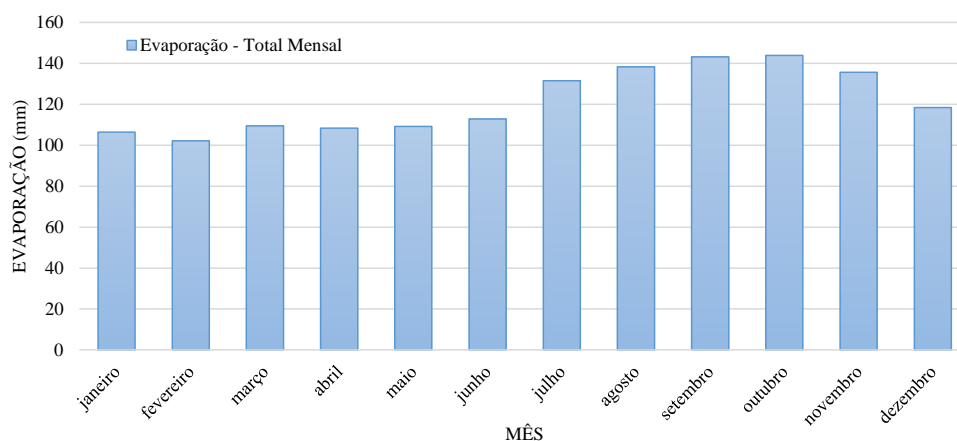
Tanque Classe A são muito utilizados no Brasil e fora deles. É um tanque cilindro de 4 pés de diâmetro, 5 polegadas de profundidade, construído em cima de um estrado de madeira de forma a ficar 15 cm do solo. O nível d’água é mantido entre 50 e 75 cm a partir do bordo superior. As medidas de altura de lamina evaporação são realizadas por meio de uma ponta de medida acoplada a um poço tranquilizador. Válido ressaltar que essas leituras necessitam de correções em caso de chuvas intensas.

Os valores mensais da evaporação estão apresentados na Tabela 7 e graficamente na Figura 18, mostrando o comportamento da evaporação ao longo do ano. A evaporação total anual é de 1459 mm, com o máximo de 143,9 mm em outubro e o mínimo de 102,2 mm em fevereiro.

**Tabela 7 - Evaporação Média Total Mensal na Estação Cachoeira do Samuel (mm)  
Período 1989 - 1998**

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
106,4	102,2	109,4	108,3	109,2	112,8	131,5	138,3	143,2	143,9	135,7	118,4	1459,1

. Fonte: HIDROWEB (2017)



**Figura 18 - Evaporação Total Mensal**  
Fonte: HIDROWEB (2017)

### 5.2.3.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração constitui-se das somas das perdas por evaporação do solo juntamente com a evapotranspiração das plantas devido a superfície vegetada.

Para cálculo desse parâmetro foi utilizado o método do Tanque Classe A. Doorembos e Pruitt (1975) recomendar multiplicar o valor de leitura do tanque Classe A por um fator de proporcionalidade denominado de coeficiente de tanque ( $K_p$ ) que depende do valor da velocidade do vento e da umidade relativa do período e da condição em que encontra-se o tanque. A Tabela 8 explicita tais valores.

**Tabela 8 - Coeficiente ( $K_p$ ) para o Tanque Classe A**

Vento	Exposição A				Exposição B			
	Tanque Circundado por Grama UR % (Média)				Tanque Circundado por Solo nu UR % (Média)			
	Posição do Tanque R* (m)	Baixa <40%	Média <40%	Alta 40-70%	Posição do Tanque R* (m)	Baixa <40%	Média <40%	Alta 40-70%
Leve <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderado 2-5	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Forte 5-8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,65	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,75
	100	0,5	0,65	0,75	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55

(\*) Entende-se por R a menor distância do centro do Tanque ao limite da bordadura

**Fonte :Adaptado de Doorenbos & Kassam (1979)**

Sendo assim, a evapotranspiração de referência, pode ser calculada com a seguinte expressão:

$$ET_0 = K_p \times ECA \quad \text{Equação (27)}$$

$ET_0$  = Evapotranspiração de referência, em mm Período

ECA é a evaporação observada no tanque classe A

$K_p$  é o coeficiente do tanque

Dessa forma foram reconhecidos os seguintes valores mensais, Tabela 9,

**Tabela 9 - Valores de Evapotranspiração Mensal**

Parâmetros	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
ECA	106,4	102,2	109,4	108,3	109,2	112,8	131,5	138,3	143,2	143,9	135,7	118,4	1459,1
Kp	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,65	0,65	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ET <sub>0</sub>	85,1	81,8	87,5	86,6	76,4	73,3	85,5	96,8	114,6	115,1	108,6	94,7	1106,0
ET <sub>0</sub> (diário)	2,75	2,92	2,82	2,89	2,47	2,44	2,76	3,12	3,82	3,71	3,62	3,06	-

Fonte: Porto et al (2003)

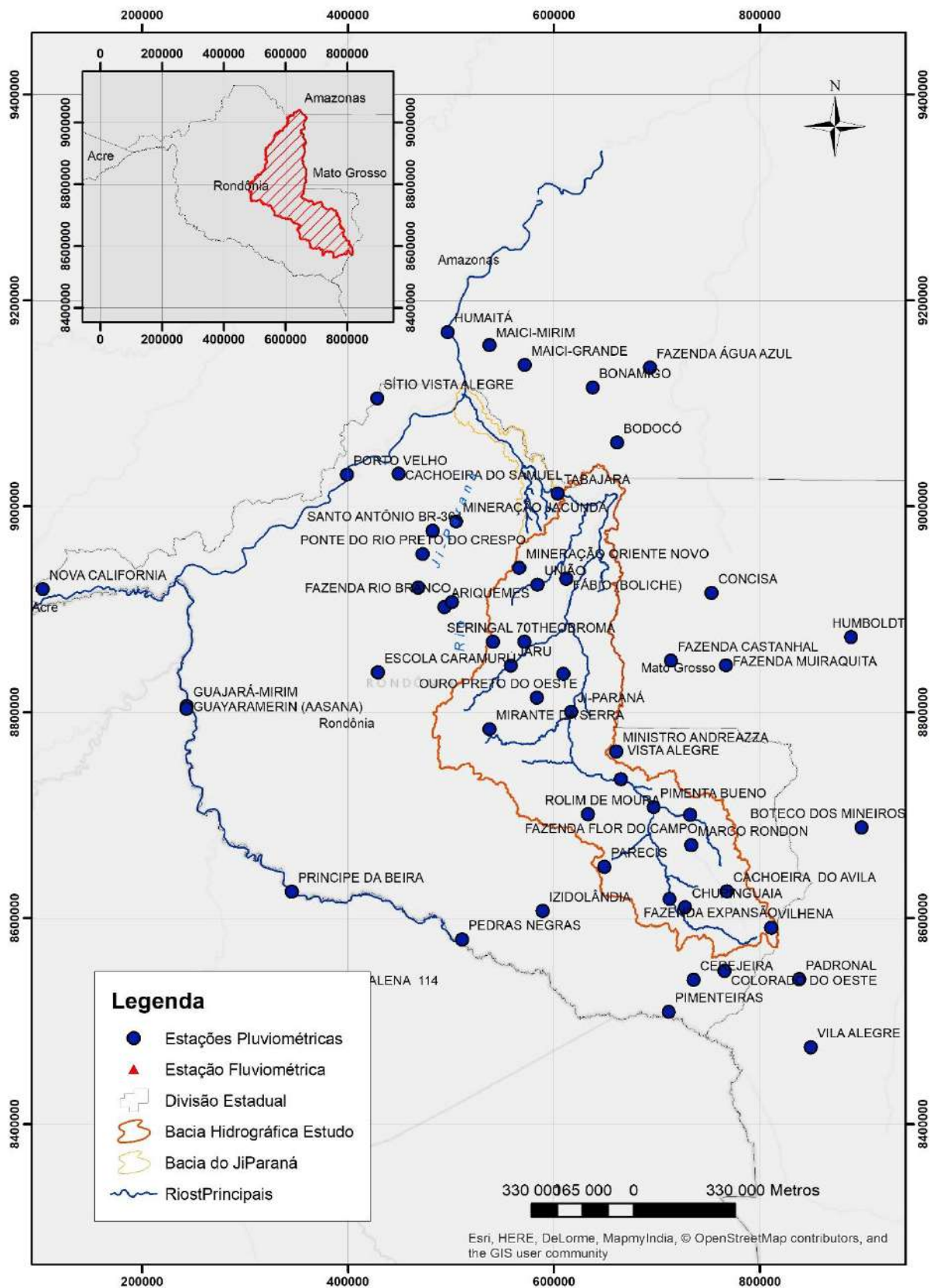
Para avaliar tal valor, foi utilizado o trabalho de VICTORIA (2004) que modelou a evapotranspiração na bacia do Rio Ji-Paraná por meio de imagens com sensores orbitais. Ele observou uma evapotranspiração anual de 1142 mm anuais e valores diários variando de 1,7 mm a 4,2mm.

### 5.3 Regime Pluviométrico

#### 5.3.1 Dados Utilizados

A seleção dos dados pluviológicos foi baseada nos dados disponibilizados pela ANA – Agência Nacional de Águas através da plataforma HIDROWEB. Foram analisadas a disponibilidade de dados mensais das estações (ANEXO 2) optando por estações de longo período e sua localização no entorno da bacia.

A Tabela 10 relaciona as estações escolhidas e a Figura 19 a localização das estações.



**Figura 19 - Localização das Estações Meteorológicas**  
**Fonte: Elaboração Própria**

As estações que compõem a rede pluviométrica da bacia de estudo serão apresentadas de acordo com a seguinte classificação:

- *Estações principais ou de base* – fornecem as informações básicas para os estudos estatísticos e devem estar em funcionamento contínuo indefinidamente, nesse caso será utilizada a estação Tabajara devido à proximidade e a disponibilidade de dados
- *Estações secundárias* – fornecem dados básicos para interpolar a variabilidade espacial dos elementos hidrológicos. Essas serão utilizadas para preenchimento das outras estações

**Tabela 10 - Estações Pluviométricas da Bacia do Ji-Paraná e Entorno**

Estação		Município	Estado	Coordenadas		Responsável / Operador
Código	Nome			Latitude (S)	Longitude (W)	
00963000	Ariquemes	Ariquemes	Rondônia	09° 55' 54"	63° 03' 25"	ANA / CPRM
00861001	Bodocó	Humaitá	Amazonas	08° 29' 00"	61° 32' 00"	ANA / COHIDRO
00861002	Bonamigo	Manicoré	Amazonas	08° 00' 06"	61° 44' 59"	ANA / COHIDRO
01360001	Cerejeira	Cerejeiras	Rondônia	13° 11' 48"	60° 49' 24"	ANA / CPRM
01260006	Chupinguaia	Chupinguaia	Rondônia	12° 33' 38"	60° 54' 15"	ANA / CPRM
01360000	Colorado do Oeste	Colorado do Oeste	Rondônia	13° 06' 51"	60° 32' 54"	ANA / CPRM
01063000	Escola Camurú	Ariquemes	Rondônia	10° 30' 18"	63° 38' 46"	ANA / CPRM
00961003	Fábio (Boliche)	Machadinho d'Oeste	Rondônia	09° 40' 53"	61° 58' 44"	ANA / CPRM
01061002	Fazenda Castanhal	Rondolândia	Mato Grosso	10° 23' 49"	61° 02' 43"	ANA / CPRM
01261000	Fazenda Expansão	Chupinguaia	Rondônia	12° 29' 16"	61° 02' 47"	ANA / CPRM
01160002	Fazenda Flor do Campo	Pimenta Bueno	Rondônia	11° 44' 56"	60° 52' 04"	ANA / CPRM
00963004	Fazenda Rio Branco	Ariquemes	Rondônia	09° 53' 14"	62° 59' 16"	ANA / CPRM
01065002	Guarajá-Mirim	Guarajá-Mirim	Rondônia	10° 47' 33"	65° 20' 52"	ANA / CPRM
01065006	Guayaramerin*	-	-	10° 49' 00"	65° 20' 55"	-
00763000	Humaitá	Humaitá	Amazonas	07° 31' 00"	63° 02' 00"	INMET / INMET
00763001	Humaitá	Humaitá	Amazonas	07° 30' 55"	63° 1' 43"	ANA / COHIDRO
01262001	Izidolândia	Alta Floresta d'Oeste	Rondônia	12° 36' 05"	62° 10' 42"	ANA / CPRM
01062001	Jaru	Jaru	Rondônia	10° 26' 45"	62° 27' 56"	ANA / CPRM
01061001	Ji-Paraná	Ji-Paraná	Rondônia	10° 50' 58"	61° 55' 50"	ANA / CPRM
01364001	Magdalena*	-	-	13° 20' 00"	64° 09' 00"	-
00762003	Maici-Grande	Humaitá	Amazonas	07° 48' 10"	62° 20' 52"	ANA / COHIDRO
00762002	Maici-Mirim	Humaitá	Amazonas	07° 37' 51"	62° 39' 48"	ANA / COHIDRO
01160000	Marco Rondon	Pimenta Bueno	Rondônia	12° 00' 55"	60° 51' 18"	ANA / CPRM
00962001	Mineração Jacundá	Porto Velho	Rondônia	09° 10' 45"	62° 57' 11"	ANA / CPRM
00962000	Mineração Oriente Novo	Machadinho d'Oeste	Rondônia	09° 35' 11"	62° 23' 38"	ANA / CPRM
01063001	Mineração Ponte Massangana	Ariquemes	Rondônia	09° 45' 39"	63° 17' 15"	ANA / CPRM
01161003	Ministro Andreazza	Ministro Andreazza	Rondônia	11° 11' 49"	61° 31' 41"	ANA / CPRM
01062003	Mirante da Serra	Mirante da Serra	Rondônia	11° 00' 13"	62° 39' 22"	ANA / CPRM
01062000	Ouro Preto do Oeste	Ouro Preto do Oeste	Rondônia	10° 43' 36"	62° 14' 14"	CEPLAC / CEPLAC
01261001	Parecis	Parecis	Rondônia	12° 12' 33"	61° 37' 43"	ANA / CPRM
01262000	Pedras Negras	Costa Marques	Rondônia	12° 51' 05"	62° 53' 57"	ANA / CPRM
01161001	Pimenta Bueno	Pimenta Bueno	Rondônia	11° 41' 01"	61° 11' 32"	ANA / CPRM
01360002	Pimenteiras	Pimenteiras do Oeste	Rondônia	13° 28' 47"	61° 02' 47"	ANA / CPRM
00963009	Ponte do Rio Preto do Crespo	Rio Crespo	Rondônia	09° 28' 00"	63° 15' 00"	ANA / CPRM

Estação		Município	Estado	Coordenadas		Responsável / Operador
Código	Nome			Latitude (S)	Longitude (W)	
00863000	Porto Velho	Porto Velho	Rondônia	08° 46' 00"	63° 55' 00"	INMET / INMET
01161002	Rolim de Moura	Rolim de Moura	Rondônia	11° 44' 59"	61° 46' 35"	ANA / CPRM
01061003	Rondonias (Barrocas)	Ouro Preto do Oeste	Rondônia	10° 43' 36"	62° 14' 14"	CEPLAC / CEPLAC
00963001	Santo Antônio BR-364	Porto Velho	Rondônia	09° 15' 38"	63° 09' 43"	ANA / CPRM
01062002	Seringal 70	Jaru	Rondônia	10° 14' 11"	62° 37' 38"	ANA / CPRM
00862000	Tabajara	Machadinho d'Oeste	Rondônia	08° 56' 00"	62° 03' 14"	ANA / CPRM
01062004	Theobroma	Theobroma	Rondônia	10° 14' 11"	62° 20' 45"	ANA / CPRM
01260001	Vilhena	Vilhena	Rondônia	12° 42' 00"	60° 05' 00"	DEPV / DEPV
01161000	Vista Alegre	Cacoal	Rondônia	11° 26' 27"	61° 29' 02"	ANA / CPRM
00863003	Cachoeira do Samuel	Candéias do Jamari	Rondônia	08° 45' 35"	63° 27' 45"	ANA / CPRM
00966000	Nova Califórnia	Porto Velho	Rondônia	09° 45' 20"	66° 36' 42"	ANA / CPRM
01060001	Fazenda Muiraquita	Aripuanã	Mato Grosso	10° 26' 04"	60° 33' 26"	ANA / CPRM

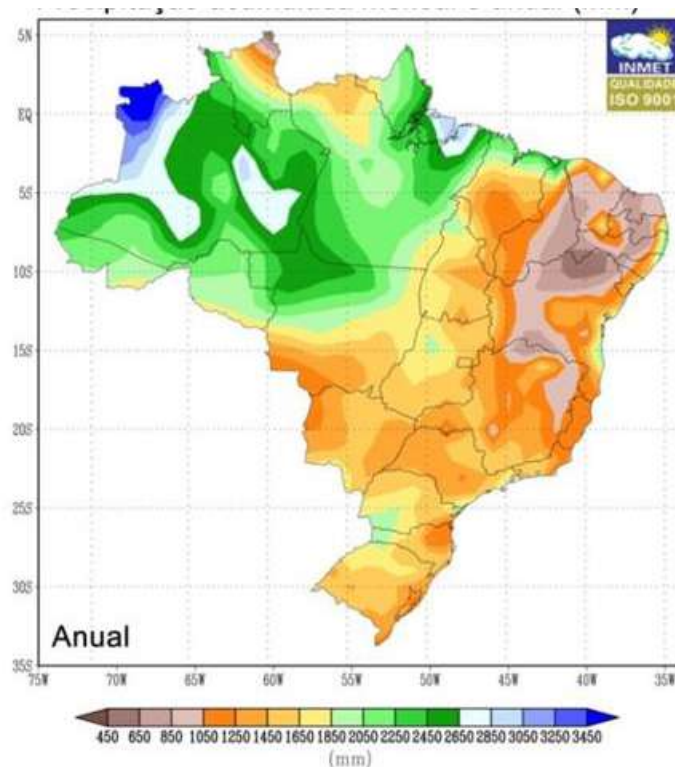
**Fonte: Hidroweb - ANA**

### 5.3.2 Regime de Chuvas

Cardoso et al. (1998) enfatiza que é imperativo o conhecimento da distribuição espaço-temporal da precipitação e seus impactos. Para uma boa gestão de recursos hídricos, sendo que, o conhecimento de chuvas intensas e seus impactos são de grande importância para aplicações nos projetos hidráulicos.

Em função da grande variabilidade temporal e espacial das precipitações, *Eltz et al.* (1992) enfatizam que a análise de frequência é uma técnica estatística um estudo de grande importância no estudo das chuvas, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

As normais climatológicas elaboradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992) para o período de 1961 a 1990 indicaram que na parte norte da bacia a precipitação anual varia entre 2.050 e 2.250 mm, enquanto que na parte sul varia entre 1.850 e 2.050 mm, Figura 20.



**Figura 20 - Precipitação Total Anual no Brasil**  
**Fonte: INMET (1992)**

A análise do regime de chuva na bacia do Rio Ji-Paraná é o início do estudo de Precipitação Máxima Provável, uma vez que essa permitirá reconhecer as grandes tormentas na região, que serão utilizadas como base para prever a maximização das chuvas.

Neste caso, para retratar o regime de chuva da bacia, são apresentados os dados das Estações pluviométricas de Tabajara e Ji-Paraná, de forma a classificar a foz e o trecho médio da bacia.

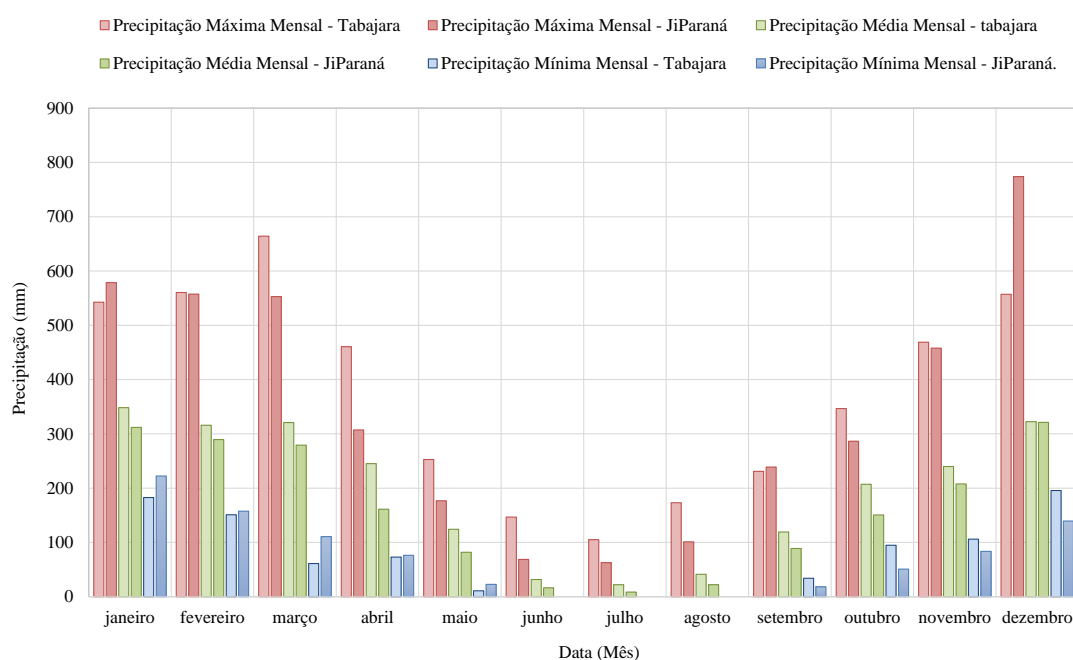
A região de estudo possui um regime pluviométrico com estações bem definidas, com alta pluviosidade no verão, no período de dezembro a março e baixa pluviosidade no inverno. Tal comportamento somado as características morfológicas da bacia influenciam drasticamente o regime fluvial do rio, como será analisado a seguir.

De acordo com Sousa (2013) os rios amazônicos, apresentam de uma forma geral uma sazonalidade bem devido o regime pluviométrico regional. O período de cheias e estiagens são capazes de ocasionar mudanças físicas, químicas e biológicas no leito dos rios.

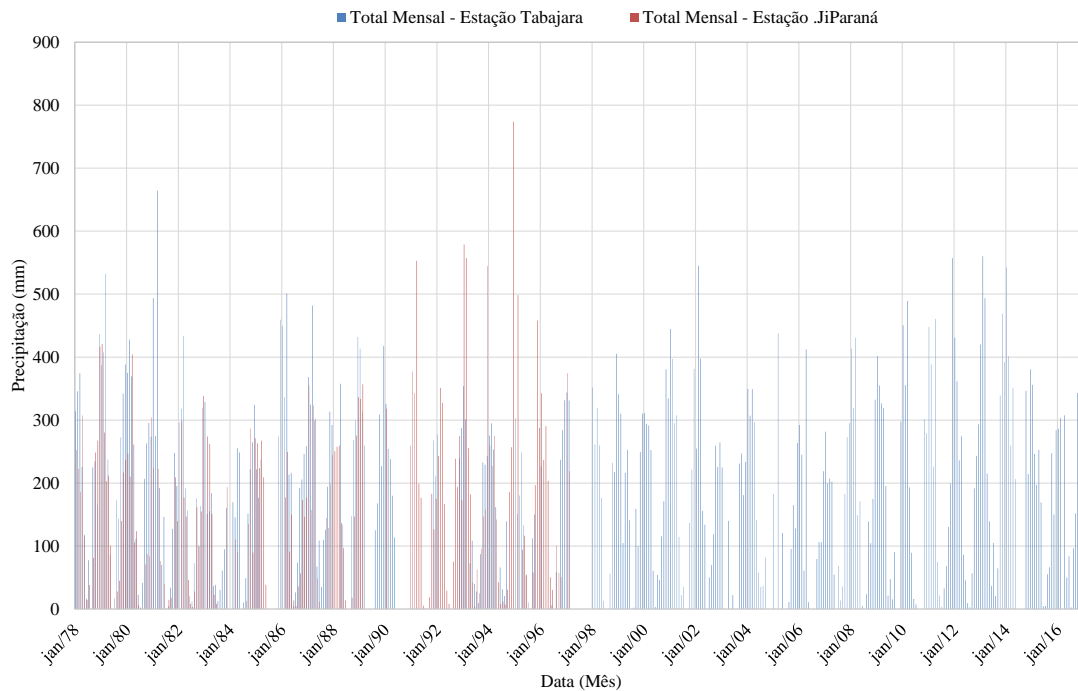


A Figura 21, mostra as chuvas máximas médias e mínimas mensais em ambas as estações pluviométricas. Nota-se uma sazonalidade clara com chuvas concentradas nos meses de outubro a março, atingindo um valor máximo mensal de 773mm na Estação de Ji-Paraná e 664 mm em Tabajara.

O pluviograma das Estações supracitadas é apresentado na Figura 22, salienta-se que o máximo histórico apresentado para a Estação de Ji-Paraná, não possui dados na estação de Tabajara. Também existe uma grande falha no período de 1988-1991 devido a desativação das estações durante o período do governo Collor (ANA, 2016)



**Figura 21 - Dados Mensais das Estações Ji-Paraná (1975-1997) e Tabajara (1978 - 2016)**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**



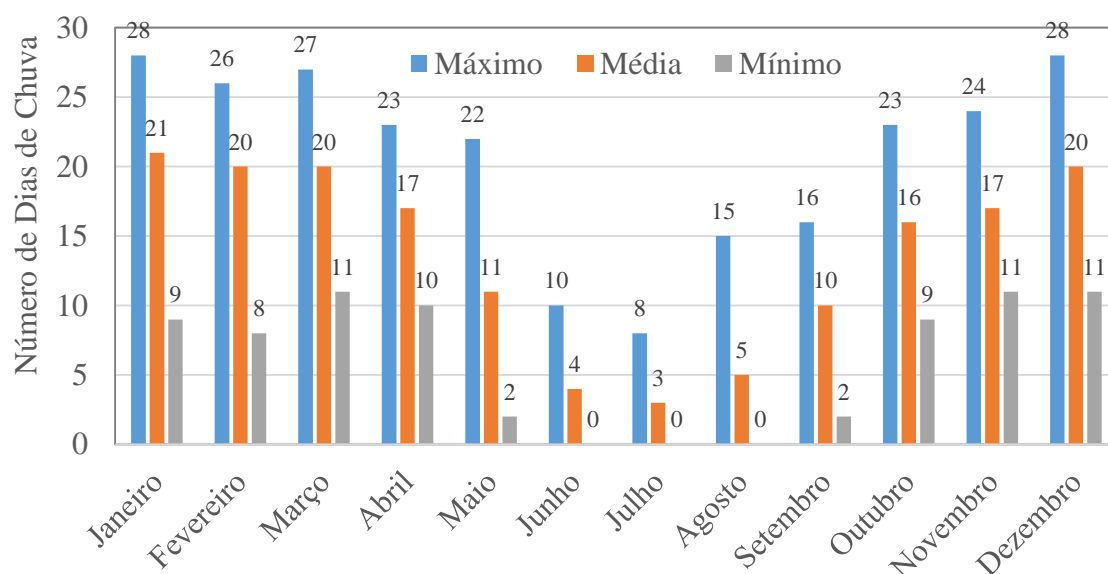
**Figura 22 - Precipitação Total Mensal nas Estações Ji-Paraná e Tabajara**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

#### 5.3.2.1 Número de dias Chuvosos

Para caracterização do período chuvoso da bacia foi realizado um levantamento dos dias de chuvas por mês no período de 1978 a 2016 na Estação Pluviológica de Tabajara (00862000).

No período contabilizou-se uma média histórica de 164 dias chuvosos por ano. Durante a estação chuvosa o número de dias em que ocorre precipitação varia de 28 a 8 dias de chuva. A Figura 23 mostra o histórico Máximo, Médio e Mínimo de chuva registrado na Estação.

Com isso, define-se as durações da PMP como 5, 10, 15 e 20 dias de chuva.



**Figura 23 - Histórico de Dias de Chuva na Estação**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

#### 5.4 Caracterização Fluviométrica.

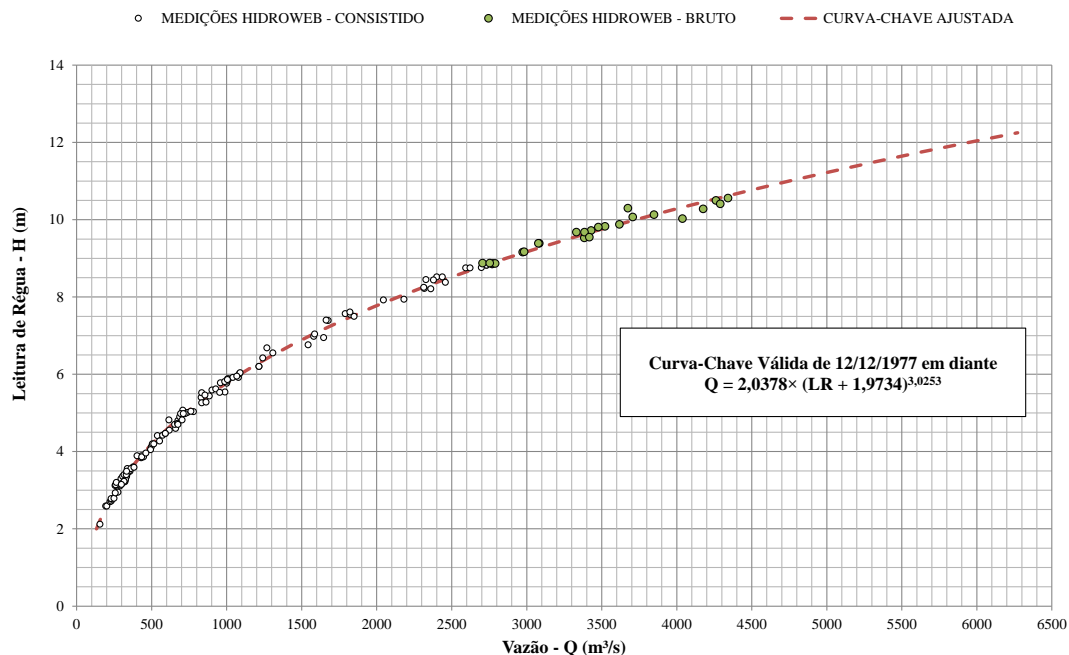
Para realização deste trabalho foram utilizados os dados fluviométricos da estação fluviométrica Tabajara, cujas informações estão apresentadas na Tabela 11,

**Tabela 11 - Estação Fluviométrica do Estudo**

Estação - Código	Estação - Nome	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Período de Funcionamento	
862000	Tabajara	-08° 55' 56"	-62° 03' 20"	60200	12/1977	05/2014

**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

Os seguintes dados foram utilizados: a série de vazões médias diárias observadas e disponibilizadas no Hidroweb do período de 12/12/1977 a 31/10/2006 e de 01/10/2014 a 12/2016. Para preencher a série de vazões foi estimada uma Curva-chave que é apresentada na Figura 24, e os dados de níveis d'água para o período de 01/11/2006 a 30/09/2014.

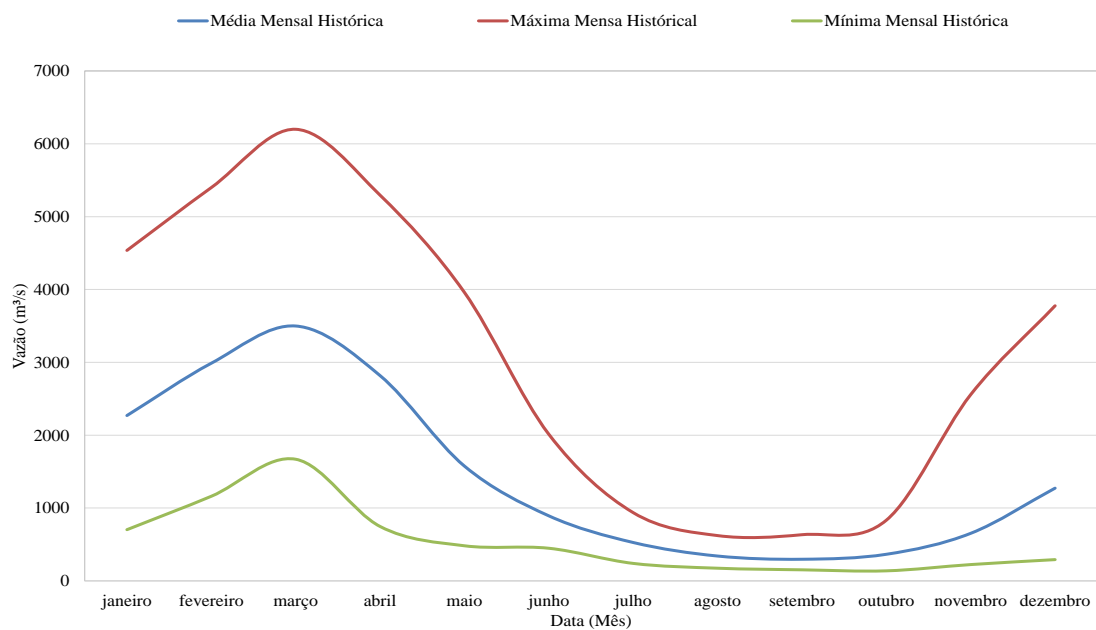


**Figura 24 - Curva Chave Estimada para a Estação Tabajara**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

A disponibilidade e as lacunas dos dados da estação fluviométrica pode ser visualizada no Anexo 2. Nota-se, pela sua análise, que a estação Tabajara, possui em torno de 39 anos de dados disponíveis

A Figura 25 mostra os valores máximos médios e Mínimos mensais históricos no período de 1978 – 2016. Pode-se perceber que o rio tem um ano hidrológico de outubro a setembro com o pico de cheia concentrado no mês de março.

A partir da análise da Figura 25 percebe-se que o intervalo de julho a setembro ocorre com valores mínimos, caracterizando-se como seca. Com o início da estação chuvosa em outubro, inicia-se a enchente do rio, período no qual esse começa a subir até atingir a cheia entre os meses de janeiro a março. O período de vazante (abril e junho) é caracterizado pela redução das chuvas, com o rio esvaziando até retornar ao período da seca.



**Figura 25 - Comportamento Hidrológico do Rio Ji-Paraná**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

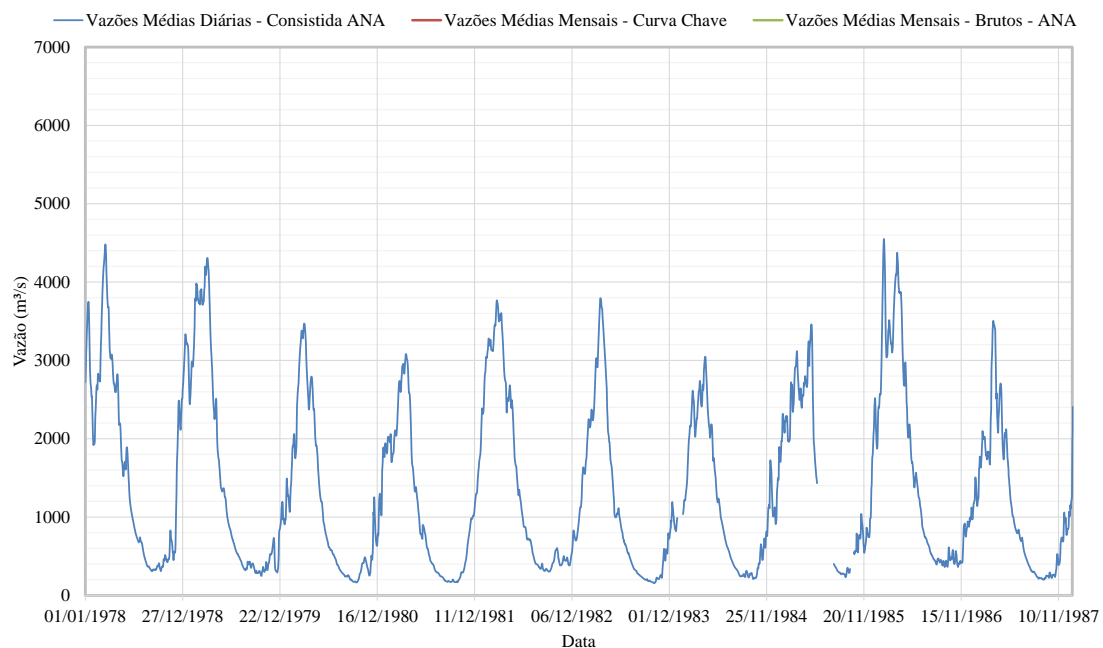
A Tabela 12 apresenta a série de vazões médias mensais observadas nesta estação, enquanto a Figura 26 apresenta a série diária da estação.

**Tabela 12 - Vazões Médias Mensais**

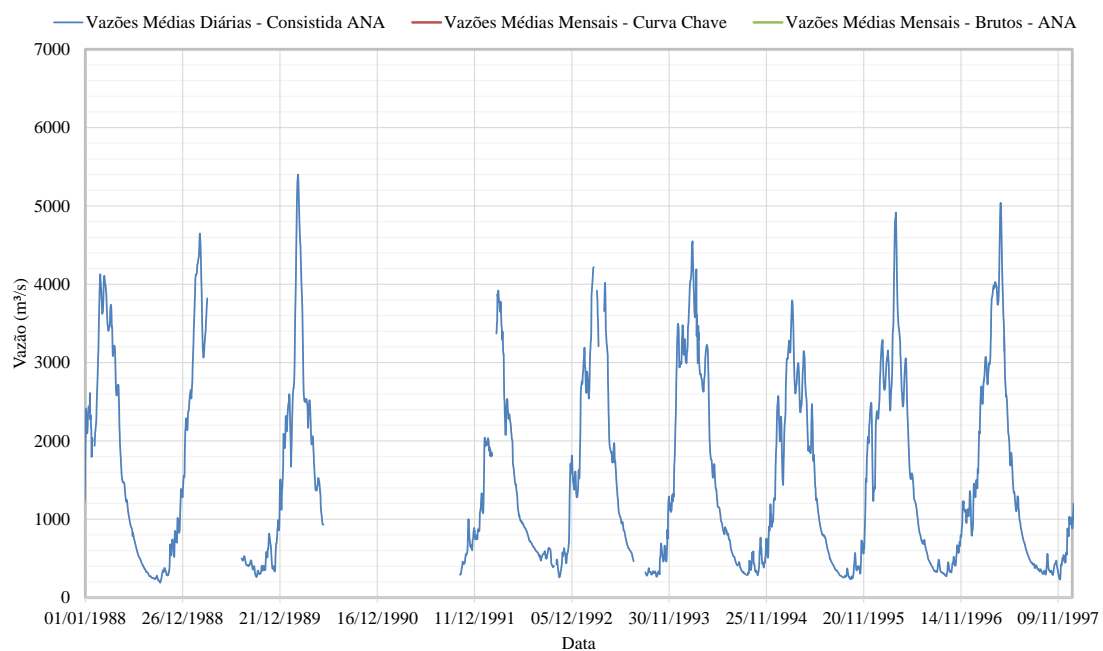
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1978	2945	2571	3947	2840	1916	1312	730	426	341	407	579	2145	1680
1979	2971	3584	3968	2971	1582	945	553	372	351	306	500	635	1562
1980	1149	2020	3226	2532	1454	704	444	267	191	315	395	957	1138
1981	1833	1954	2769	2360	1089	681	349	220	179	227	646	1299	1134
1982	2619	3263	3466	2552	1597	872	535	350	346	482	439	707	1436
1983	1438	2243	3323	2477	1180	736	415	252	187	200	503	927	1157
1984		2029	2396	2596	1668	902	488	283	266	280	652	1203	
1985	1818	2264	2712	2704	2464			320	287		758	1356	
1986	2659	3548	3780	3116	1775	1158	643	444	418	486	535	947	1626
1987	1451	1885	2814	2211	1354	783	462	269	221	254	565	1006	1106
1988			3729	3143	1735	966	548	327	245	294	573	1099	
1989	2335	3978						454	364	365	561	960	
1990	2171	3610	3429	2107	1275								
1991											638	801	
1992	1603		3477	2254	1302	876	651	537	516		709	1506	
1993	2634				1546	859				352	681	1738	
1994	3193	3800	3327	2812	1530	952	662	402	333	404	551	1089	1588
1995	2085	3069	2914	2597	1794	912	554	327	279	348	697	1914	1458
1996	2597	2797	3805	2801	1560	854	527	373	324	424	881	1069	1501
1997	1843	2838	3778	3881	1869	1064	593	399	347	366	386	766	1511
1998	1063	1621	3092	1830	1076	635	337	228	186	311	813	1498	1058
1999	2525	2014	3330	1930	1298	733	504	262	249	247	616	1282	1249
2000	2317	2644	3091	2141	1180	639	417	333	275	295	811	1205	1279
2001	2333	2824	4102	2297	1444	920	551	323	364	459	640	1802	1505
2002	2991	2747	2511	2480	1444	745	456	357	370	505	547	1036	1349
2003	1936	3053	3489	4234	1908	987			361	401	529	695	
2004	2187	3138	3479	2742	1328	1162	485	296	300	366	748	1162	1449
2005	2586	2568	4208	2632	1265	765	452	280	234	407	568	1640	1467
2006	2993	3704		3816	1500	879	515	323	271	536	801	1436	
2007	2396	3331	3230	2464	1273	680	442	291	235	373	659	1332	1392
2008	2290	3877	3799	2848	1709	963	547	345	275	338	526	925	1537
2009	1699	2992	4018	3539	2226	1079	648	390	325			1828	
2010	2853	4031	4641	3176	1292	896	485	307	253	294	513	692	1619
2011	1682	2866	3460	3239	1137	626			244	310	466	1469	
2012	2772	4169	3557	2489	1477	907	512	303	226	353	633	1210	1551
2013	2422	4055	3548	3069	1544	1022	619	365	339	528	1383	2079	1748
2014	3090	4300	4587	3744	2250					462	1267	2816	
2015	2845	3184	4136	3859	2937	1398	785	492	396	358	456	606	1788
2016	1399	2027	3335	2969	1327	749	426				931	1539	
Média	2270	2989	3499	2818	1576	893	527	341	297	365	653	1273	

Valor Duvidoso

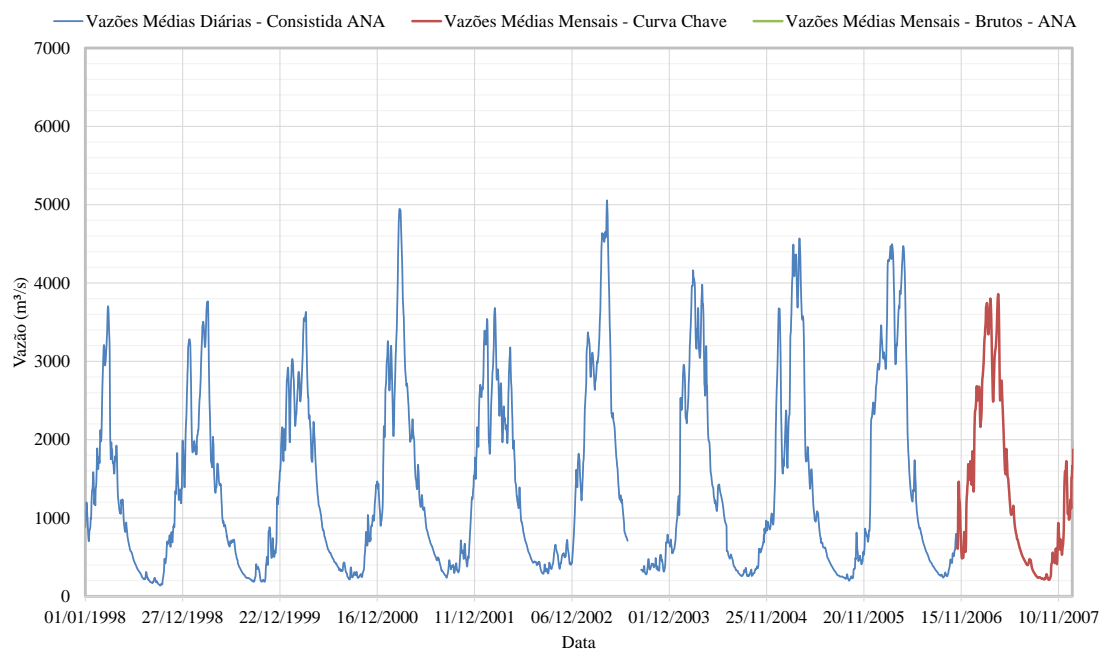
Valor Estimado



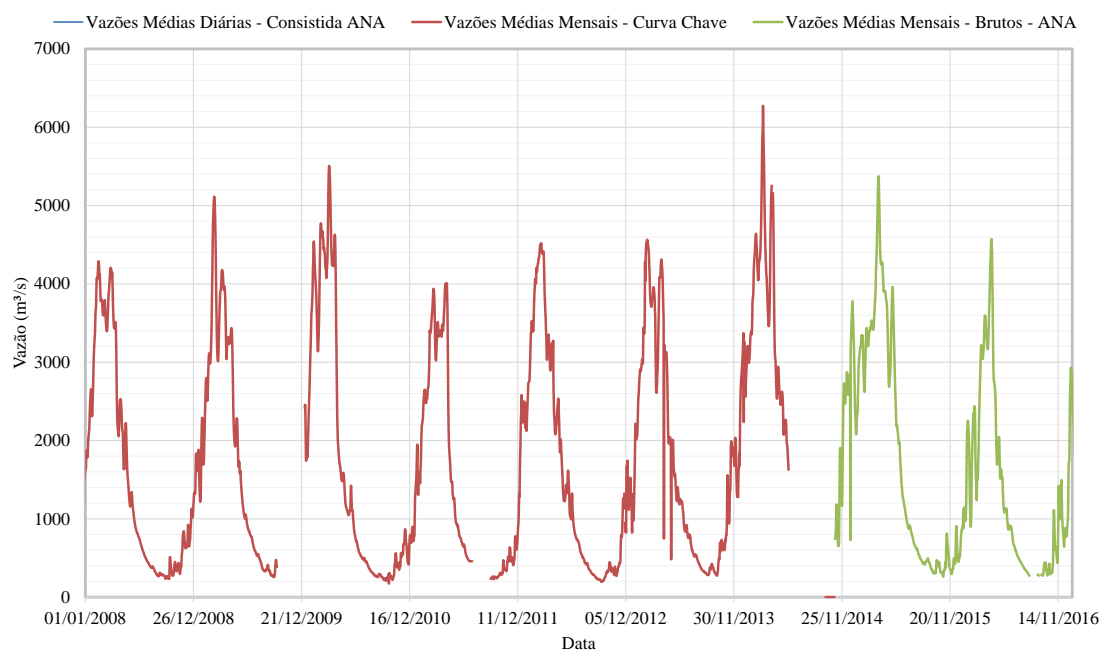
**Figura 26 - Fluviograma de Vazões Médias Diárias na Estação Tabajara**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**



**Figura 26 - Fluviograma de Vazões Médias Diárias na Estação Tabajara**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**



**Figura 26 - Fluviograma de Vazões Médias Diárias na Estação Tabajara**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**



**Figura 26 - Fluviograma de Vazões Médias Diárias na Estação Tabajara**  
**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

Como se observa pela análise do fluviograma, a vazão máxima observada na estação Tabajara ocorreu em março de 2014, sendo este evento um dos selecionados para o estudo da vazão máxima provável devido à convergência entre o pico de cheia e a maior



disponibilidade de dados dos postos pluviométricos e climatológicos. Foi também selecionado por associar-se a um grande evento chuvoso na região.

## 5.5 Vazões Extremas

Conforme apresentado, esse tópico irá estimar uma cheia de probabilidade de 10 mil anos por meio do método estatístico de Gumbel.

Os estudos de vazões extremas consideraram dados do ano hidrológico completo, no estudo de vazões máximas. Em ambos os casos, procedeu-se à análise estatística das vazões observadas na estação fluviométrica Tabajara, entre 1978 e 2016.

### 5.5.1 Vazões Máximas Anuais

As vazões de cheia e os tempos de recorrência, e os respectivos parâmetros estatísticos encontram-se relacionados nas Tabela 13 e 14, constantes a seguir. A Figura 27 mostra a aderência dos dados a distribuição de Gumbel.

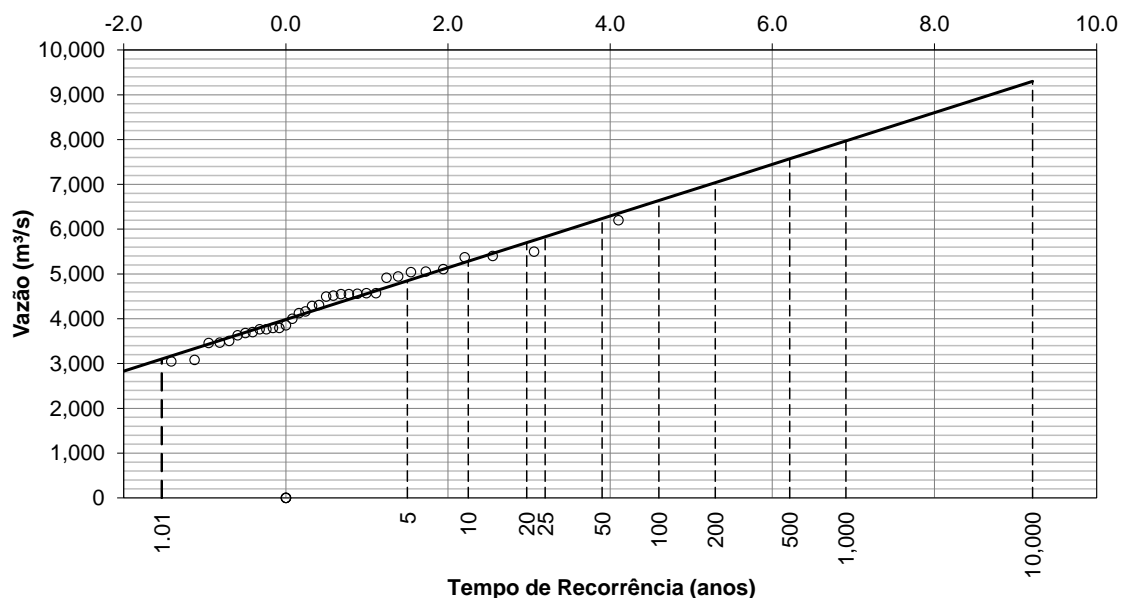
**Tabela 13 - Vazões Médias Diárias Máximas na Estação Tabajara e Tempos de Recorrência**

Ano Hidrológico		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de Recorrência (anos)
2013	2014	6200,00	60,93
2009	2010	5500,00	21,87
1989	1990	5400,00	13,33
2014	2015	5373,00	9,58
2008	2009	5107,00	7,48
2002	2003	5055,00	6,14
1996	1997	5039,00	5,20
2000	2001	4946,00	4,51
1995	1996	4915,00	3,99
2015	2016	4571,00	3,57
2004	2005	4569,00	3,23
2012	2013	4558,00	2,95
1985	1986	4549,00	2,72
1993	1994	4549,00	2,52
2011	2012	4515,00	2,34
2005	2006	4496,00	2,19
1978	1979	4306,00	2,06
2007	2008	4284,00	1,94
2003	2004	4162,00	1,84
1987	1988	4126,00	1,74
2010	2011	4001,00	1,66
2006	2007	3855,00	1,58

Ano Hidrológico		Vazão (m³/s)	Tempo de Recorrência (anos)
1982	1983	3793,00	1,51
1994	1995	3793,00	1,45
1981	1982	3766,00	1,39
1998	1999	3766,00	1,33
1997	1998	3703,00	1,28
2001	2002	3681,00	1,24
1999	2000	3631,00	1,19
1986	1987	3505,00	1,15
1979	1980	3469,00	1,12
1984	1985	3460,00	1,08
1980	1981	3082,00	1,05
1983	1984	3046,00	1,02

**Tabela 14 - Parâmetros Estatísticos da Série de Vazões Máximas Anuais na Estação Tabajara**

Nº Eventos	34
Máxima	6200
Média	4317
Mínima	3046
Desvio Padrão	740
Coef. de Variação	0.171
Assimetria	0.423



**Figura 27 - Ajuste de Gumbel**  
**Fonte: Elaboração Própria**

Dessa forma, foram calculadas para diferentes tempos de recorrência as vazões médias diárias máximas ( $Q_t^{md}$ ). Dado que o universo do estudo possui menos que 40 dados de cheia, foi utilizado o limite de confiança de 5%. A Tabela 15 apresenta as vazões de probabilidade excepcional.

**Tabela 15 - Vazões Máximas Anuais Calculadas pelo Método de Gumbel**

<b>TR (anos)</b>	<b>Posto Tabajara</b>	
	<b>Média Diária (m³/s)</b>	<b>Limite Superior - 95%</b>
2	4.200	4,420
5	4.850	5,230
10	5.280	5,800
15	5.530	6,130
20	5.700	6,350
25	5.830	6,530
50	6.240	7,070
100	6.640	7,610
200	7.040	8,150
500	7.570	8,870
1000	7.970	9,410
5000	8.900	10,660
10000	9.300	11,200

Portanto a análise dos dados gera uma cheia para um período de retorno de 10 mil anos de 11.200 m³/s.

## **6 PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ**

Nesse capítulo serão apresentados os estudos realizados segundo as metodologias meteorológica e estatísticas de cálculo da PMP aplicado a bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná. Optou-se por apresentar primeiro o método Meteorológico dado que esse apresenta parte do estudo de chuvas que irá subsidiar dados para o método estatístico.

### **6.1 Modelo Hidrometeorológico na Bacia Ji-Paraná**

A base do estudo de precipitação máxima provável considerando um estudo hidrometeorológico consiste na maximização da chuva. No caso da bacia do Rio Ji-Paraná que é uma área meteorologicamente homogênea e dada a disponibilidade de dados pluviométricos, pode-se realizar a maximização de tormentas observadas.

Conforme foi explicado, esse método depende da disponibilidade de dados hidrometeorológicos observados durante o histórico de estudo e principalmente no período das grandes tormentas.

A análise e a disposição dos dados permitem estimar um fator de maximização que pondera a relação entre a água máxima precipitada durante a tormenta e a água máxima precipitada histórica na bacia. Salienta-se que a água máxima precipitada no evento chuvoso é uma função do ponto do orvalho persistente da bacia.

A maximização das tormentas constitui a melhor estimativa da PMP (OCCHIPINTI, 1989). Tucci (2005) ressalva que para aplicação deve-se selecionar as chuvas mais intensas observadas na região e obter a umidade relativa máxima provável

Para maximização das tormentas ocorridas é necessário o reconhecimento das mesmas, para tal optou-se pela utilização das seguintes durações críticas 5, 10, 15 e 20 dias. Essas são consideradas recorrências coerentes com o tempo de concentração da bacia (de aproximadamente 8 dias) e com os valores médios históricos de dias de chuva mensais.

A definição dos eventos críticos resultou da análise do pluviograma e do fluviograma do posto Tabajara e dos dados de precipitação de todas as estações regionais com disponibilidade de dados. Foram, assim, determinados os seguintes eventos chuvosos críticos apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16 - Eventos Chuvosos Críticos**

Evento Chuvoso	Duração Crítica (dias)	Dias
16/03/1991 a 04/04/1991	5	25/03 a 29/03
	10	24/03 a 02/04
	15	16/03 a 30/03
	20	14/03 a 02/04
26/01/2013 a 14/02/2013	5	31/01 a 04/02
	10	01/02 a 10/02
	15	29/01 a 12/02
	20	26/01 a 14/02
16/02/2014 a 25/02/2014	5	21/02 a 25/02
	10	26/01 a 04/02
	15	10/02 a 24/02
	20	04/02 a 23/02

Foram feitas duas análises, uma com as precipitações diárias de todas as estações apresentadas no estudo e outra análise considerando apenas as estações dentro da bacia. Ocorreu uma grande tormenta em 1989, porém dada a carência de dados deste período, esse evento foi desconsiderado. Com isso, considerou-se a precipitação de 1991, que apareceu em ambos os casos.

O ano de 2013 foi um ano atípico na região, com chuvas nas cabeceiras dos rios e cheias excepcionais no rio Madeira e Ji-Paraná, sendo esse ano escolhido devido à grande disponibilidade de dados e por tratar-se de um ano recente.

Conforme citado anteriormente, o evento de 2014 foi considerado devido a convergência de uma cheia, um evento chuvoso de grande intensidade e uma grande disponibilidade de dados das estações pluviométricas e climatológicas.

#### *6.1.1 Análises Isoietais*

Com intuito de esclarecer a extensão dos fenômenos meteorológicos que originaram as tormentas na região de estudo da Bacia do Rio Ji-Paraná, foram realizadas análises sinóticas, referentes aos períodos chuvosos de 1991, 2013 e 2014.

Para facilitar a visualização dos núcleos chuvosos na bacia, foram traçadas as Isoietas de cada período chuvoso. Essas foram interpoladas por meio da Krigagen utilizando o software Arcgis.

O método de Kriging é baseado em uma função contínua que explica o comportamento de uma variável nas distintas direções de um espaço geográfico. (GALLARDO, 2006)

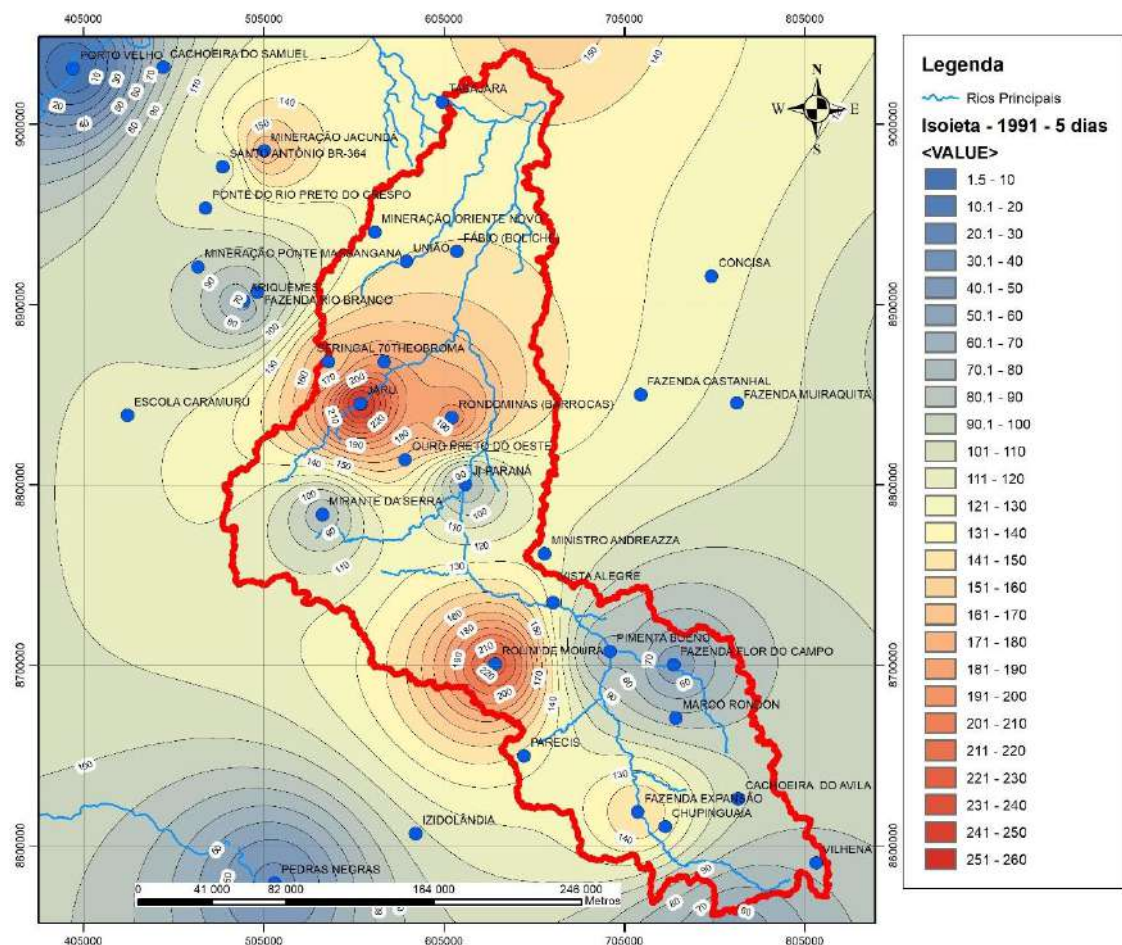
##### *6.1.1.1 Março/1991*

O primeiro o período de que vigorou entre 1990-1991 foi marcado pelo El Niño o que aparentemente causou um efeito maximizador nos eventos chuvosos. (Nascimento et al, 2010). O ano possui uma média de 147 dias de chuva e com uma a ocorrência de chuvas intensas máximas em algumas estações pluviométricas.

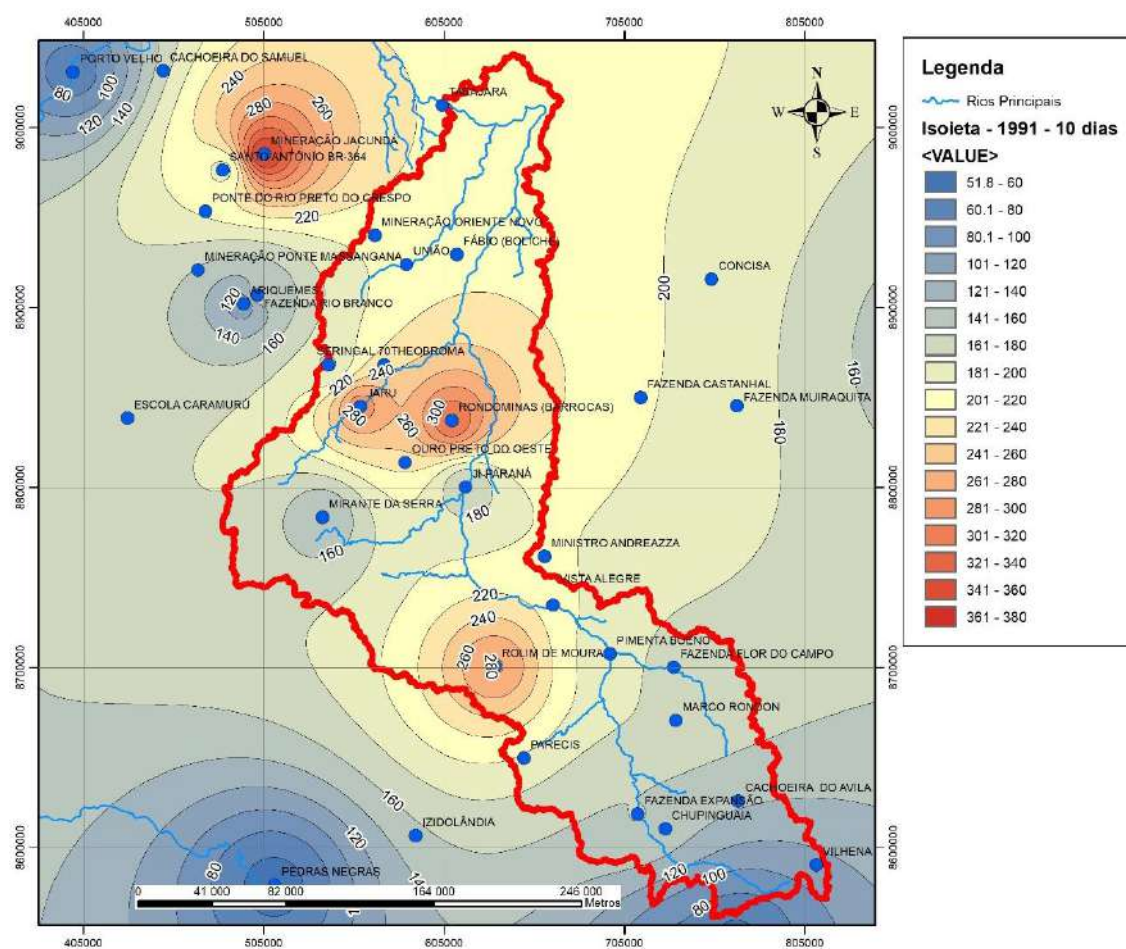
A SEDAM – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia ressaltou o prejuízo econômico e humanos nas cheias de 1991 e 2014 em apresentação das análises dos eventos extremos.

O período chuvoso de 1991 foi caracterizado pela formação de áreas de instabilidade, formadas por núcleos convectivos que se deslocaram de oeste para leste atingindo a área da bacia no seu sentido longitudinal. Esses sistemas provocaram a formação de áreas de precipitação. No período chuvoso de 5 dias formaram-se dois núcleos, sendo um ocupando maior área entre o centro e o norte da bacia, e outro em menores proporções na parte sul da bacia, com acumulados variando entre 150 e 250 mm. O núcleo da parte norte expandiu-se durante os dias seguintes, formando um grande núcleo nos períodos chuvosos de 10, 15 e 20 dias, finalizando o acumulado de 20 dias com uma configuração, em que a precipitação se distribuiu com valores entre 400 e 500 mm no centro e noroeste da bacia, enquanto que na parte mais a oeste e no sul a precipitação acumulada registrou valores entre 150 e 400 mm, conforme pode ser visto nas análises isoietais.

As Figuras Figura 28 a Figura 31 apresentam as isoietas calculadas para cada duração de chuva.

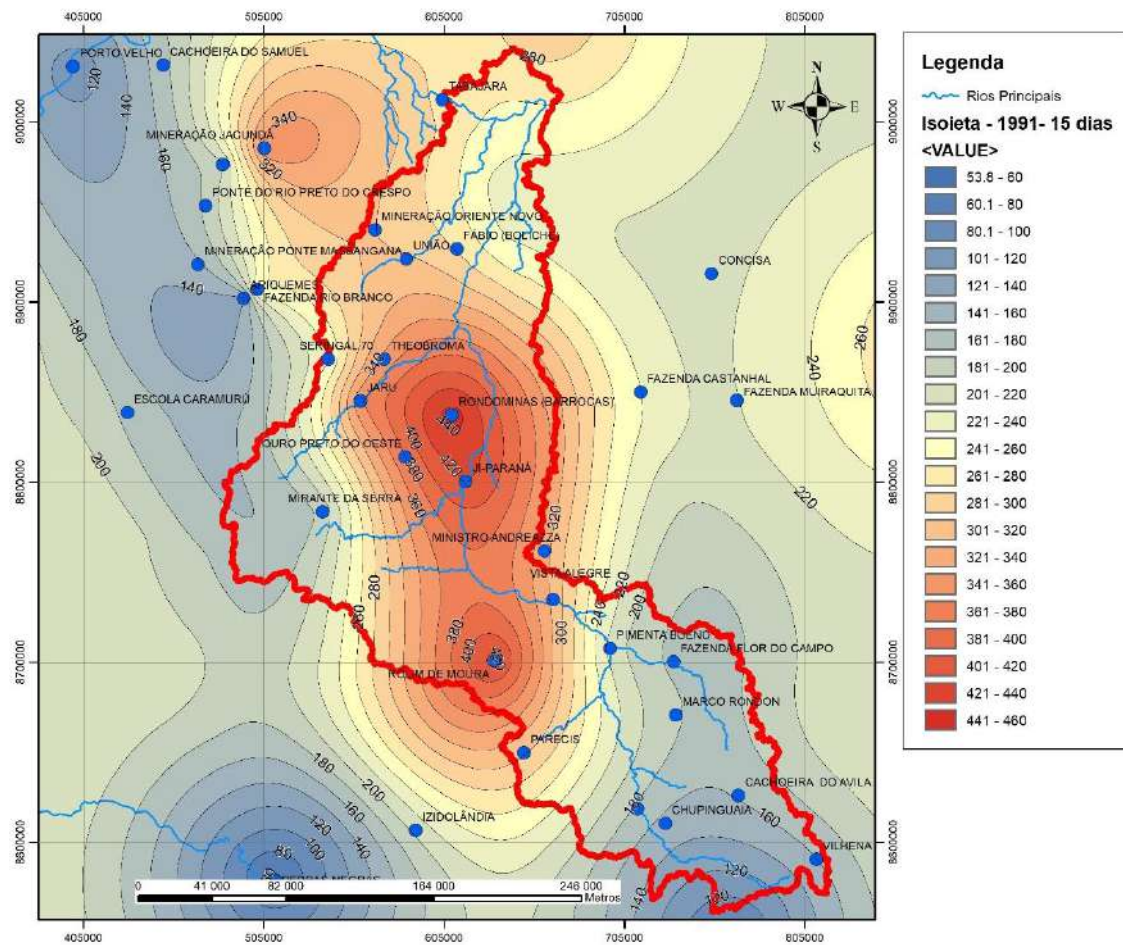


**Figura 28 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 5 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**



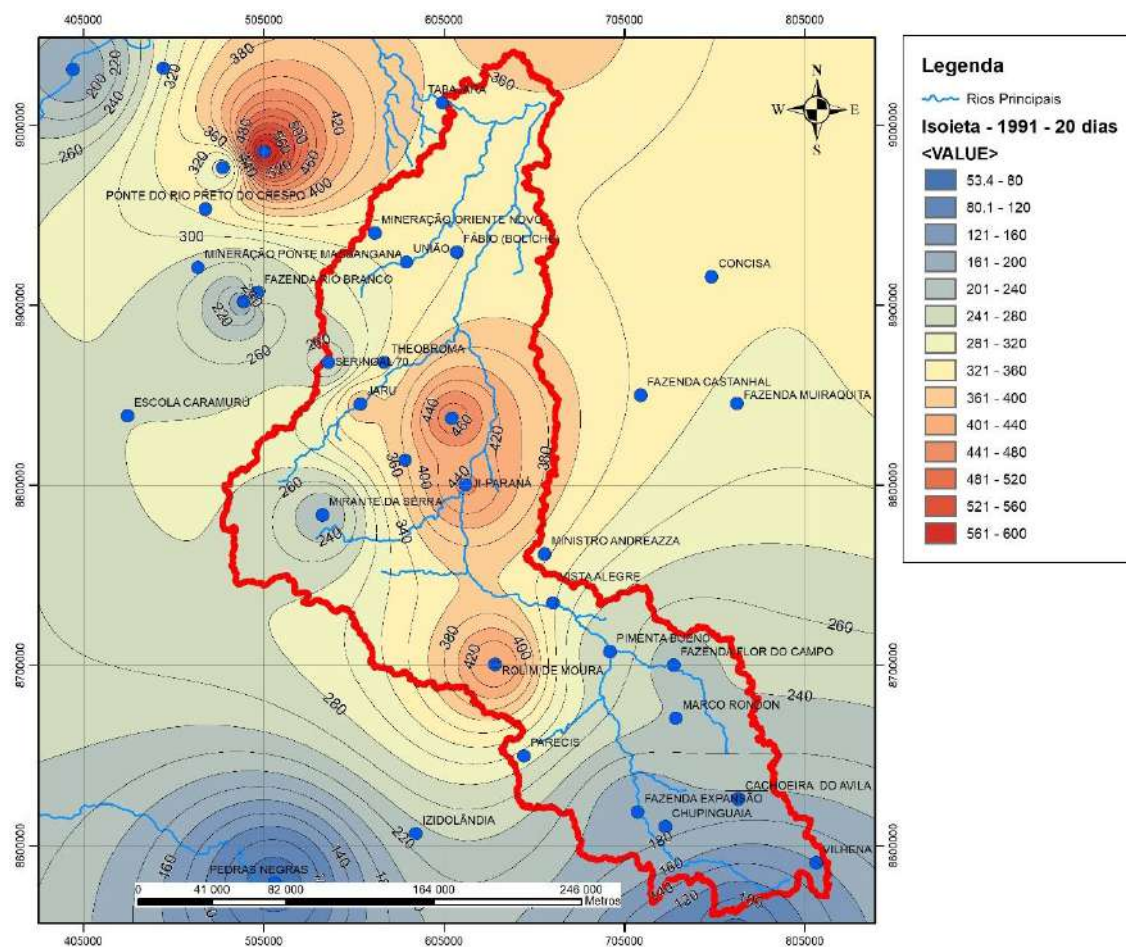
**Figura 29 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 10 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**





**Figura 30 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 15 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**





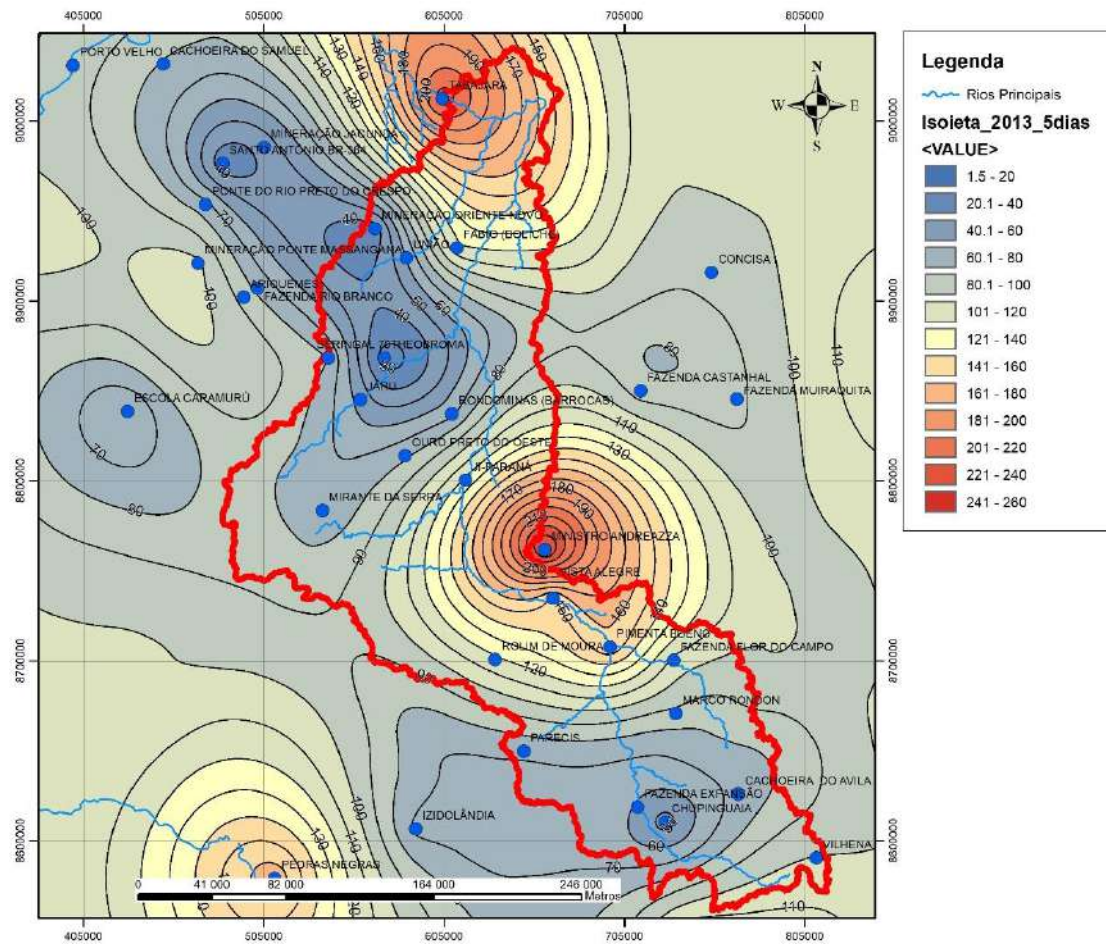
**Figura 31 - Mapa Isoietal do Evento de 1991 - Duração de 20 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**

#### 6.1.1.2 – Fevereiro de 2013

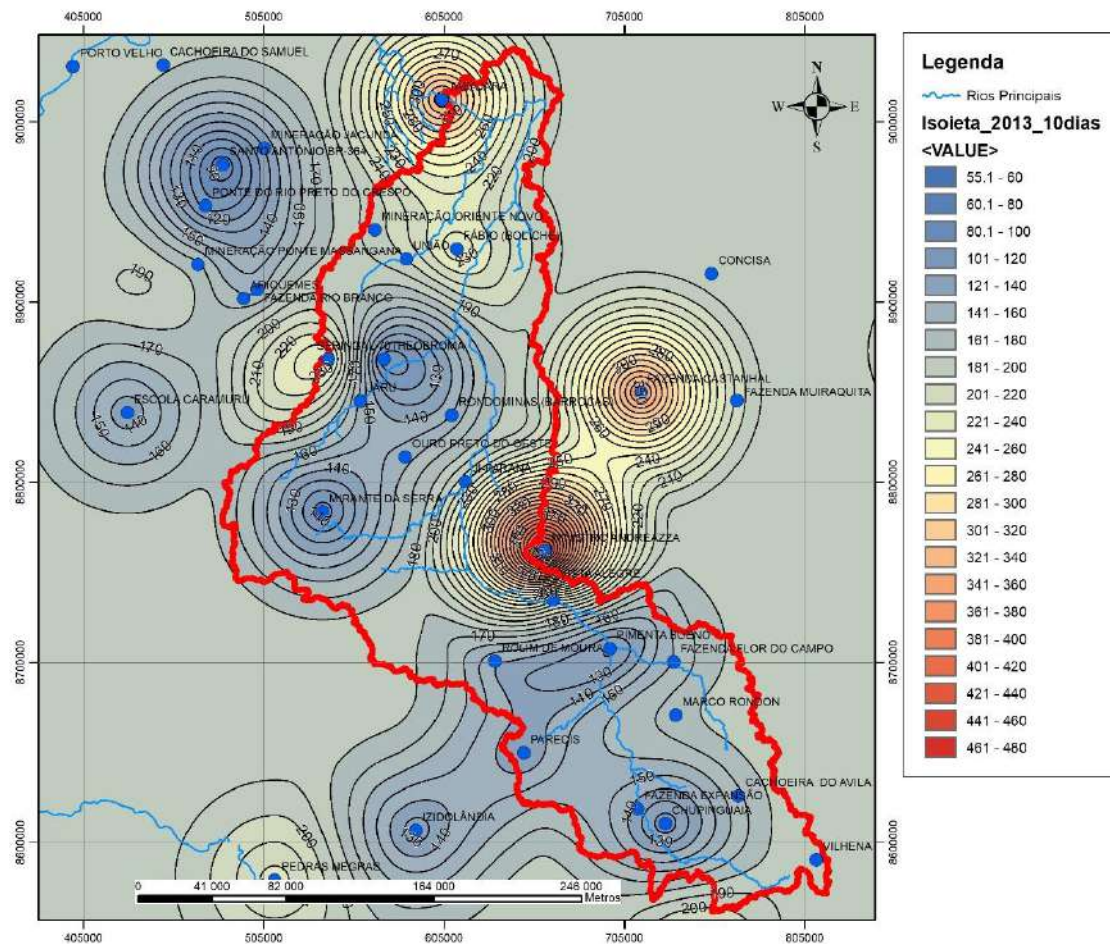
Em janeiro e fevereiro de 2013 a precipitação variou de normal a acima da Normal climatológica em Rondônia.

Nesse ano a zona de convergência Intertropical, aliada a circulação dos ventos, ao calor e a alta umidade relativa do ar foram responsáveis por pancadas de chuva em Rondônia e adjacências. Entre os dias 30/01 a 14/02 ocorreram pancadas de chuva espalhadas pela região.

Os mapas Isoietais explicitam a situação, Figura 32 aFigura 35. Nota-se o núcleo de chuva centrado principalmente na região das estações de Ministro Andreazza e Tabajara e uma precipitação considerável no restante da bacia.

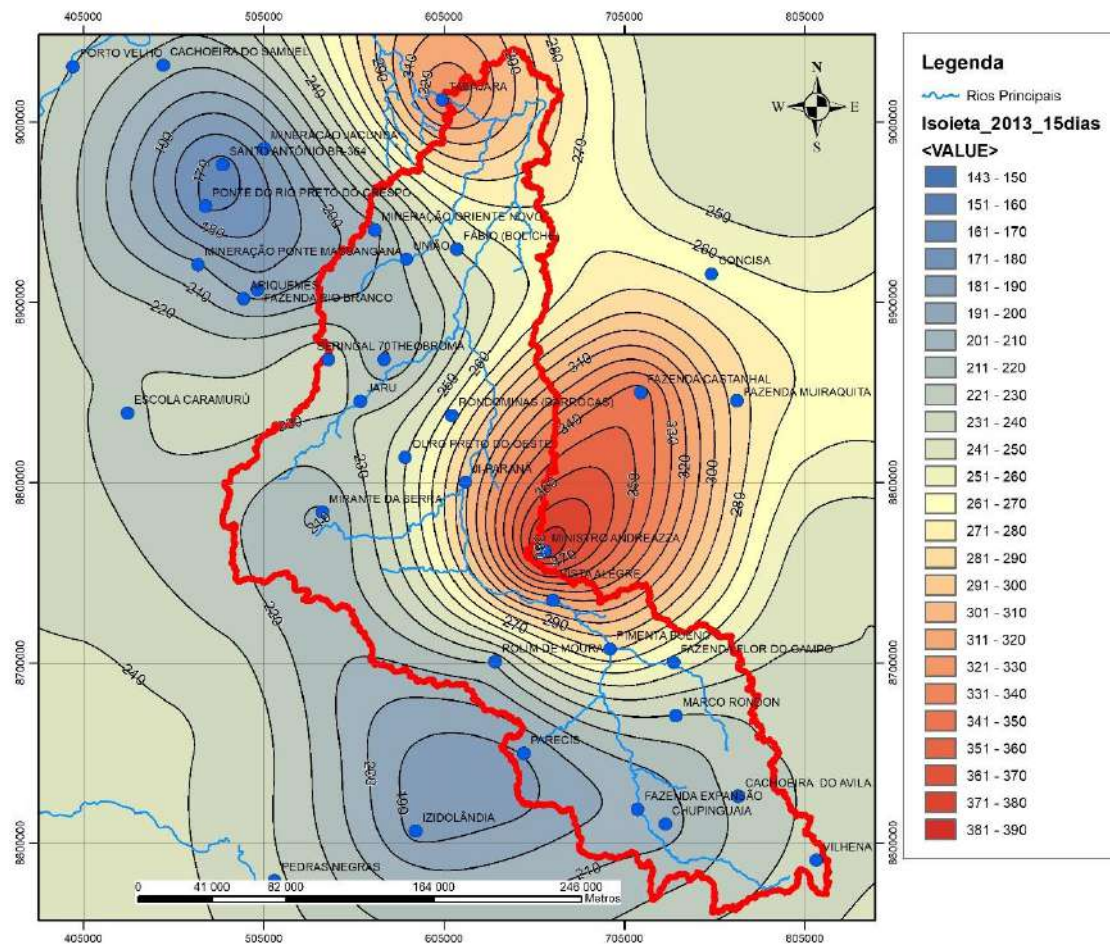


**Figura 32 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 5 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**

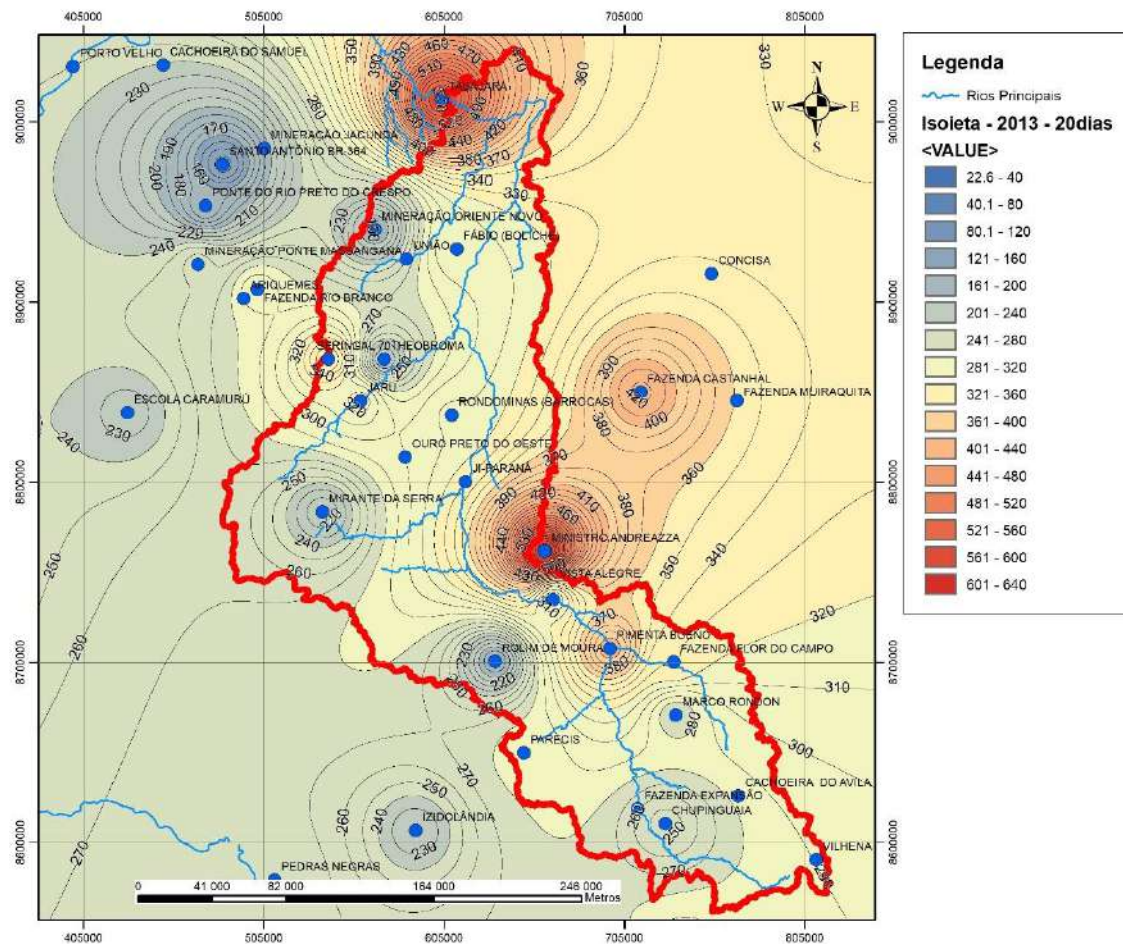


**Figura 33 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 10 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**





**Figura 34 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 15 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**



**Figura 35 - Mapa Isoietal do Evento de 2013 - Duração de 20 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**

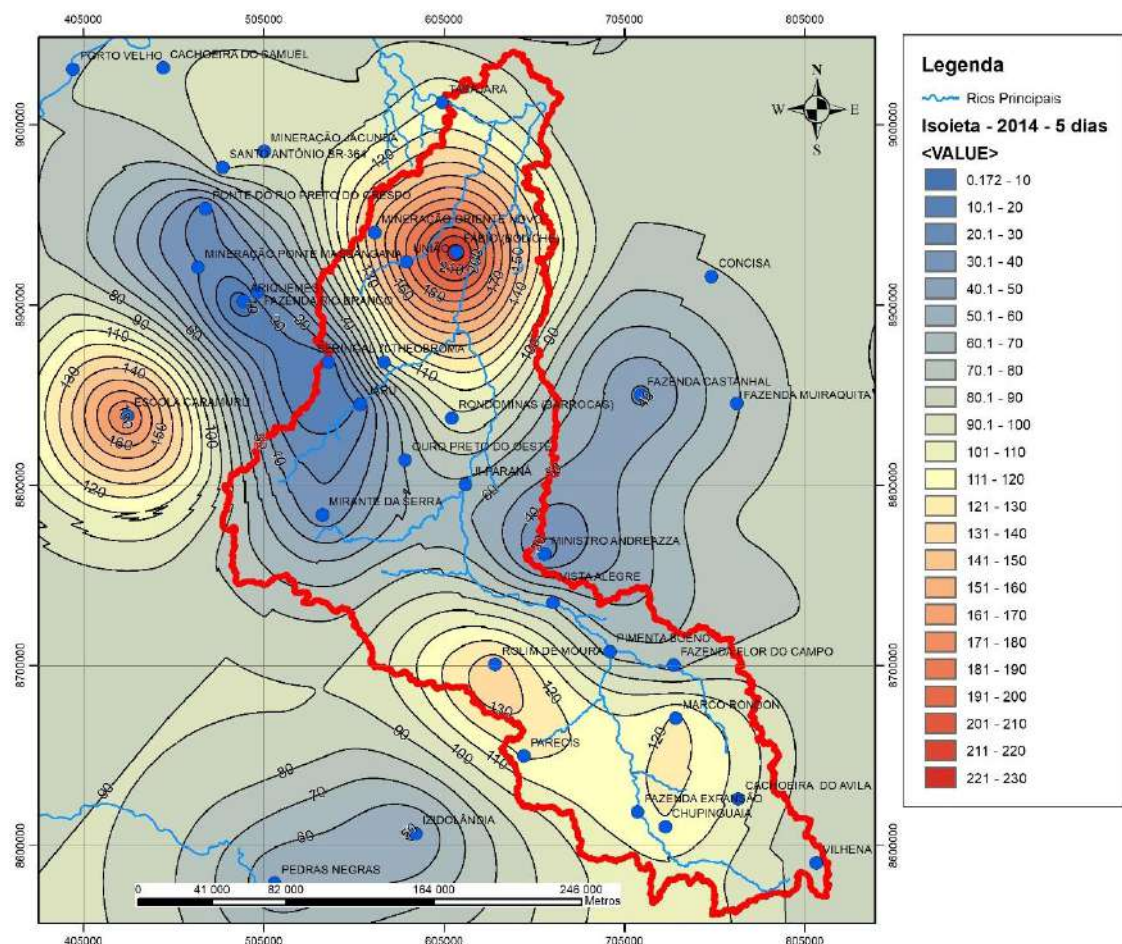
#### 6.1.1.3 - Fevereiro de 2014

O ano de 2014 sofreu com diversos episódios de precipitação causados pelo mecanismo de grande escala – Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) – que adentrou a o centro e norte do Brasil, atingindo a região da Amazônia Central. Não bastando, ocorreu uma zona de convergência com o atlântico sul (ZCAS), que ficou estacionada durante o final do período de chuvas.

Esses são dois sistemas meteorológicos típicos do verão. Eles são responsáveis por uma grande porção do volume de chuva que ocorre durante um ano na maioria das áreas do

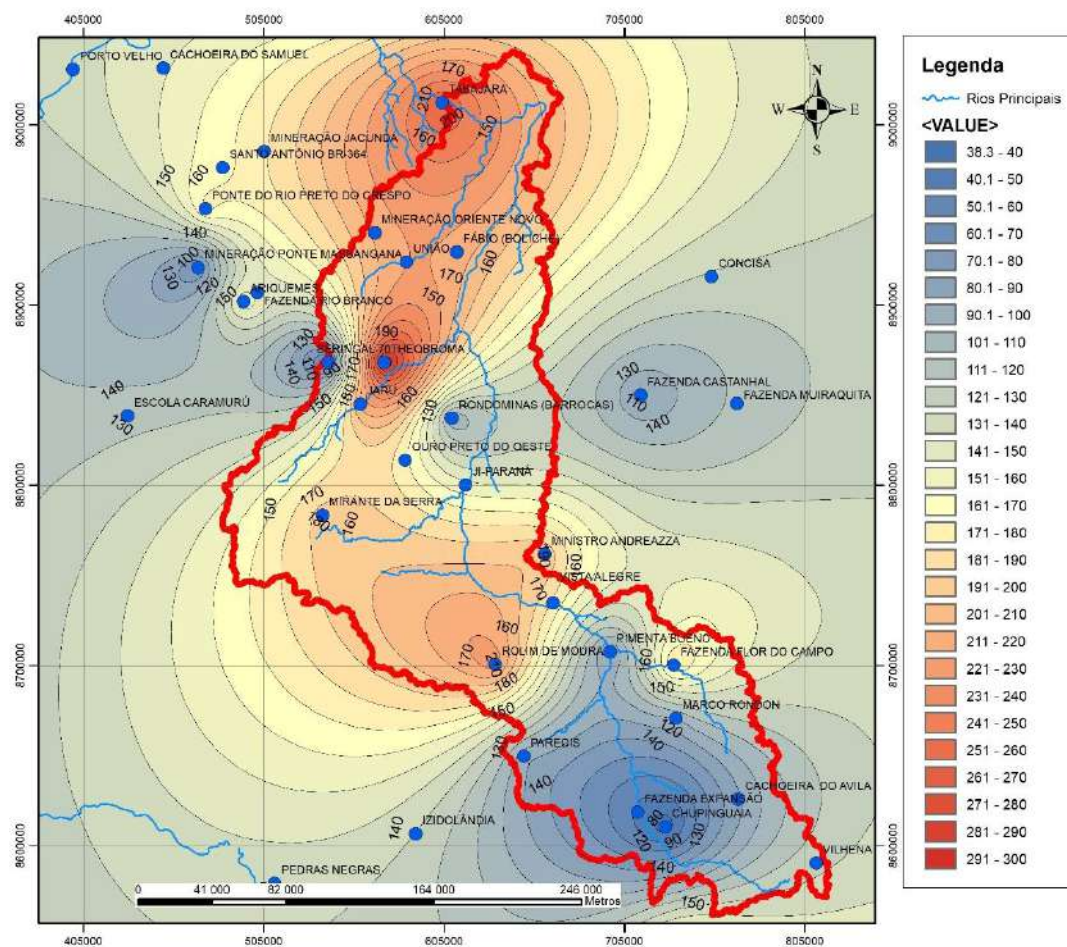
No ano ainda ocorreu um bloqueio atmosférico na região do pacífico sul, o que contribuiu para a estiagem no resto dos estados e chuvas intensas no norte da Bolívia, o que resultou no aumento dos níveis dos rios amazônicos e refletiu no Ji-Paraná. A condição de bloqueio atmosférico sobre o Pacífico Sul, ainda presente neste mês, favoreceu a ocorrência de totais pluviométricos acima da média histórica na parte sul da Região Amazônica, influenciando, portanto, a bacia do rio Ji-Paraná.

Os mapas isoietais desse período estão presentes nas Figuras 36 a **Figura 39**

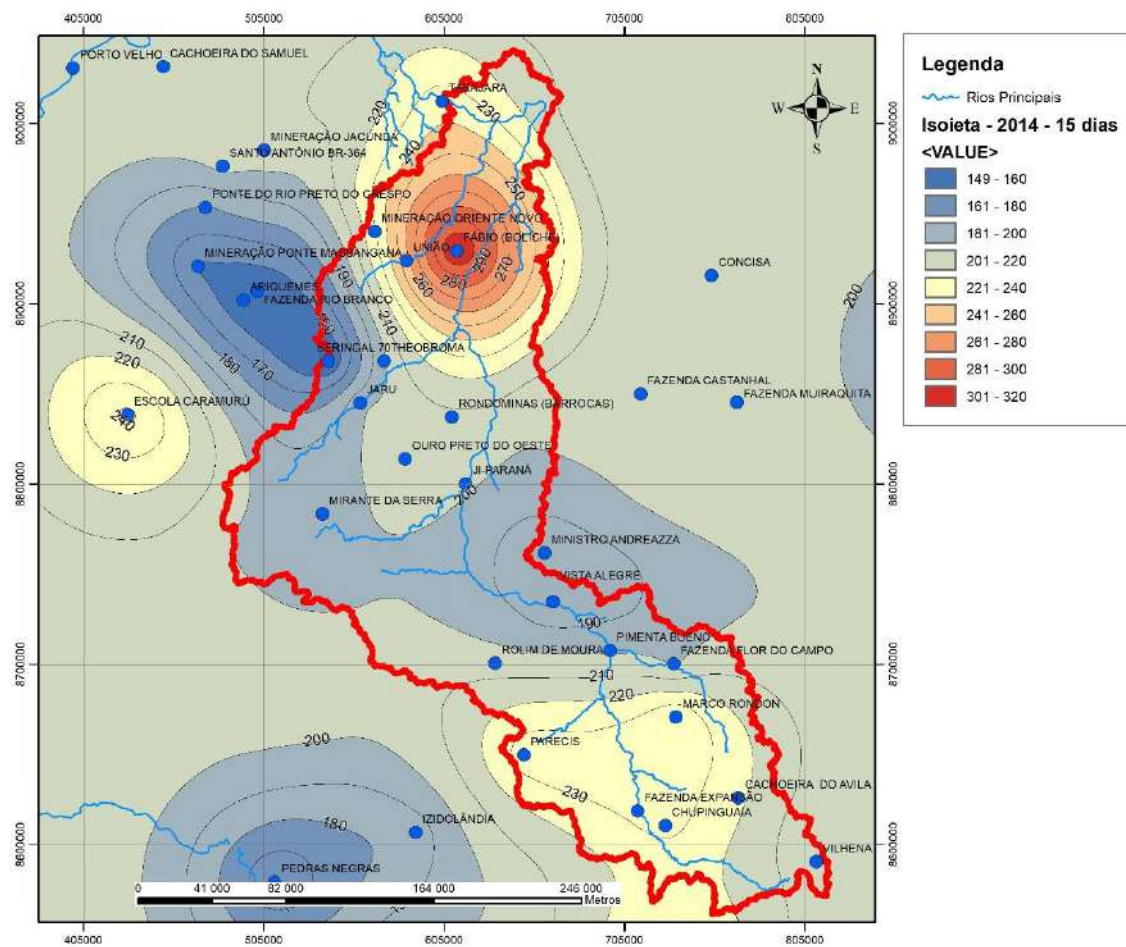


**Figura 36 - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 5 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**



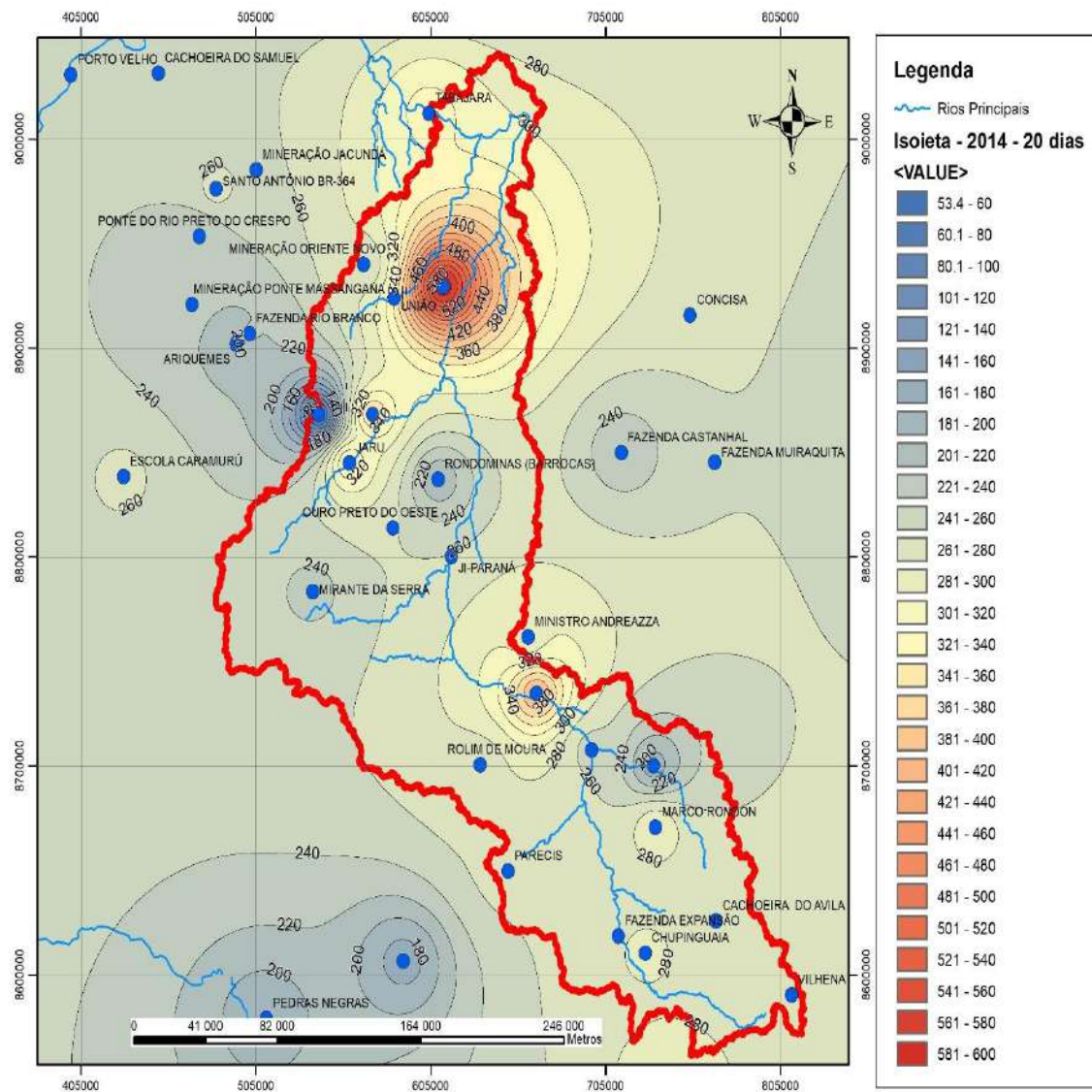


**Figura 37 - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 10 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**



**Figura 38 - - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 15 dias**  
**Fonte: Elaboração Própria**





**Figura 39 - Mapa Isoietal do Evento de 2014 - Duração de 20 dias**

**Fonte: Elaboração Própria**

## 6.2 Processamento Básico dos Dados Pluviométricos

Nesse tópico, será apresentado a metodologia utilizada para o processamento dos dados pluviométricos brutos que inclui a análise de consistência, utilizando como área de estudo a bacia do Rio Ji-Paraná com fechamento na estação hidrometeorológica Tabajara.

### 6.2.1 *Preenchimento de Falhas*

Para o estudo em questão, existe a necessidade de uma série consistente a nível diário, entretanto o preenchimento de falhas neste nível constitui ainda um campo aberto à pesquisa. Assim, na grande maioria dos casos, optou-se por não proceder ao preenchimento diário. (ANA, 2014).

### 6.2.2 *Alturas de Chuva Equivalentes Observadas*

Encontra-se nos fundamentos da WMO (2009) metodologias aplicáveis a bacias com poucas centenas de km<sup>2</sup>, entretanto, a região de estudo possui 60.214,2 km<sup>2</sup>, o que tornaria a maximização da chuva de uma estação hidrometeorológica pouco representativa na bacia. Para contornar este problema foi considerada uma chuva equivalente sobre a bacia, englobando as estações presentes na Tabela 10.

SWAMI & MATOS (1975), utilizam na Hidrologia os Polígonos de Thiessen para determinação das áreas de influência, servindo de peso no cálculo da precipitação média de uma região. Para a determinação dessas áreas de influência, unem-se estações pluviométricas vizinhas por meio de segmentos de reta e traçam-se perpendiculares aos pontos médios desses segmentos, sendo que o cruzamento do prolongamento dessas perpendiculares definirá as áreas de influência.

Salienta-se que segundo OCCHIPINTI (1989) quando a rede pluviométrica é rarefeita, pode-se recorrer a métodos de ponderação, como os polígonos de Thiessen. No caso da bacia do Ji-Paraná, apesar da disponibilidade de postos, a qualidade dos dados torna necessária a realização de uma chuva equivalente.

Dado que a Estação Pluviométrica de Tabajara foi utilizada o período de estudo de 1989 – 2016. A determinação da série de precipitações equivalentes (Pe) foi realizada para a bacia do rio Ji-Paraná controlada pela estação Tabajara. Foi utilizado o método de Thiessen, ao qual corresponde a expressão:

$$P_e = \frac{1}{A} \times \left( \sum A_i \times P_i \right)$$

Equação (28)

onde,

A<sub>i</sub> = área de influência do posto i;

P<sub>i</sub> = precipitação registrada no posto i;

A = área total da bacia.

Tendo em vista as falhas diárias observadas nas estações com área de influência na bacia, foram propostas 111 configurações de Thiessen visando à obtenção de uma série de chuva equivalente diária mais completa possível, no período entre 01/01/1989 e 31/12/2016. Apenas no período entre 1996 e 1997 não foi possível a determinação da chuva equivalente, devido à ausência de dados diários na maioria das estações.

A tabela com os dados de área relativos a cada polígono e a chuva equivalente da bacia encontrasse no anexo 3.

### 6.3 Estimativa do Ponto de Orvalho Histórico Persistente

A temperatura do ponto de orvalho em superfície pode ser determinada a partir de um histórico de leituras psicrométricas ou através dos registros de umidade relativo em estações meteorológicas de superfície. O ponto de orvalho máximo persistente é determinado pela análise completa da disponibilidade histórica e temperatura do ponto de orvalho considerando uma duração de 12 horas. Com tais dados, é possível construir a envoltória das máximas registradas nos períodos chuvosos.

Esse estudo explicita os valores máximos históricos, entretanto, estudos da U.S. Bureau (1960) demonstram que a água precipitável máxima de tormentas severas aproxima-se da máxima água precipitável estimada ao adotar como temperatura uma transformação pseudo-adiabática a 1000hpa

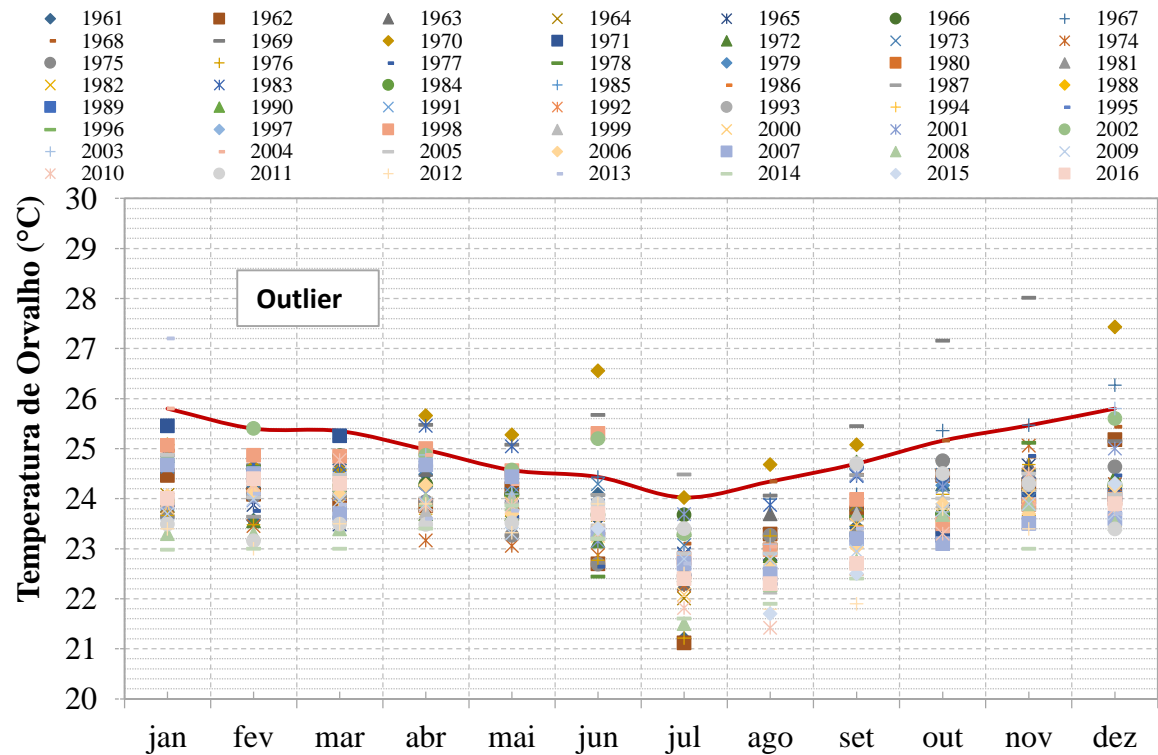
No caso da Bacia do Rio Ji-Paraná a análise foi feita a partir de observações sinóticas dos horários 00:00, 12:00 e 18:00 GMT para a estação de Porto Velho. A série dos dados sinóticos foi feita através da compilação da série da estação do INMET com dados de 1961 a 2008 e da estação do INPE (período de 2009 – 2016). A Figura 40 mostra a envoltória dos pontos de orvalho persistentes.

Assim como foi dito anteriormente, no caso de ausência de dados de ponto de orvalho esse pode ser obtido por meio do ábaco, nesse trabalho esse foi calculado por meio da seguinte equação, derivada da *equação de Tetens*:

$$Td = [273,3 \log(\frac{e}{e_o})] / 7,5 - \log(e/e_o) \quad \text{Equação (29)}$$

Por meio dessas equações foram organizadas as planilhas Excel e calculados todos os valores nos horários sinóticos da Umidade Relativa e do Ponto de Orvalho, para as quatro estações de referência, relativos aos períodos relacionados na disponibilidade de dados, que permitiram os cálculos do ponto de orvalho equivalente e histórico para a determinação do coeficiente de maximização.

Com isso, foram determinados os valores de 25,8°C e 25,4°C, referentes aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, como Temperaturas do Ponto de Orvalho Persistente. Esses valores foram rebatidos para o nível de 1000 hPa , cujo nível pode ser considerado como representativo da superfície (WMO, 2009), levando-se em conta a altitude de 102m para Porto Velho. Os resultados são mostrados na Tabela 17.



**Figura 40 -Envoltórias dos valores mensais do ponto de orvalho histórico persistente, para Porto Velho, período de 1961 a 2016**  
**Fonte: INMET (2017) & INPE (2017)**

**Tabela 17 - Ponto de Orvalho Histórico Persistente**

Estação	Td <sub>om</sub> (°C)	Td <sub>om,1000</sub> (°C)
Porto Velho	25,8	26,2
	25,4	25,8

#### 6.4 Ponto de Orvalho Representativo dos Eventos Chuvosos

Assim como na análise dos pontos de orvalho persistentes, o mesmo foi feito para os períodos críticos escolhidos nos horários sinóticos (0, 12 e 18 horas GMT), referentes à estação de Porto Velho, para as durações críticas de 5, 10, 15 e 20 dias. Os períodos críticos foram encontrados durante os anos de 2013 e 2014. Os pontos de orvalho de referência encontrados na estação de Porto Velho, para cada duração nos períodos críticos supracitados estão apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18 - Pontos de Orvalho de Referência para os Eventos Críticos**

Período	Tempos de Duração			
	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
Ínicio	31/01/13	01/02/13	29/01/13	26/01/13
Fim	04/02/13	10/02/13	12/02/13	14/02/13
Tdo Máximo	26,8	26,8	26,8	26,8

Período	Tempos de Duração			
	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
Ínicio	21/02/14	26/01/14	10/02/14	04/02/14
Fim	25/02/14	04/02/14	24/02/14	23/02/14
Tdo Máximo	28,4	28,4	28,0	28,0

#### 6.5 Cálculo do Fator de Maximização

Nesse estudo foi adotado o fator de maximização que considera o teor de umidade das massas alimentadoras de ar que corresponde aos pontos de orvalhos máximo e representativo devidamente reativo ao nível de 1000hPa.

Occhipiti (1989) concluiu que esse fator de maximização de tormentas por ajuste de umidade é de alta eficiência e pode ser adotado para diversas durações e tamanhos de bacia de médio a grande porte ( $A_d > 2000\text{km}^2$ )

A umidade contida na massa de ar associada aos eventos chuvosos considerados, nas durações determinadas é estimada pela água precipitável,  $W(T_{dr,1000})$  e correspondente ao

ponto de orvalho representativo,  $T_{dr}$ . Por outro lado, a máxima umidade possível de conter a massa de ar é determinada pela água precipitável,  $W(T_{dm})$ , corresponde ao máximo ponto de orvalho representativo,  $T_{dm}$ . Teoricamente, a água precipitável é calculada pela integral da distribuição vertical da umidade específica associada ao gradiente térmico vertical num processo pseudo-adiabático. Para calcular a água precipitável total a integração deve ser feita desde o nível de 1.000 hPa (teoricamente o da superfície) até cerca de 200 hPa, considerado como o limite superior da convecção, denominado de nível nodal. (OCHIPINTI,1989)

Dessa forma, pode-se calcular o fator de maximização,  $F_m$ , pela relação:

$$F_m = [W(T_{dm,1000})] / [W(T_{dr,1000})] \quad \text{Equação (30)}$$

Para realizar as integrais de maximização foram adotadas as tabelas da WMO (2009) presentes no Anexo 1. Neste trabalho considerou-se que as estações nas quais foram medidos os valores de ponto de orvalho que deram origem à água precipitável associada às chuvas intensas capazes de provocar enchentes no rio Ji-Paraná, não sofrem influência significativa da barreira topográfica próxima a bacia. Utilizando-se a equação (30) e os pontos de orvalho de referência mencionados (Tabela 17), foram calculados os fatores de maximização para as durações de 5, 10, 15 e 20 dias nos períodos críticos chuvosos dos anos de 2013 e 2014, na Estação de Porto Velho, representativas da área de influência da bacia do rio Ji-Paraná.

Assim, com os valores das Tabela 17 e Tabela 18, foi construída a Tabela 19, promovendo-se o rebatimento dos valores de Ponto de Orvalho para o nível de 1000 hPa, e calculados os valores de água precipitável correspondentes ao Ponto de Orvalho histórico e a cada período crítico, para finalmente calcular o fator de maximização.

**Tabela 19 - Ponto de Orvalho Persistente e Água precipitável total contida na Atmosfera**

<b>Dezembro e Janeiro</b>	
<b>Td Persistente</b>	25,8
<b>Td Persistente ,1000</b>	26,2
<b>W<sub>p</sub></b>	89,6
<b>Fevereiro e Março</b>	
<b>Td Persistente</b>	25,4
<b>Td Persistente ,1000</b>	25,8
<b>W<sub>p</sub></b>	83,1

Para o cálculo do fator de maximização foi utilizado o valor referente ao mês de fevereiro, portanto, 25,8°C.

**Tabela 20 - Valores Estimados para o Fator de Maximização – Porto Velho**

Período	Tempos de Duração			
	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
<b>Ínicio</b>	<b>31/01/2013</b>	<b>01/02/2013</b>	<b>29/01/2013</b>	<b>26/01/2013</b>
<b>Fim</b>	<b>04/02/2013</b>	<b>10/02/2013</b>	<b>12/02/2013</b>	<b>14/02/2013</b>
<b>Td Máximo</b>	<b>26,8</b>	<b>26,8</b>	<b>26,8</b>	<b>26,8</b>
<b>Td 1000</b>	<b>27,2</b>	<b>27,2</b>	<b>27,2</b>	<b>27,2</b>
<b>W<sub>p</sub></b>	<b>96,7</b>	<b>96,7</b>	<b>96,7</b>	<b>96,7</b>
<b>F<sub>m</sub></b>	<b>1,08</b>	<b>1,08</b>	<b>1,08</b>	<b>1,08</b>

Período	Tempos de Duração			
	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias
<b>Ínicio</b>	<b>21/02/2014</b>	<b>26/01/2014</b>	<b>10/02/2014</b>	<b>04/02/2014</b>
<b>Fim</b>	<b>25/02/2014</b>	<b>04/02/2014</b>	<b>24/02/2014</b>	<b>23/02/2014</b>
<b>Td Máximo</b>	28,4	28,4	27,6	27,6
<b>Td 1000</b>	28,8	28,8	28	28
<b>W<sub>p</sub></b>	108,4	108,04	104,83	104,83
<b>F<sub>m</sub></b>	<b>1,21</b>	<b>1,21</b>	<b>1,18</b>	<b>1,18</b>

Devido a indisponibilidade de dados climatológicos no ano de 1991, não foi possível estimar um fator de maximização para esse evento crítico, no entanto, considerando os resultados obtidos, optou-se por utilizar o maior valor obtido (1,21) para agregar maior segurança ao estudo.

Occhipinti (1989) ressalta que é válida a utilização do fator quando os tipos de tormenta forem do mesmo tipo, sendo que sua aplicação é preferencial para tormentas frontais e ciclônicas e que devem corresponder a mesma época do ano ou estação chuvosa.

## 6.6 Análises Isoietais – Transposição de Tempestades

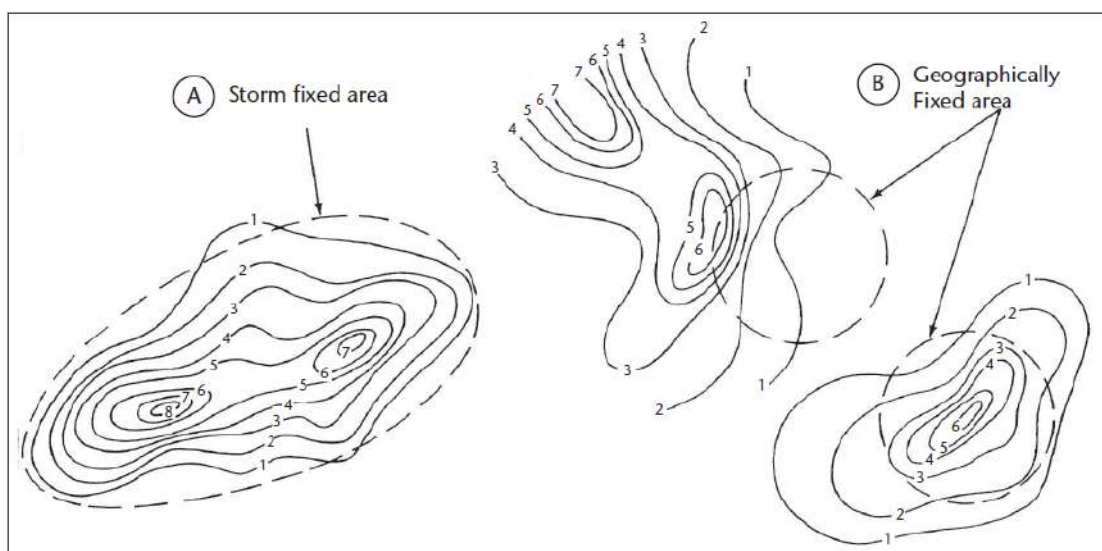
Usualmente a transposição de tormentas é uma boa ferramenta para ausência de dados observacionais na bacia de estudo (OCCHIPINTI, 1989). Com isso, em casos nos quais a região é meteorologicamente homogênea e sem influência topográfica, pode-se relocar a tormenta no local de estudo.

Também se recomenda a transposição em casos nos quais o fluxo alimentador de umidade está próximo, como o caso de regiões costeiras, que devem considerar a influência topográfica e a distância a orla (WMO, 2009)

Como o caso de estudo, existem dados de precipitação e não se enquadra em regiões próximas a zonas costeiras, não foi considerada a transposição da tormenta.

## 6.7 Determinação das Curvas Altura – Área – Duração

Existem dois tipos de relações de área e altura (Miller et al, 1973). O primeiro envolve a relação do núcleo de chuva, isto é, o máximo de chuva ocorre quando o núcleo está contido da bacia. O segundo tipo é difuso, ou seja, o núcleo da tormenta encontra-se em uma região central ou em parte dentro desta região. A Figura 41 apresenta a diferenciação supracitada.



**Figura 41 - Exemplos dos Tipos de Núcleos de chuva posicionados sobre uma região de estudo.**

Fonte:WMO (2009)

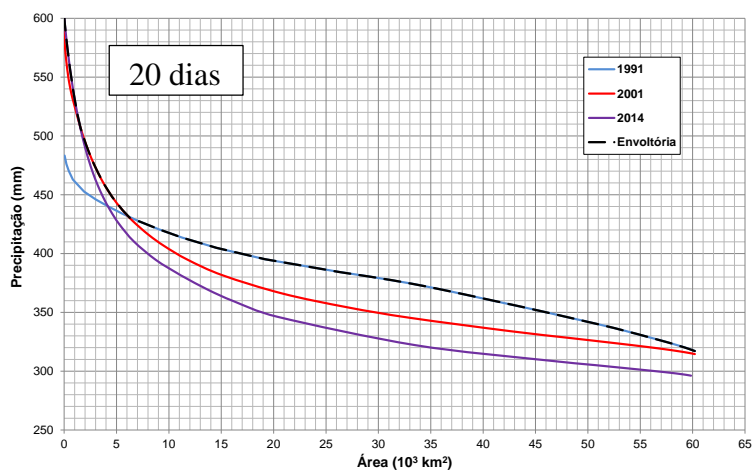
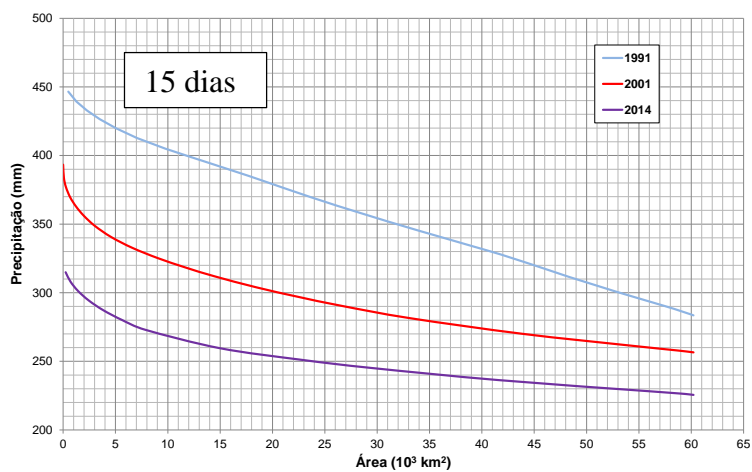
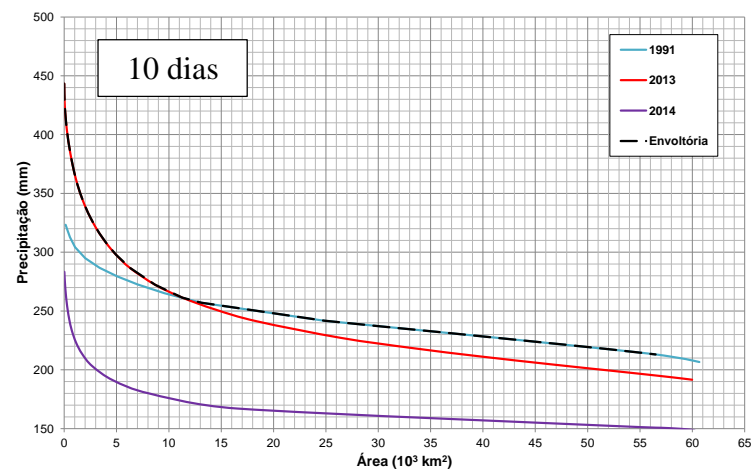
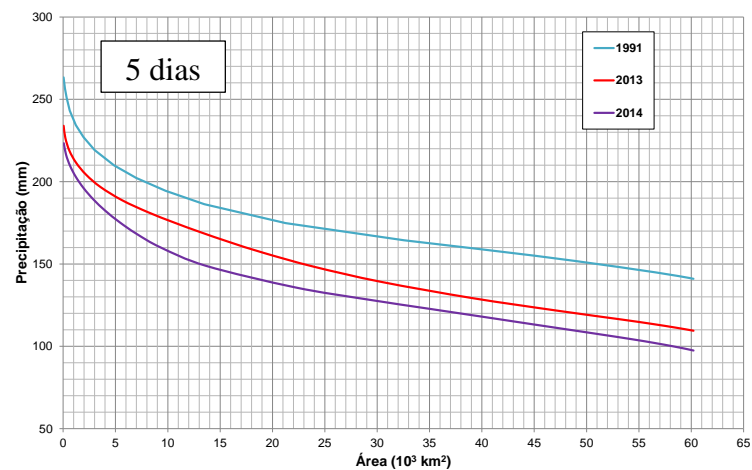
A WMO (2009) prega que quando o núcleo da tormenta se encontra dentro da bacia, essa chuva representa o tipo de tormenta apropriada para o uso da PMP. Em casos de núcleos dispersos, essas chuvas geralmente são resultadas de tempestades discretas e não traduzem bem o resultado da PMP.

Segundo COURT (1961) existem muitas variações entre as relações do posicionamento do núcleo para o cálculo da PMP. No entanto, para qualquer estudo de maximização, é recomendado a centralização do núcleo na região.

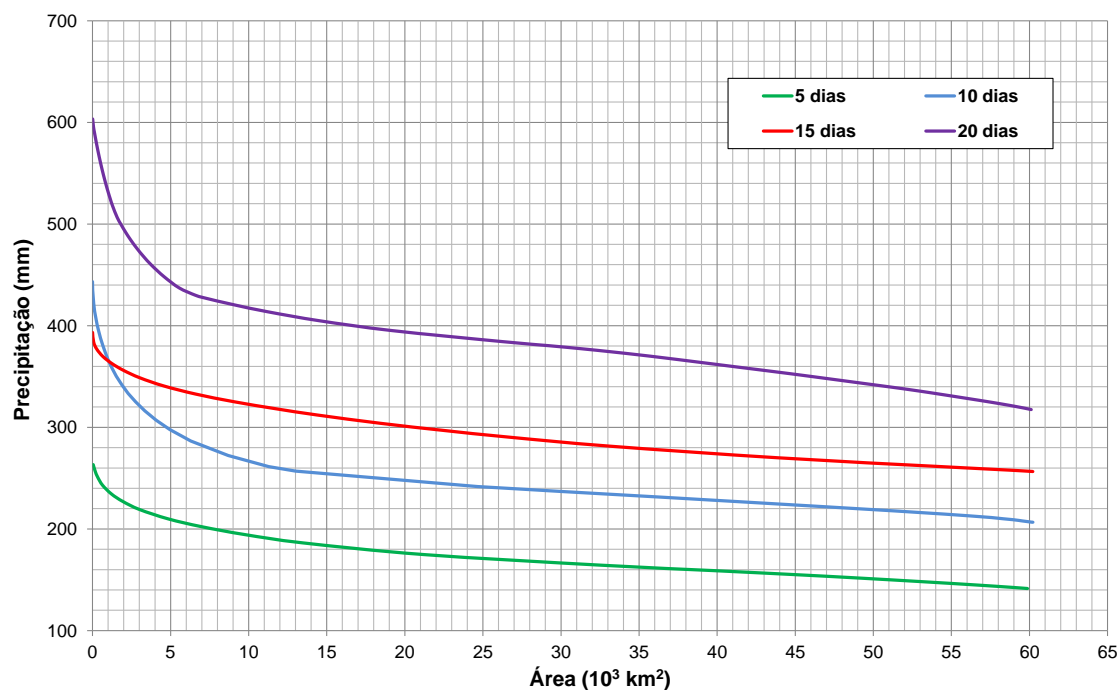


Para esse estudo, as curvas Área-Altura-Duração foram elaboradas para cada evento chuvoso de interesse. Utilizando o software Arcgis, foram planificadas as áreas no interior de cada bacia. A partir dessas áreas e da altura de chuva foi estimado o volume precipitado e acumulados nas áreas. Com isso pode-se estimar uma precipitação equivalente.

Conforme abordou o manual da WMO, o ano em que o núcleo estava centralizado na região resultou no maior deflúvio pluvial para todas as durações propostas. Para definir a curva Altura – Área – Duração foi traçada a curva envoltória de cada um dos casos acima, resultando na Figura 42, relativas a cada período crítico, e a Figura 43, relativa a envoltória de cada evento estudado.



**Figura 42 - Curvas Altura - Área - Duração**  
**Fonte: Elaboração Própria**



**Figura 43 - Envoltórias da Curva AAD**

Para a obtenção da PMP, as alturas de chuva calculadas a partir das curvas AAD, foi tomado pelo valor de chuva relativo a área total da curva, estes foram multiplicados pelo fator de maximização, calculado no item 6.5 igual a 1,21.

A Tabela 21 mostra os resultados encontrados.

**Tabela 21 - Cálculo da PMP**

Duração	Alturas de Chuva sem Maximização (mm) (1)	PMP (mm)
5 dias	141,0	170,6
10 dias	206,6	250,0
15 dias	256,5	310,4
20 dias	317,1	383,7

Notas: (1) Alturas de chuva máximas obtidas das curvas AAD.

## 6.8 Distribuição Temporal

Ao aplicar PMP para determinar o hidrograma de inundação, é necessário especificar como a distribuição temporal da chuva.

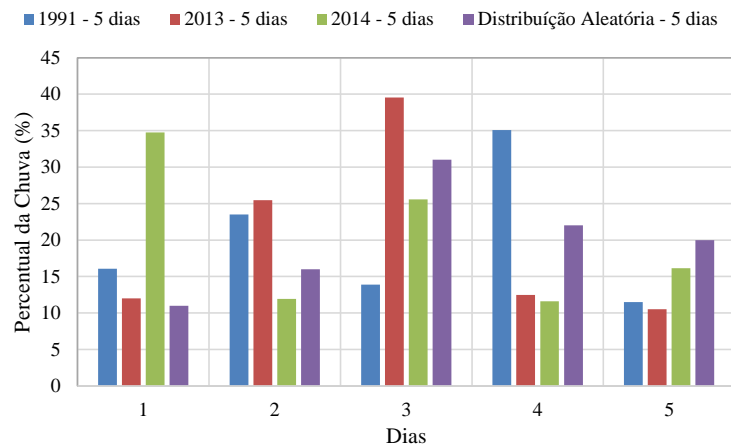
A variação temporal de uma chuva irá apresentar o percentual da tormenta pelo tempo que esse evento durou.

Para estimar a distribuição temporal da PMP foram estimadas as curvas de massas das chuvas da tempestade. Essas distribuem a chuva acumuladas contra o tempo desde o início da tempestade (TUCCI, 2005)

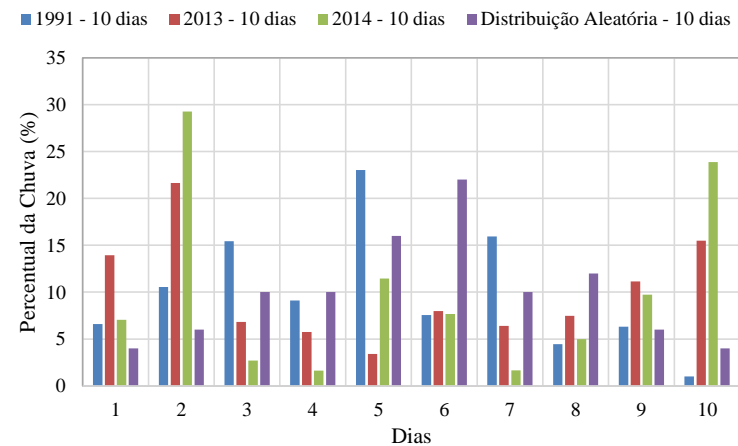
Com a finalidade de definir a distribuição temporal da PMP, foram avaliadas cada duração da chuva de projeto (5, 10, 15 e 20 dias) foram analisadas a distribuição da chuva em cada evento crítico.

Para avaliar o impacto de outra distribuição, foi calculada uma distribuição aleatória, utilizou-se hietogramas, que são formas gráficas capazes de representar a intensidade de uma chuva ao longo de sua duração. Pode ser representado de forma contínua no tempo ou discretizando-se a duração da chuva em intervalos constantes de tempo, onde se mostram as intensidades médias em cada intervalo, formando um gráfico de barras (TAVARES, 2005).

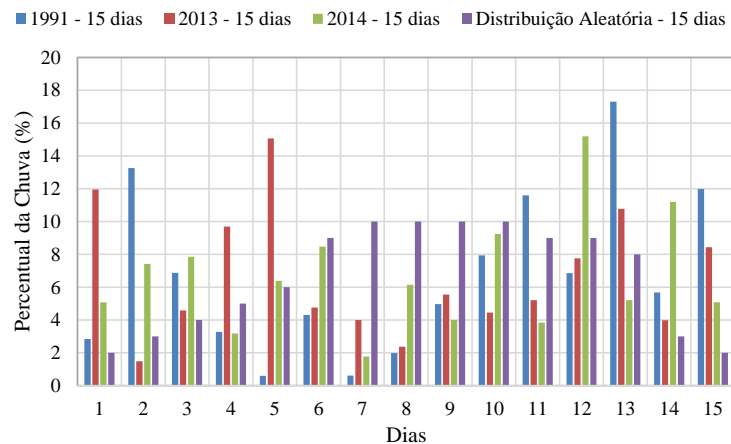
Com isso, as distribuições temporais propostas, foram discretizadas a nível diário, resultando nos hietogramas mostrados nas Figuras 44 a Figura 47.



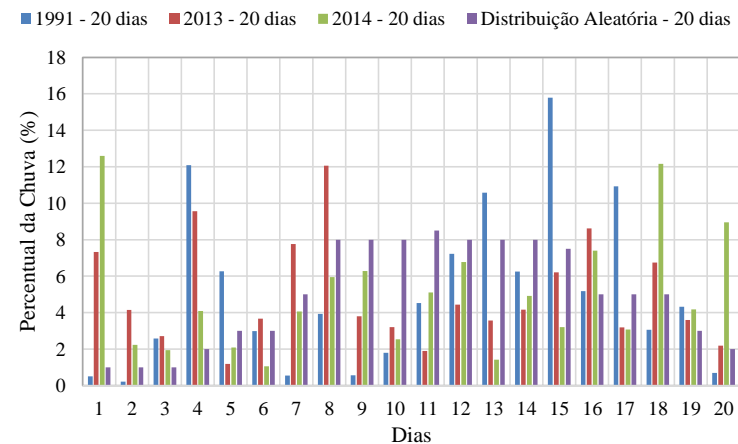
**Figura 44 - Hietograma com 5 Dias de Duração**



**Figura 45 - Hietograma com 10 Dias de Duração**



**Figura 46 - Hietograma com 15 Dias de Duração**



**Figura 47 - Hietograma com 20 Dias de Duração –**

**Fonte: Elaboração Própria**

De posse da Precipitação Máxima Provável discretizada em dados diários, inicia-se o estudo de Vazão Máxima Provável, a partir do modelo chuva-vazão.

## 6.9 Modelo de Hershfield

O método de Hershfield foi aplicado nesse estudo levando em consideração o apresentado no Manual WMO (2009) com uma duração da PMP de 24 horas.

Para representar a precipitação na bacia, foi utilizada uma série calculada por meio da chuva equivalente apresentada no item acima, desconsiderando os períodos com falhas.

A Tabela 22 apresenta os valores máximos diários anuais.

**Tabela 22 - Valores Máximos Diários Anuais**

<b>Ano</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
1989	38,8
1990	78,5
1991	53,5
1992	34
1993	39,5
1994	33,9
1995	42
1996	40,3
1997	
1998	52,4
1999	33,1
2000	43
2001	36,2
2002	45,1
2003	41,1
2004	46,3
2005	46,5
2006	43,5
2007	41,3
2008	38,8
2009	36,9
2010	53,7
2011	31,6
2012	43,8
2013	35,7
2014	46,7
2015	42,2
2016	53,1

Para o cálculo da PMP utilizando o Método Estatístico de Hershfield, utilizou-se a metodologia apresentada no capítulo 3. Foram calculados os parâmetros iniciais – Média, desvio padrão, da amostra inicial. Depois exclui-se o maior valor obtido e recalculou-se as estatísticas, também foi realizado um ajuste de média e desvio padrão devido a exclusão do outlier. Os valores obtidos foram apresentados na Tabela 23.

O fator de frequência foi calculado utilizando a tabela apresentada na Figura 3, valor da média ajustada, para a duração desejada. Foi encontrado um fator de frequência ( $K_m$ ) igual a 18.

**Tabela 23 - Dados Estatísticos da amostra**

Número de Dados	27,0
Média $X_n$	43,4
Desvio Padrão	9,4
Média $X_{n-1}$	42,0
Desvio Padrão $S_{n-1}$	6,4
Ajuste da Média – Figura 4	44,2
Ajuste do Desvio Padrão Figura 5	7,7

Os fatores de ajustes utilizados foram 1,04 para a quantidade de dados observados – relativo a duas leituras diárias (07 e 17 hrs) . Não foi utilizado o fator de área, dados que as curvas apresentadas no manual da WMO (2009) baseiam-se em valores médios obtidos a partir de análises de importantes tempestades gerais sobre o oeste Estados Unidos.

Feitos os ajustes a Precipitação Máxima Provável encontrada para o período de 24hr é igual a 186 mm.

## **7 SIMULAÇÃO DO MODELO DE CHUVA VAZÃO**

Para simulação chuva-deflúvio foi utilizado o modelo SMAP, esse foi escolhido por ser um modelo simples e com dados de entrada de fácil obtenção.

### **7.1 Índices e Análises de Ajuste**

Para que seja possível comparar uma série de vazões geradas com uma série de vazões observadas, é necessário o uso de índices de ajuste ou verossimilhança. Esses índices auxiliam o conjunto de parâmetros ótimos em um processo de calibração (VIANA, 2012).

Nesse trabalho foram utilizados parâmetros simples de calibração permitindo assim a avaliação de qual a melhor série de vazões geradas, segundo esses diversos critérios.

#### Diferença Relativa de Volume – DMR (%)

A diferença relativa de volume compara o volume do hidrograma observado com o calculado, conforme mostra a equação a seguir.

$$DRV = \frac{V_{obs} - V_{calc}}{V_{obs}} \times 100$$

Onde:

$V_{obs}$  é o volume observado no hidrograma ( $m^3$ );

$V_{calc}$  é o volume calculado no hidrograma ( $m^3$ ).

Sendo os volumes obtidos por integração.

#### Desvio Médio Absoluto - DMA ( $m^3/s$ )

Segundo (VIANA, 2012) essa função apenas compara cada ordenada do hidrograma gerado com o observado, sem qualquer ponderação. O índice de comparação, nesse caso, é a diferença entre as ordenadas. Entretanto, como diferenças podem ser positivas ou negativas, uma simples soma poderia permitir diferenças positivas cancelarem as negativas. Na modelagem hidrológica, ambas as diferenças são indesejáveis, pois configuram super estimavas ou subestimativas. Para evitar esse aspecto, o índice utilizado soma o módulo das diferenças. Essa função representa implicitamente uma medida de aderência entre as magnitudes dos picos, volumes e tempos de pico das duas séries de vazão comparadas. Se o valor da função for igual a zero, a aderência é perfeita: todas as vazões calculadas igualam-se exatamente aos valores observados.

O desvio absoluto de um elemento de um conjunto de dados é a diferença absoluta entre este elemento e um ponto dado, isso é:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n (|Q_{obs} - Q_{calc}|)}{n}$$

Onde:

$Q_{obs}$  é a vazão observada, em  $m^3/s$ ;

$Q_{calc}$  é a vazão calculada, em  $m^3/s$ ;

E  $n$  é o número de dados.



#### Desvio Médio Relativo - DMR (%)

O desvio médio relativo é o cálculo do desvio absoluto e o valor da grandeza medida, esse avalia o desvio em relação a vazão calculada, conforme mostra a equação x.

$$DMR = \frac{\sum_{n=1}^i (|Q_{obs} - Q_{cat}|)}{n}$$

Onde:

$Q_{obs}$  é a vazão observada, em m<sup>3</sup>/s;

$Q_{calc}$  é a vazão calculada, em m<sup>3</sup>/s;

E  $n$  é o número de dados.

#### Raiz do Erro Médio Quadrático - EMQ (m<sup>3</sup>/s)

Representa a média dos quadrados dos erros e é calculado dividindo-se os quadrados dos erros (Equação x), é comumente usada para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de que RMSE apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada, portanto EMQ = 0 indica ajuste perfeito. (CELESTE, 2014)

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^i (|Q_{obs} - Q_{cat}|)^2}{n}}$$

Onde:

$Q_{obs}$  é a vazão observada, em m<sup>3</sup>/s;

$Q_{calc}$  é a vazão calculada, em m<sup>3</sup>/s;

E  $n$  é o número de dados.

## 7.2 Calibração e Validação do Modelo

O objetivo do modelo chuva-vazão foi simplesmente realizar as simulações dos hidrogramas de cheia a partir das alturas de chuva calculadas. Para tal foram considerados

períodos de calibração do modelo de forma a analisar a aderência do mesmo às vazões mensais da estação de Tabajara.

A fase de calibração do modelo SMAP consiste na estimativa inicial dos parâmetros de entrada. A estimativa foi feita considerando a caracterização da bacia, isso é, de forma que o levantamento de dados da bacia fosse representado fisicamente.

Considerando a calibração e a validação do modelo na bacia do rio Ji-Paraná com seção de fechamento na estação Tabajara, foram utilizadas as seguintes informações:

- Vazões médias diárias observadas na estação Tabajara, no período de junho de 1998 a maio de 2009;
- Alturas diárias de chuva equivalente na respectiva bacia, obtidas através do método de Thiessen, relativas ao mesmo período;
- Alturas de evaporação diárias obtidas da série total mensal;
- A evapotranspiração calculada por tanque classe A.

Os parâmetros de calibração foram otimizados a partir da planilha em Excel criada por J.E. Lopes, onde os parâmetros Str, K2t, Crec, Capc e Kkt foram definidos de forma manual.

É importante que o período comece na época de recessão, pois nos períodos secos, os valores do teor de umidade inicial e escoamento superficial inicial, são baixos, facilitando o início da calibração, enquanto no período úmido estes mesmos valores podem variar bastante.

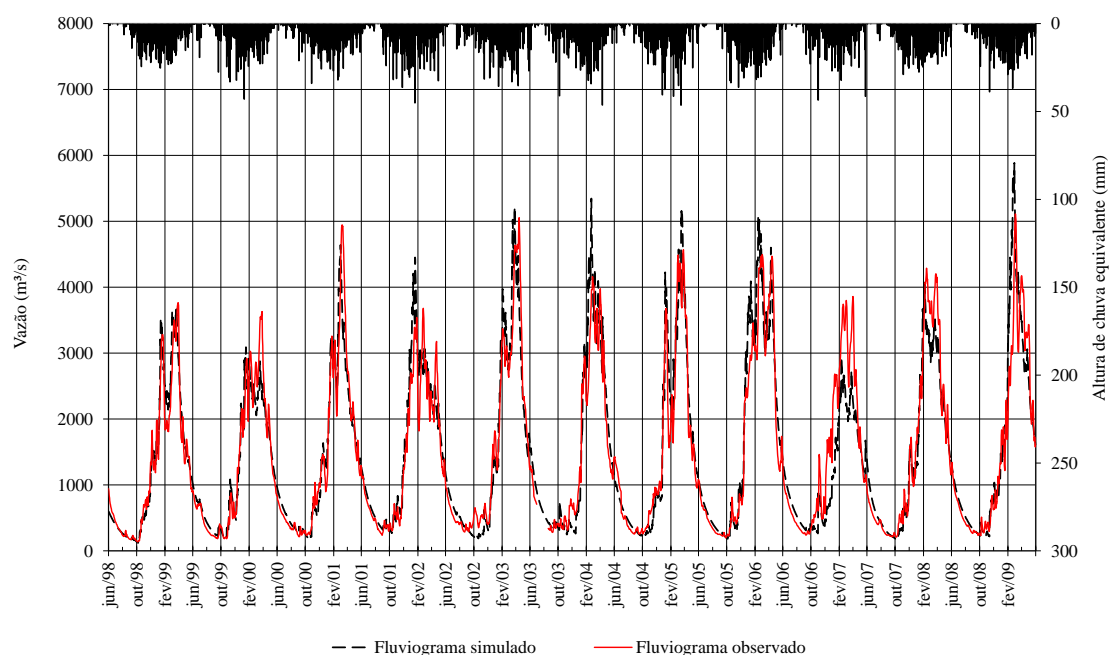
Inicialmente foram ajustados os valores do volume máximo armazenado e a alterada a abstração inicial. As variáveis foram sendo mantidas após aumento da aderência das vazões simuladas e observadas e redução dos erros. Além disso, depois da calibração, se realizou a validação para outros períodos, num processo de aproximações sucessivas.

Os parâmetros em questão são apresentados a seguir:

- |  |     |
|--|-----|
| • Volume máximo armazenado no solo - sat (mm)                                | 150 |
| • Abstração Inicial - Ai (mm)  | 1   |
| • Capacidade de campo do solo - Capc (adimensional)                          | 39  |
| • Recarga subterrânea - Crec   | 6   |
| • Número de dias em que o escoamento de base cai a metade de seu valor – Kkt | 51  |
| • Número de dias em que o escoamento direto cai a metade de seu valor – K2t  | 10  |

- Teor de umidade inicial – Tuin (adimensional) 20
- Vazão de base inicial – Ebin ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )..... 600
- Coeficiente de ajuste da precipitação média - Pcoef (adimensional) 1
- Coeficiente de ajuste da evaporação média -Epccoef (adimensional) 1,55

A Figura 48 mostra os fluviogramas simulados e observados, permitindo verificar graficamente os resultados obtidos.



**Figura 48 - Resultado da Calibração do Modelo SMAP - Período de 06/1998 a 05/2009**  
**Fonte: Elaboração Própria**

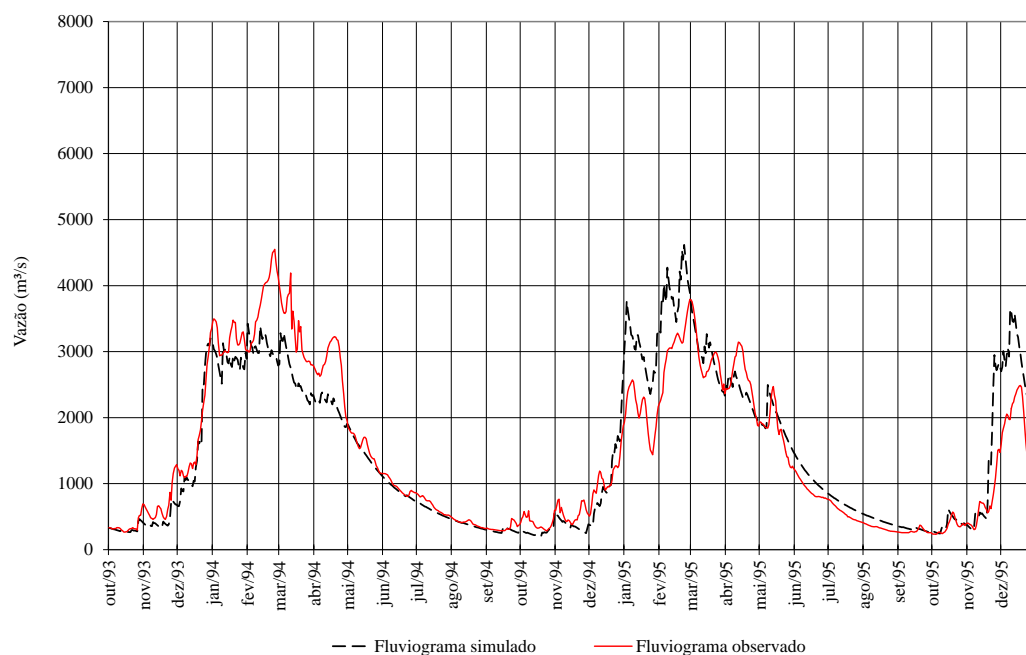
O modelo SMAP possui a vantagem da calibração ser realizada priorizando vazões baixas ou altas. Para esse estudo, como o intuito é simular uma vazão máxima, optou-se por uma calibração que tenha maior aderência as vazões de pico.

A Tabela 24, que apresenta os indicadores de qualidade correspondentes. A calibração resultou em uma diferença relativa de volume pequena, indicando boa aderência da calibração. O desvio médio relativo foi alto, tal fato pode ser explicado pela calibração dos picos, dando grandes diferenças entre as vazões, o mesmo ocorre no erro médio quadrático.

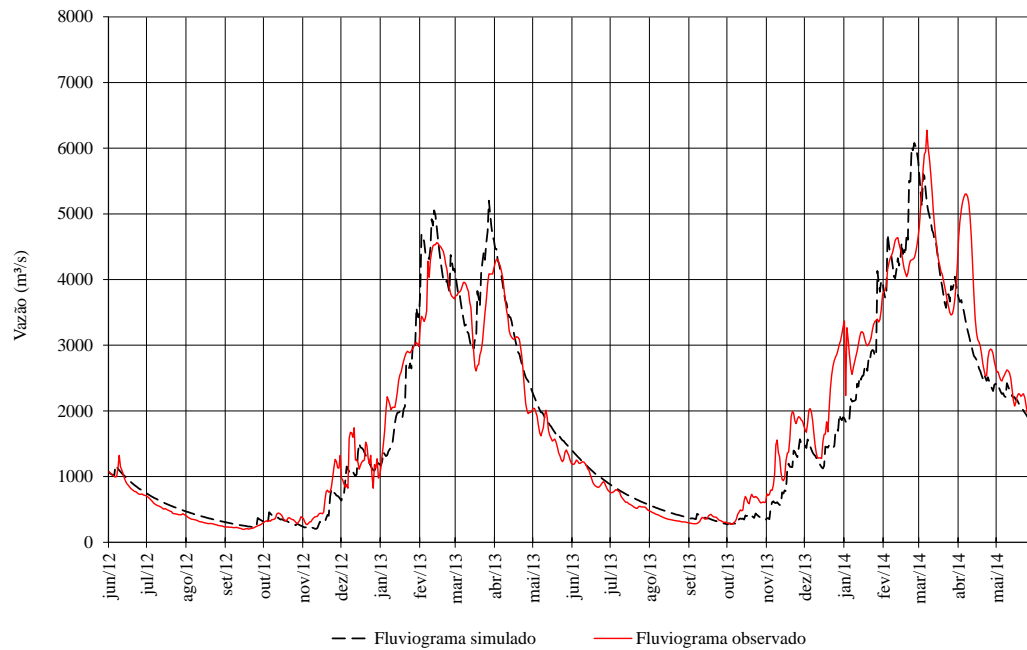
**Tabela 24 - Parâmetros de Qualidade de Calibração do Modelo SMAP**

Indicador de Qualidade	Calibração
Diferença Relativa de Volume - DRV (%)	0,17
Desvio Médio Absoluto - DMA (m³/s)	257,93
Desvio Médio Relativo - DMR (%)	19,17
Erro Médio Quadrático - EMQ (m³/s)	394

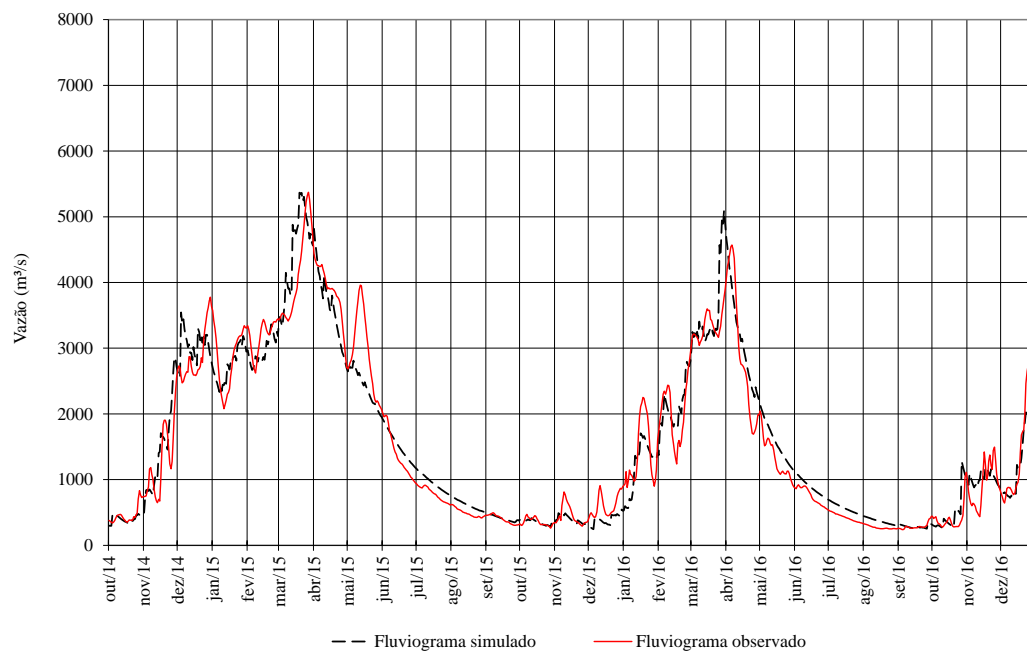
A validação do modelo SMAP contemplou os períodos de outubro de 1993 a dezembro de 1995, junho de 2012 a maio de 2014 e outubro de 2014 a dezembro de 2016. Assim, os mesmos valores obtidos no processo de calibração foram aplicados na validação. Conforme mostram as Figura 49 - Validação 1 - Período (10/1993 a 12/1995) a Figura 51.



**Figura 49 - Validação 1 - Período (10/1993 a 12/1995)**  
**Fonte: Elaboração Própria**



**Figura 50 - Validação 2 - 06/2012 a 05/2014**



**Figura 51 - Validação 3 - Período (10/2017 a 12/2016)**

Fonte: Elaboração Própria

O produto da simulação hidrológica são valores de vazão e, a partir de um hidrograma, são comparados graficamente com os observados, aferidos em medições na bacia. Para

atingir o objetivo de maximizar o máximo possível a semelhança entre os gráficos utiliza-se funções objetivo para medir a discrepância entre os valores.

As funções escolhidas devem representar uma base para o processo de calibração, além da sensibilidade do hidrólogo e da visualização precisa dos gráficos.

Nota-se pela análise das Figura 49 a Figura 51 que a validação do período, embora apresentando bons resultados, apresenta em sua maioria picos simulados maiores que os observados, a favor da segurança.

A Tabela 25 mostra os indicadores de qualidade correspondentes ao processo de validação. Esses apresentam valores semelhantes aos calibrados, portanto foi considerada uma calibração boa.

**Tabela 25 - Indicadores de Qualidade de Validação**

<b>Indicador de Qualidade</b>	<b>Validação 93-95</b>	<b>Validação 12-14</b>	<b>Validação 14-16</b>
Diferença Relativa de Volume - DRV (%)	0,5	-2,42	0,09
Desvio Médio Absoluto - DMA (m <sup>3</sup> /s)	303,14	282	236
Desvio Médio Relativo - DMR (%)	20,26	18,10	19,50
Erro Médio Quadrático - EMQ (m <sup>3</sup> /s)	471	444	346

### 7.3 Cenários de simulação de cheias

Antes da realização das simulações de cheia envolvendo o modelo chuva vazão, foram necessários estimar os cenários a serem simulados.

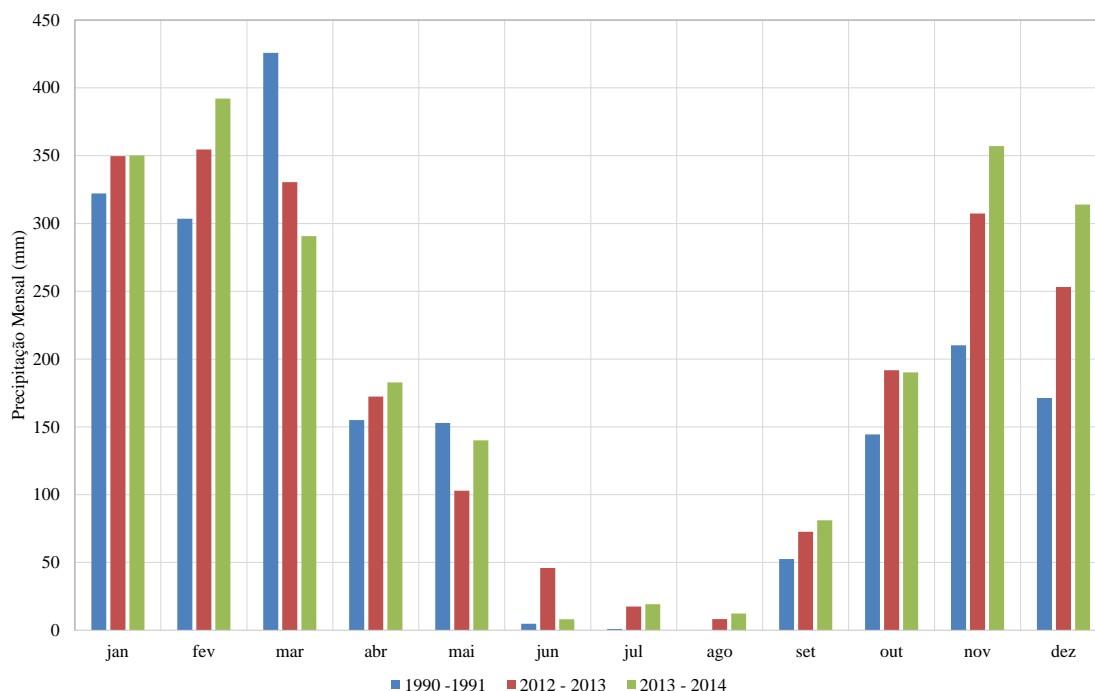
Essa análise envolve a simulação das condições antecedentes do tempo de duração e do da Precipitação Máxima Provável na série de chuva equivalente.

#### *7.3.1 Condições Pluviais Antecedentes*

Para estimar a PMP, utilizou-se o manual da WMO, entretanto para realizar a modelagem chuva-vazão foram necessárias algumas análises. Para selecionar a maior cheia provável foram considerados os diferentes eventos chuvosos considerados críticos.

Esta seleção foi baseada no ano hidrológico no qual ocorreu a maior tormenta observada na bacia do rio Ji-Paraná e no ano em que ocorreu o maior registro na estação

fluviométrica Tabajara, resultando na identificação das respectivas vazões máximas anuais. A Figura 52 apresenta o hietograma da chuva equivalente dos três casos estudados



**Figura 52 - Precipitação Mensal dos Eventos Chuvosos**

**Fonte: Dados Hidroweb (2017)**

A análise dos dados apresentados retorna a dois eventos críticos. O primeiro é o ano hidrológico de 2013 – 2014 no qual ocorreu a conjunção entre um evento chuvoso e a máxima vazão observada também se destacam os anos de 2012-2013 com um ano úmido e o período de 1990-1991, que apesar de ser um ano seco registrou o valor máximo mensal no mês de março (425,78 mm) concentrado em cima da área de estudo. O ano de 2012 – 2013 foi descartado do estudo, dado que nenhum dos meses resultou em algum valor extremo ou maior do que totais ocorridos nos outros eventos.

De posse de tais informações foi necessário escolher o posicionamento da sequência chuvosa nas condições escolhidas na análise pluviológica da bacia, com isso serão selecionados como condições antecedentes os anos hidrológicos de 1990 – 1991 e 2013 – 2014.

### 7.3.2 Posição da Chuva de Projeto na Sequência de Meses Chuvosos

Foram analisadas três alternativas de posições da chuva de projeto na sequência de meses chuvosos para as condições antecedentes escolhidas, com base na análise pluviológica da bacia como está descrito a seguir.

**Alternativa 1** – Início da chuva de projeto coincidente com o pico do hidrograma simulado na calibração do modelo para a condição antecedente 31/03 1990-1991 e em 2014, em 24/02/2014.

**Alternativa 2** – Início da chuva de projeto coincidente com o início do evento crítico. As datas de início do evento para diversas durações são indicadas na Tabela 26.

**Tabela 26 - Data de Início da Chuva de Projeto - Alternativa 2**

Duração (dias)	Data	
	1990 -- 1991	2013-2014
1	30/03/1991	23/02/2014
5	25/03/1991	21/02/2014
10	24/03/1991	26/02/2014
15	16/03/1991	10/02/2014
20	14/03/1991	04/02/2014

**Alternativa 3** – Início da chuva de projeto no final do evento crítico da sequência de meses chuvosos. Essas datas para diversas durações estão indicadas na Tabela 27.

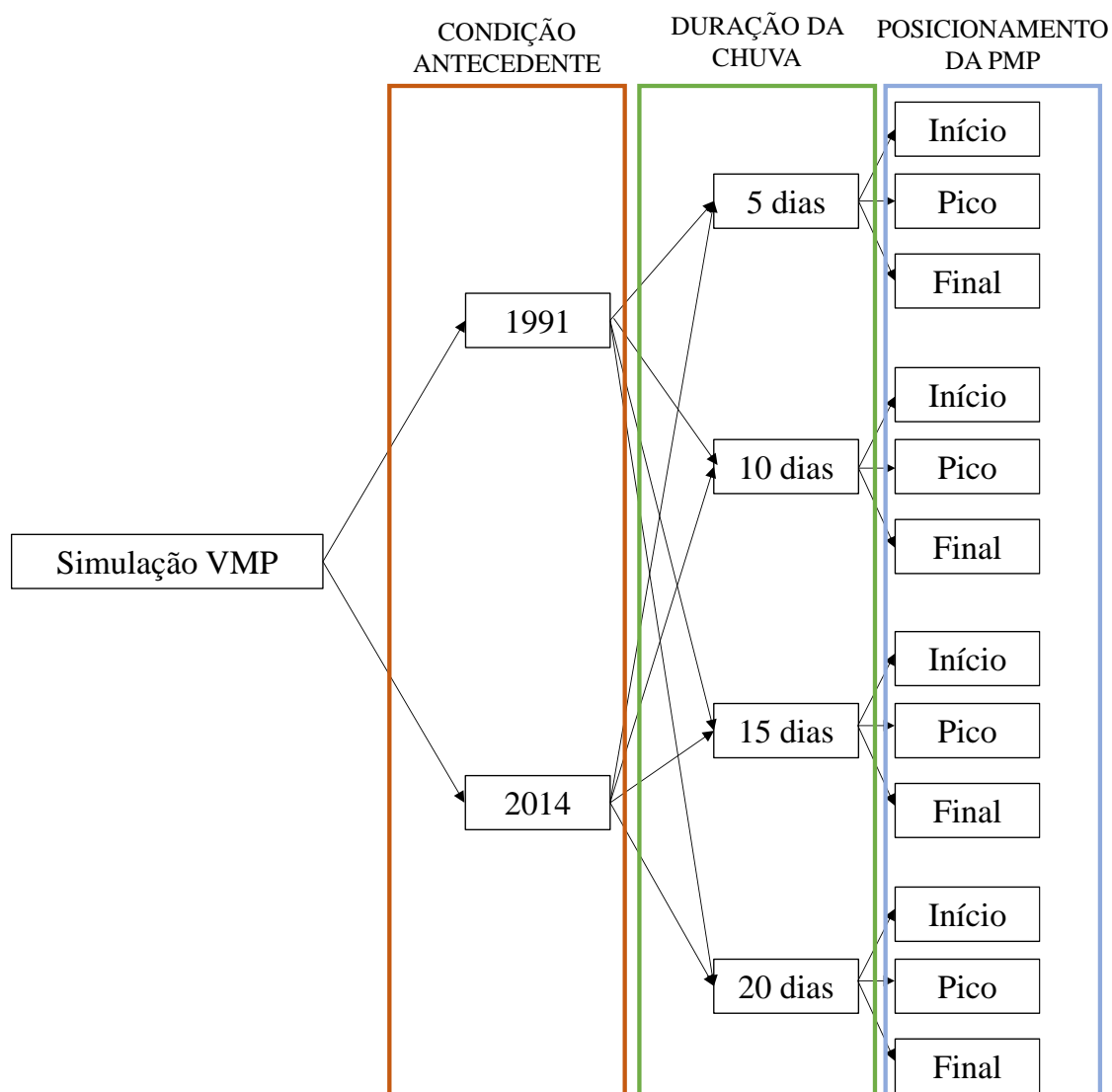
**Tabela 27 - Data de Início da Chuva de Projeto – Alternativa 3**

Duração (dias)	Data	
	1990 -- 1991	2013-2014
1	01/03/2014	25/02/2014
5	29/03/1991	25/02/2014
10	02/04/1991	04/02/2014
15	16/03/1991	24/02/2014
20	14/03/1991	23/02/2014

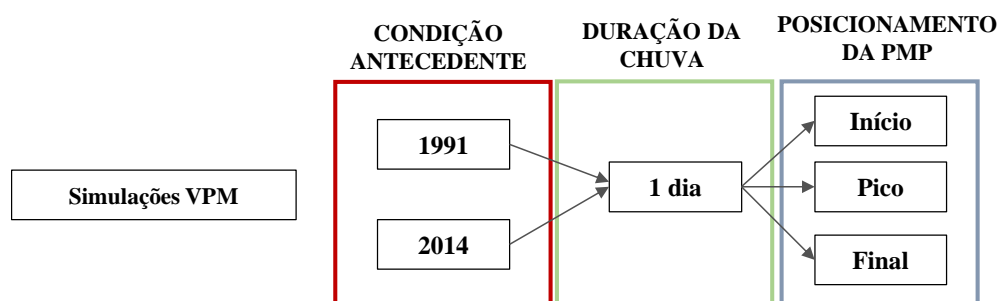
Com isso, a Figura 53 apresenta os cenários possíveis para o estudo cada evento, dado que foram consideradas 4 distribuições temporais para cada evento crítico, foram considerados 96 cenários para o estudo hidrometeorológico.

No caso do estudo estatístico, como foi considerada apenas uma duração, entende-se que são necessários apenas seis cenários a serem simulados, conforme mostra a Figura 54. Esses englobam o posicionamento da PMP e a condição antecedente a ser utilizada.





**Figura 53 - Alternativas Propostas e Simulações a serem consideradas**  
 Fonte: Elaboração Própria



**Figura 54 - Alternativas Propostas e Simulações a serem consideradas**  
 Fonte: Elaboração Própria

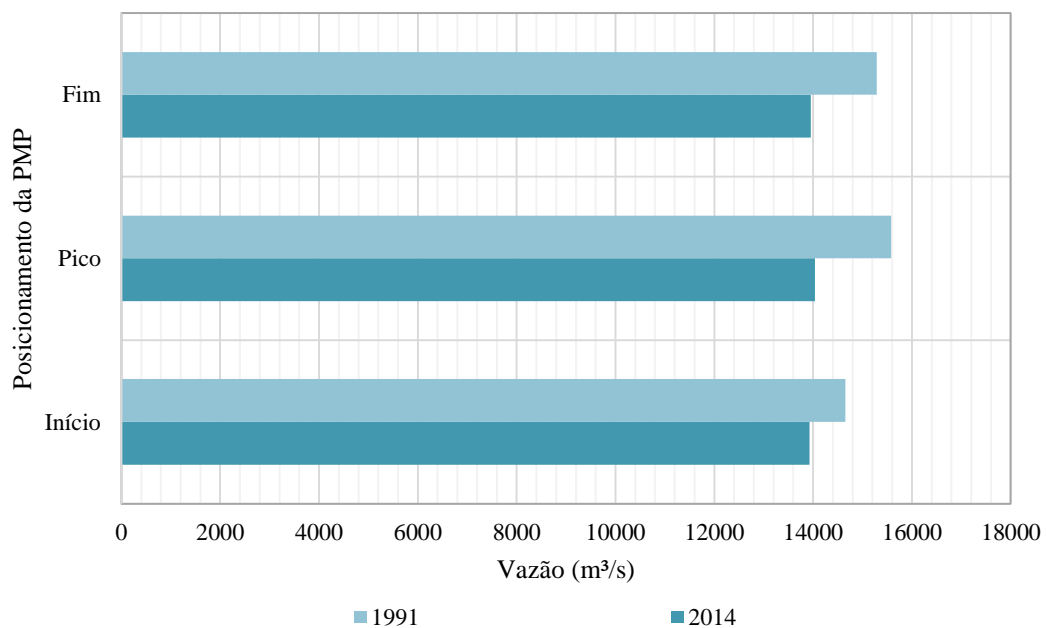
## 7.4 Simulação da VMP

### 7.4.1 Estudo Estatístico

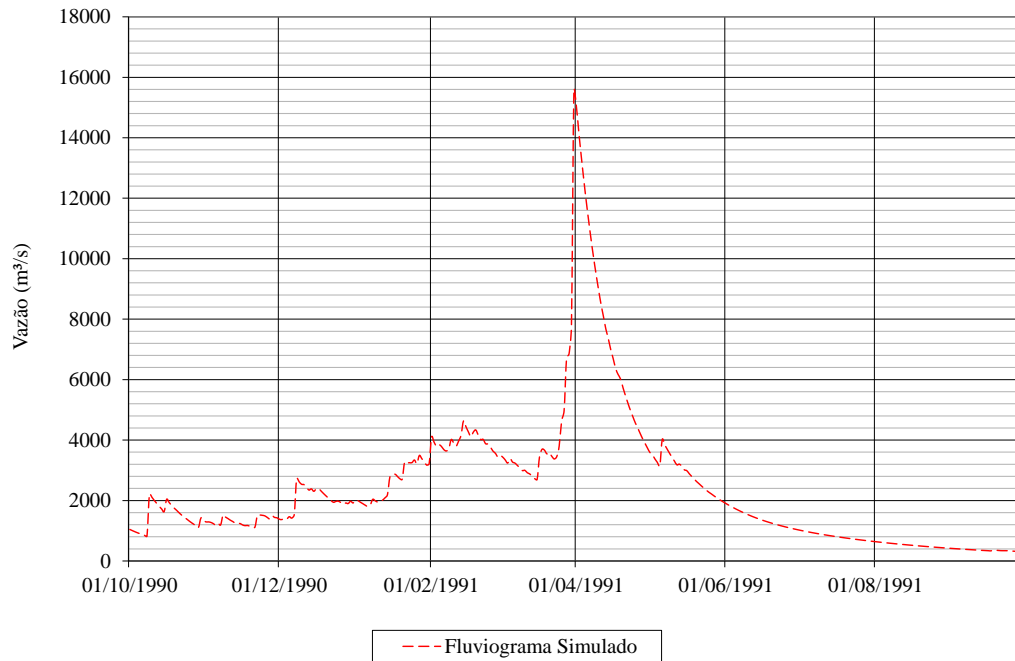
A simples avaliação dos Valores de PMP revelaram que o estudo estatístico resultou em um valor muito superior do que o hidrometeorológico. A PMP encontrada para 24 horas foi de 186mm enquanto esse valor é equivalente a uma chuva de 7 dias no estudo hidrometeorológicos.

A Figura 55 apresenta os resultados das simulações. As vazões mais altas foram relacionadas a alternativa 1 – PMP no pico do hidrograma, com a condição antecedente de 1990 – 1991.

Obteve-se uma VMP com o valor máximo de 15.578m<sup>3</sup>/s, ocorrida em apenas um dia, conforme mostra o hidrograma na Figura 56.



**Figura 55 - Posicionamento do Núcleo na Condição Antecedente**



**Figura 56 - Hidrograma da VMP**

Aplicando-se o fator de fuller, descrito na equação 31, tem-se que o valor final da VMP calculada para 24 horas é de 17.105m³/s

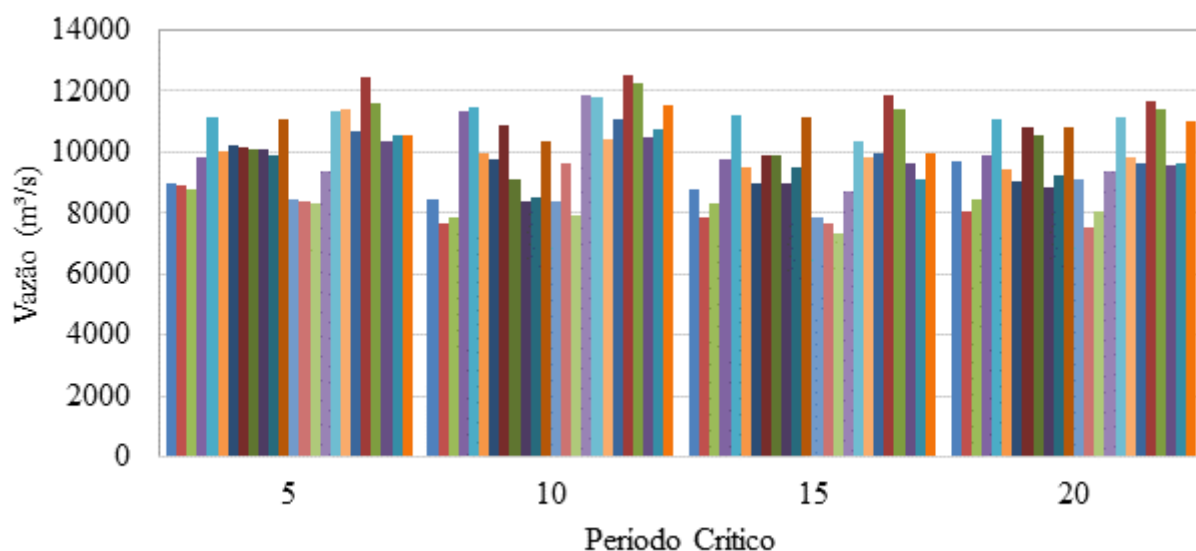
$$Q_t^{mx} = Q_t^{md} (1 + 2,66 A^{-0,3}) \quad \text{Equação (31)}$$

#### 7.4.2 Estudo Hidrometeorológico

##### 7.4.2.1 Simulações para Definição da Duração da Chuva de Projeto

Para definir a duração da chuva de projeto foram realizadas 96 simulações, cerca de 60% das simulações resultaram em uma vazão maior para uma duração crítica igual a 10 dias.

No caso desse projeto, a duração crítica encontrada foi de 10 dias, a Figura 57 revela todas as simulações e os picos de vazão encontrados.



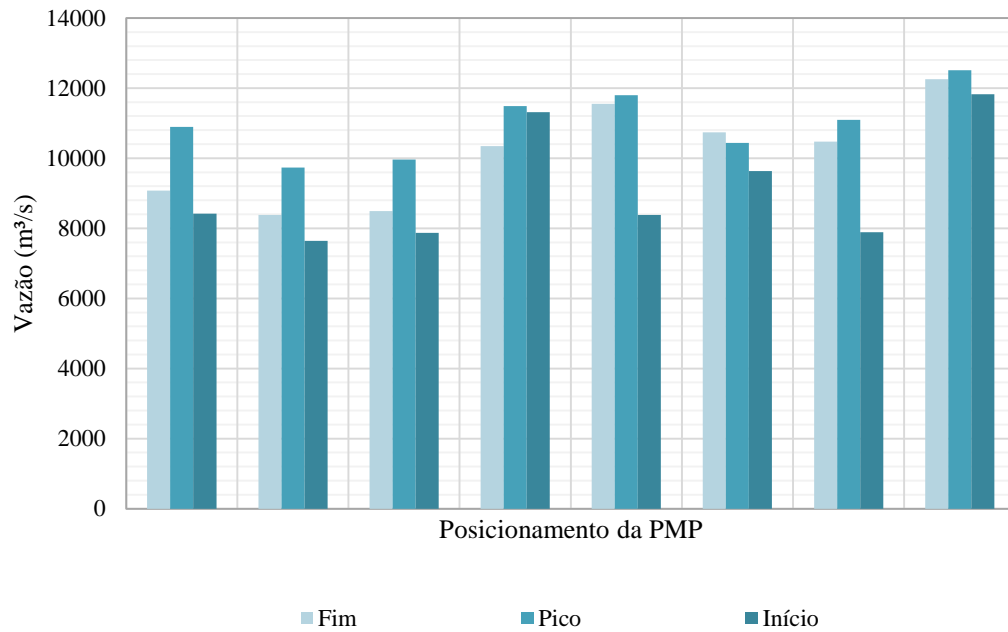
**Figura 57 - Resultado do Modelo para Diferentes Durações**

A segunda duração com maior incidência de picos foi para 5 dias, o que indica uma duração crítica entre 5 e 10 dias.

#### 7.4.2.2 Simulações para Definição da Data de Início da Chuva de Projeto

Para definir a influência do posicionamento da PMP na chuva de projeto, foram realizadas seis simulações. Nessas serão consideradas uma chuva com tempo de duração igual a 10 dias, e com a PMP localizada no início do período, no pico do hidrograma e no final da chuva de projeto. A Figura 58 revela o resultado encontrado.

Nesse estudo, o melhor posicionamento da PMP foi o no pico da vazão, dando apenas uma ligeira diferença com o posicionamento no início da chuva de projeto, no caso da condição antecedente 1.



**Figura 58 - Resultado do Modelo para Diversos Posicionamentos da PMP**

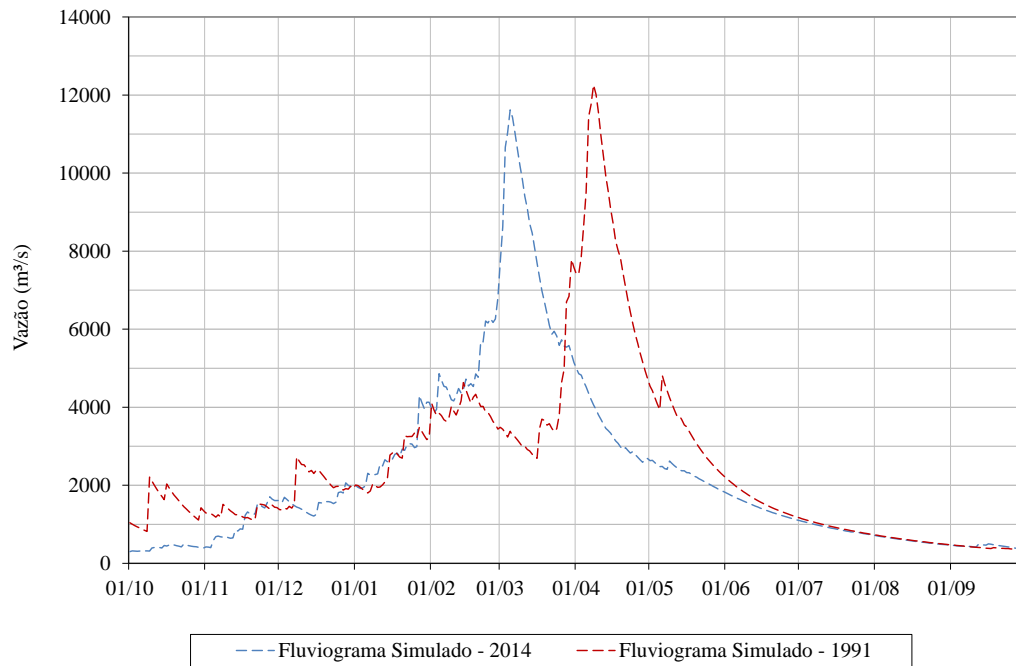
#### 7.4.2.3 Simulações para Definição da Condição Antecedente

Definidas a duração e a posição da chuva de projeto, falta definir a condição antecedente. Para isso foi simulada a chuva nos anos escolhidos para gerar a maior vazão provável.

Os hidrogramas, apresentados na Figura 59, revelam os resultados para as condições antecedentes simuladas, onde é possível observar que a condição antecedente de 1990 – 1991 gerou uma vazão máxima provável maior.

Essa simulação deve ser realizada no final, pois é mais adequada para gerar uma variação maior na Vazão Máxima Provável.

.



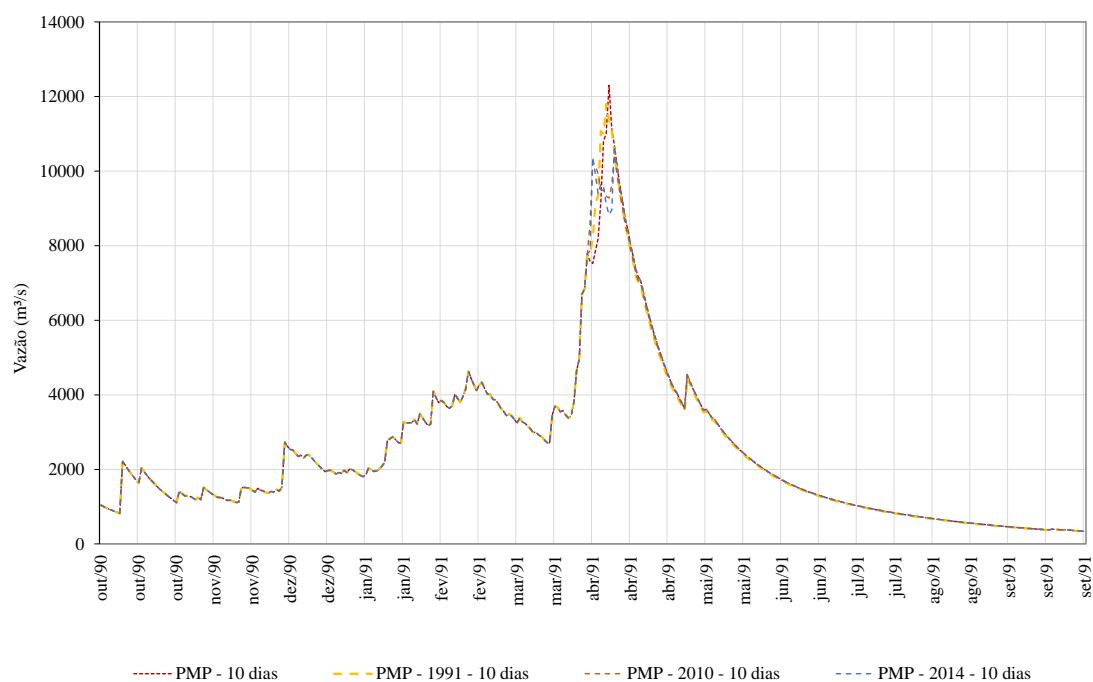
**Figura 59 - Resultado do Modelo para diferentes condições Antecedentes**

#### 7.4.3 Simulação Final

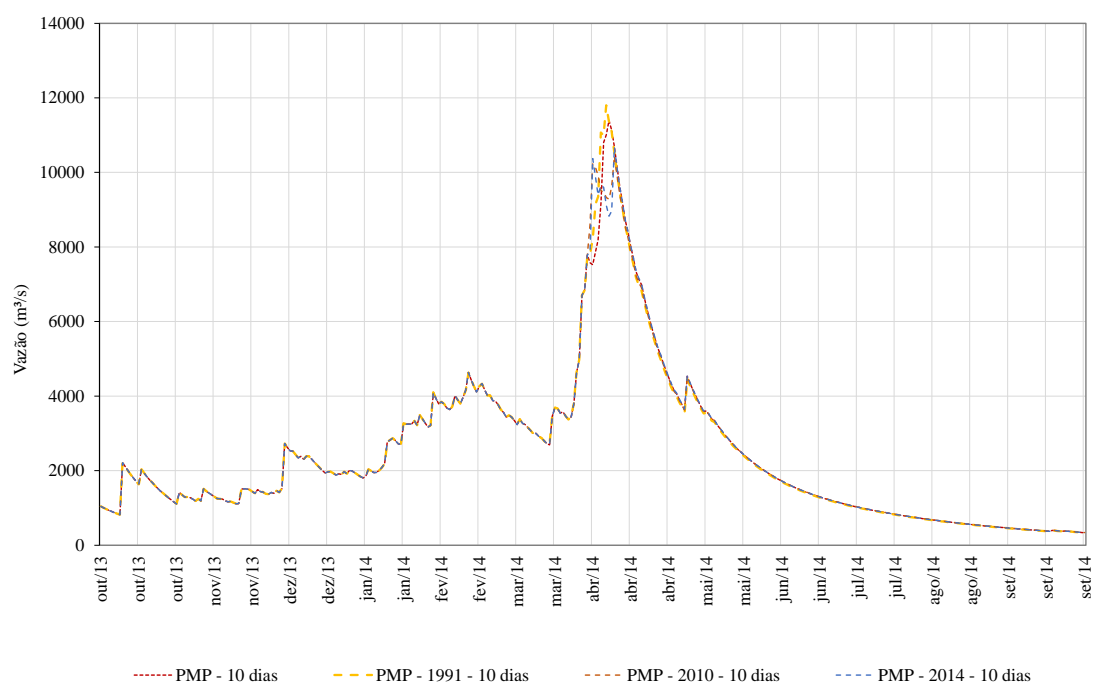
Finalmente, após a definição da duração da chuva de projeto, da posição da chuva de projeto e das condições antecedentes, foi realizada a simulação que deu origem à VMP, considerando os seguintes dados:

- Fator de maximização da curva de AAD igual a 1,21
- Duração da chuva de projeto igual a 10 dias;
- Posição original dos núcleos chuvosos, obtida através do traçado das isoietas;
- Início da chuva de projeto no pico do hidrograma simulado

Foram consideradas as 4 distribuições temporais, totalizando 8 simulações, 4 para condição antecedente de 2013 – 2014 e 4 para 1990-1991. As Figuras xx e xx apresentam os hidrogramas com as condições de 1990 – 1991 e 2013 – 2014, respectivamente.

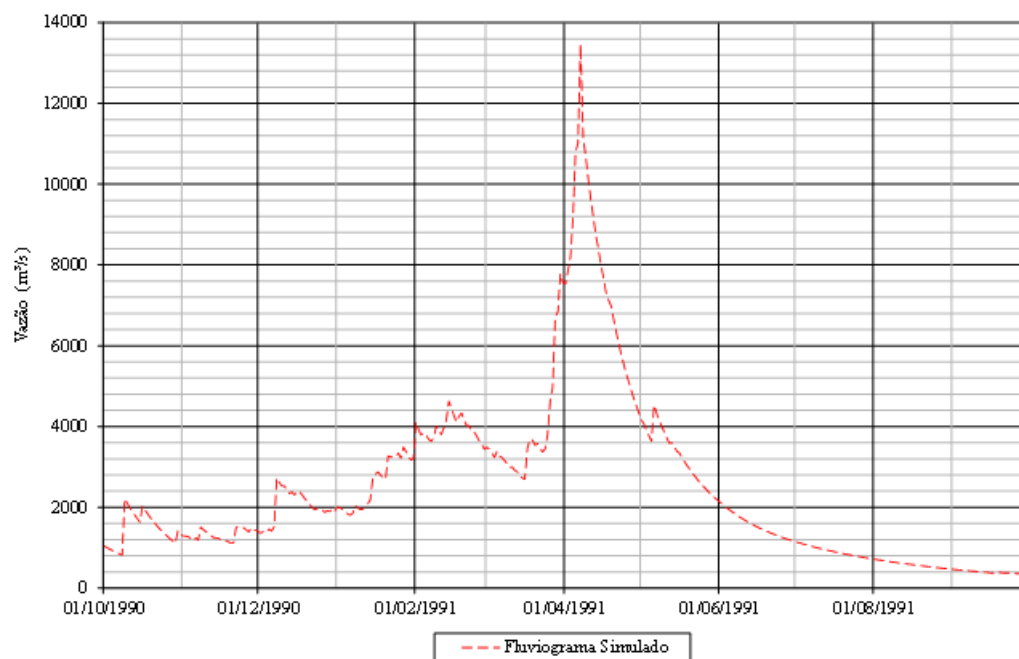


**Figura 60 - Simulação Condição Antecedente 1990-1991**



**Figura 61 - Simulação para condição antecedente 2013-2014**

A vazão máxima obtida nessa simulação equivale a  $12.260 \text{ m}^3/\text{s}$  (média diária) na estação Tabajara. A correspondente vazão de pico foi estimada, aplicando-se o coeficiente de Füller (1,098), o que resultou em uma vazão de aproximadamente  $13.460 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na Figura 62 é apresentado o hidrograma da VMP.



**Figura 62 - Resultado da Simulação Final**



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 8.1 Análise Da Vazão Máxima Provável Estimada

#### 8.1.1 *Método de Hershfield*

O método de Hershfield foi aplicado tal qual explica o manual da WMO (2009). Para esse estudo foi utilizada uma chuva baseada nas diversas estações pluviométricas dentro e fora da bacia considerada, sintetizada pelo método de Thiessen em uma chuva equivalente para a bacia hidrografia do Rio Ji-Paraná.

Não bastando SUGAI (1989) concentrou parte do seu estudo estimando o valor da constante de frequência  $K_m$ , de forma a adaptar a região de estudo. Como resultado ela obteve uma envoltória superior igual a 9, inferior ao recomendado por Hershfield. Com isso, o alto valor encontrado para a VMP por esse método calculado nesse estudo, pode ser associado ao valor superdimensionado desse parâmetro. Além disso, foi utilizada a bacia total como área de estudo, o que pode agregar uma incerteza.

BURGER (2014), considera o método estatístico mais conservador que o método hidrometeorológico. No presente estudo de caso, considerando a Bacia do Rio Ji-Paraná com fechamento no local da estação fluviométrica Tabajara, o valor obtido resultou em uma vazão de 17.105m<sup>3</sup>/s.

Apesar de Deshpande (2008), Lagos-Zúñiga & Ximena Vargas (2014) e Tingsanchali (2012) terem calculado a PMP por método estatístico em grandes bacias, com sucesso. Esse estudo também conclui a aplicabilidade do método em bacias maiores que 1000km<sup>2</sup>. Entretanto o resultado deve ser entendido como um balizador, podendo superestimar o projeto.

Apesar do valor superestimado conferir maior segurança a um projeto, esse valor também irá aumentar os custos do mesmo, o que não é vantajoso.

#### 8.1.2 *Método Hidrometeorológico*

Os valores de VMP são obtidos por meio de dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos. Em virtude da existência de lacunas e erros de observação existentes nesses dados, foi realizado um amplo trabalho de obtenção de séries contínuas e consistentes.

Foi estimada a precipitação máxima provável a partir de abrangente análise pluviológica e meteorológica que incluiu o traçado de hietogramas, de redes de isoietas e de curvas altura-área-duração de chuvas intensas, que foram devidamente maximizadas. Percebe-se que cada tomada de decisão desse trabalho influenciou na obtenção de um valor final, e que cada valor diferente é capaz de gerar um novo resultado.

Os cálculos dos coeficientes de maximização foram efetuados pelo método da água precipitável, recomendado para o caso de grandes bacias. O uso dos dados observados do ponto de orvalho realizado na bacia do rio Ji-Paraná, conduziu ao valor de 1,21 para as precipitações consideradas (5, 10, 15 e 20 dias) e para condições antecedentes que o geraram (1991 e 2014).

No cálculo da PMP foi empregado o coeficiente de maximização supracitado com base nos dados da estação Porto Velho. Visto pelo lado da segurança, este critério também torna mais conservador o cálculo da VMP.

Utilizando-se as diferentes sequências de alturas de chuva diárias obtidas foram realizadas diversas simulações com o modelo chuva-vazão, de forma a caracterizar vazão de maior pico na bacia do Ji-Paraná, que resultou em 13.460 m<sup>3</sup>/s.

Conclui-se que a sequência de precipitações diárias interfere muito no resultado do modelo, portanto para chegar a uma vazão máxima provável é necessário diversas alternativas e criar uma envoltória de forma a achar o valor máximo.

A maior dificuldade desse estudo foi a unificação de dados climatológicos, entende-se que o estudo em si é condicionado a disponibilidade de dados e não a dificuldade e custo de ser realizado.

### *8.1.3 Comparativo geral*

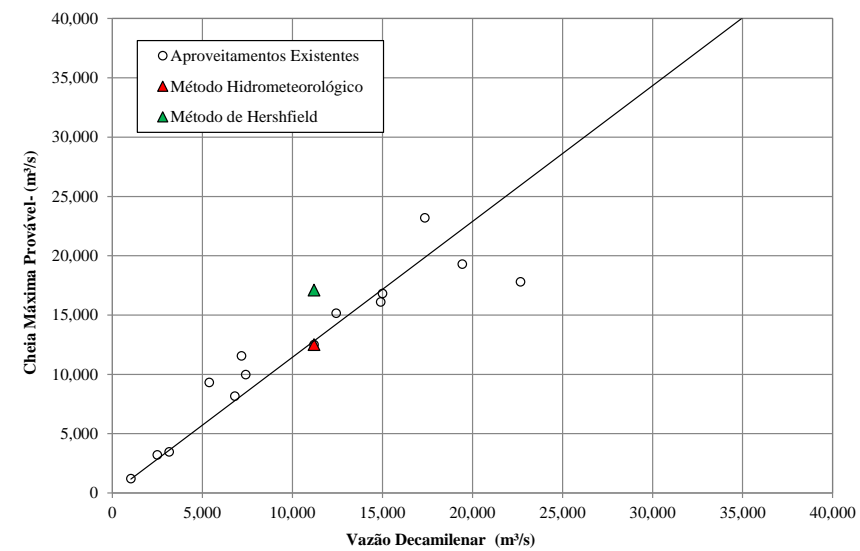
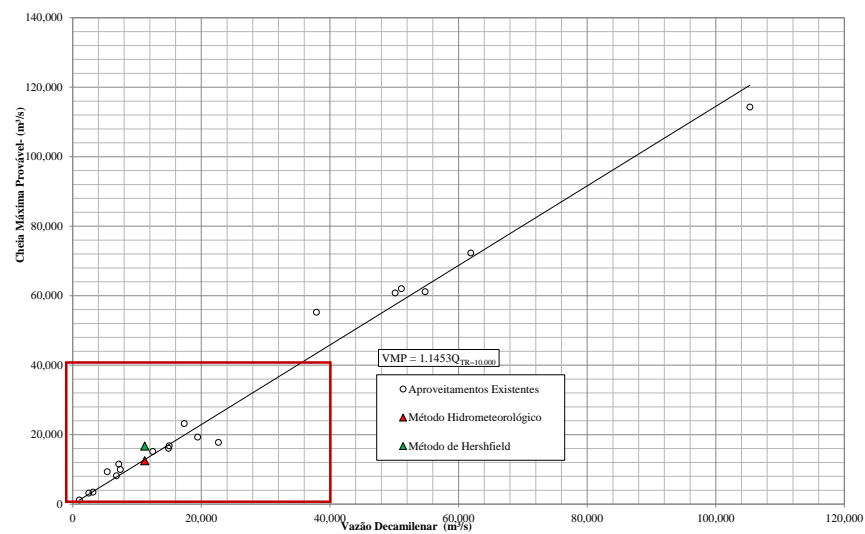
Os resultados obtidos nos estudos estatísticos e meteorológicos devem ser analisados de forma mais minuciosa, para tal foi realizada uma comparação com a VMP adotada em outros estudos. Uma pesquisa de usinas hidrelétricas existentes nas regiões Sudeste, Centro este, Norte, e Nordeste para as quais há disponibilidade tanto de dados de vazões decamilenares como de vazões máximas prováveis é apresentada na (Tabela 28).

**Tabela 28 - Dados de VMP para Diversos Empreendimentos**

UHE	Rio	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Vazão Decamilenar	VMP	Acréscimo
			m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	
Aimorés	Doce	62.167	15	16,813	12,09%
Barra do Peixe	Araguaia	15.81	7,175	11,56	61,11%
Belo Monte	Xingu	449.748	61,889	72,278	16,79%
Cajuru	Pará	2.23	1,03	1,214	17,86%
Cana Brava	Tocantins	57.777	22,669	17,802	-21,47%
Castanhão	Jaguaribe	44.85	17,35	23,2	33,72%
Corumbá	Corumbá	36.85	6,8	8,162	20,03%
Euclides da Cunha	Pardo	4.366	3,15	3,47	10,16%
Ilha Solteira	Paraná	375.46	37,9	55,23	45,73%
Itaocara	Paraíba do Sul	33.219	7,41	9,978	34,66%
Jupia	Paraná	470	50,13	60,79	21,26%
Mal. Mascarenhas de Moraes	Grande	59.6	14,901	16,107	8,09%
Pedra do Cavalo	Paraguaçu	53.65	12,43	15,16	21,96%
Porto Primavera	Paraná	572.48	51,115	62,04	21,37%
Santa Isabel	Araguaia	372.2	54,805	61,15	11,58%
São Salvador	Tocantins	61.298	19,429	19,3	-0,66%
Serra do Falcão	São Marcos	12.14	2,494	3,205	28,51%
Simplicio/Anta	Paraíba do Sul	30.25	5,375	9,322	73,43%
Tucuruí	Tocantins	758	105,3	114,3	8,55%

Fontes: i) Grandes Vertedouros Brasileiros (CBDB, 2010);  
 ii) Main Brazilian Dams (CBDB, 2000);  
 iii) Campos & Salgado (1999)

De posse dessas informações, foi elaborado gráfico representativo da correlação entre as respectivas vazões decamilenares e de VMPs, resultando na Figura 63, na qual foi plotado também o par coordenado representativo das referidas vazões correspondentes ao encontrado para a bacia estudada.



**Figura 63 - Análise de Sensibilidade da VMP de Tabajara**

Essa comparação permite concluir que muitas vezes uma grande vazão simulada através do método estatístico, não gera necessariamente uma VMP coerente, é necessário um questionamento dos valores obtidos para não superestimar o projeto.

Essa análise permite concluir que o estudo hidrometeorológico possui uma grande aderência a reta de regressão, cerca de 14% maiores que a decamilenar. Conclui-se, portanto, que a VMP resultante do presente estudo é consistente com as obtidas em estudo similares.

Apesar de manter-se próximo a reta, o método de Hershfield apresentou uma vazão 52,7% maior que a vazão da decamilenar, com o agravante de ser uma cheia de apenas um dia.

Ademais, apesar do conceito da VMP de considerar um valor máximo possível, estimou-se que o tempo de recorrência, calculado segundo a distribuição de Gumbel, vinculado à Hershfield e ao Estudo hidrometeorológico. A Tabela 29 - Resultados do Métodos resume os resultados do estudo.

**Tabela 29 - Resultados do Métodos**

	<b>Método de Hershfield</b>	<b>Método Hidrometeorológico</b>	<b>Vazão Decamilenar</b>
<b>Vazão (m³/s)</b>	17.105	13.460	11.200
<b>Tempo de Retorno Associado (anos)</b>	113,9 milhões	925 mil	10.000

Estima-se que a limitação da área e do fator de frequência utilizado, foram parâmetros que superestimaram a vazão encontrada do método estatístico. Os parâmetros escolhidos em cada modelo são capazes de ponderar o resultado final. Entretanto, no caso do Método Hidrometeorológico por compreender o energético e a termodinâmica da atmosfera, as perturbações meteorológicas e a distribuição espaço temporal das precipitações resultam em valores mais próximos a realidade e, conseqüentemente, mais seguros.

## 8.2 Considerações e Recomendações

Esta dissertação apresentou uma revisão e discussão sobre metodologias de determinação e vazões máximas prováveis e suas limitações. Os resultados obtidos mostraram a

importância da aplicação do método hidrometeorológico para agregar maior segurança ao empreendimento e com isso obter uma melhor avaliação dos resultados

O estudo realizado trouxe duas alternativas de métodos possíveis, além de uma avaliação da sua aplicação na bacia Hidrográfica do Rio Ji-Paraná. Os resultados apresentados podem servir de orientação para futuros estudos no âmbito de auxiliar estudos de vazões máximas prováveis e do levantamento de dados necessários para realiza-lo.

Entende-se que os métodos de estudo de frequência de vazões máximas de enchente são imprescindíveis para o dimensionamento de obras hidráulicas. Esse estudo é uma importante ferramenta para uma análise econômica e até mesmo de risco, entre as possíveis consequências e o montante necessário para tornar as estruturas suficientemente resistentes a sua ação, propiciando os elementos necessários a definição ótima do projeto (Holtz e Pinto, 1976).

No Brasil esse estudo é limitado a usinas hidrelétricas, no entanto deve ser aplicado a qualquer projeto de risco, como Usinas Termoelétricas, Usinas Nucleares e até drenagens de locais de risco. Talbot & Craig. (2008) já sugeriram a necessidade do estudo para licenciar empreendimentos nucleares.

Apesar de estimar uma probabilidade excepcional de cheia, o método de Hershfield, possui limitações como a aplicabilidade em séries estacionárias. O que torna sua aplicação limitada dada a grande pressão antrópica sobre os recursos hídricos que torna o histórico da estação insuficiente para uma previsão futura, isso é a variabilidade esperada poderia estar fora do universo de dados observados. (Wagener *et al*, 2010)

Além disso, a ausência da análise dos processos físicos atmosféricos e os parâmetros meteorológicos geradores de precipitação tornam o resultado obtido suscetível a ultrapassar limites do que é fisicamente provável.

Assim, com o apoio dos estudos hidrometeorológicos, tais valores-limites podem ser estimados a partir da Precipitação Máxima Provável. Esse estudo, conforme dito anteriormente, delimita um limite máximo teórico que é fisicamente passível de ocorrência para uma determinada duração crítica em região delimitada e por alguns tipos de tormenta.

Apesar da superioridade do método hidrometeorológico, também é necessário ressaltar que o mesmo foi publicado em 1973 e desde então a WMO não realizou outra atualização, ou divulgação de um estudo mais moderno. Com o avanço tecnológico e a utilização de

radiossondas e modelos climatológicos, supõem-se possíveis formas de estimar a umidade da atmosfera e por meio desses maximizar as chuvas. Vários estudos têm sugerido a imposição de um limite superior para a taxa de maximização com base em que a maximização de uma tempestade também grande de um fator pode torná-lo fisicamente inviável. Vários valores foram propostos para este limite, de 1,5 (USACE, 1978) a 2,0 (DUMAS, 2006) e até 2,5 (SNC-Lavalin, 2003). Outras fontes (BEAUCHAMP *et al.*, 2013; CHEN, 2006) considerou que tal limite é arbitrário e sugeriu uma abordagem mais física em que o valor de água precipitável de uma atmosfera saturada ( $P_{WSat}$ ), que é por definição o teor máximo de umidade possível.

Entende-se que a medição de precipitação e temperatura antecede a utilização das radiossondas, portanto, justifica-se a utilização de fatores de temperaturas máximas do ponto de orvalho da superfície que persistem por uma duração mínima de 12 horas. Uma vez que a atmosfera durante chuvas torrenciais de várias horas de duração normalmente se aproxima de um estado de temperatura pseudo-adiabático, este perfil de temperatura-umidade tem sido assumido como um extremo limitante para  $P_{Wmax}$  (SCHREINER E RIEDEL, 1978).

Uma crítica desta suposição foi apresentada por Chen e Bradley (2006), cuja análise de eventos extremos indicou uma superestimativa de 7% de  $P_{Wmax}$  usando os critérios acima. Sua conclusão pode ser resultado da umidade da superfície, seca de nível superior ou dinâmica de tempestades peculiares àquela região geográfica ou subamostragem pelo registro de dados de curto prazo. Mas qualquer superestimativa atual se aplicaria igualmente a mudanças futuras e nosso interesse neste estudo está em mudanças relativas para valores atuais.

Trabalhos recentes já incorporam variáveis meteorológicas produzidas a partir de modelos climáticos regionais e globais para cálculo da PMP e já são percebidos como resultados confiáveis que refletem a incertezas advindas de projeções futuras (Lee *et al.*, 2017).

Conclui-se que os estudos hidrometeorológicos acumulam as incertezas inerentes as séries de dados pluviométricos e meteorológicos, bem como as falhas dos modelos chuva vazão utilizados para os cálculos, outrossim esse método ainda consiste em um grande parâmetro para projetos de alto risco.

O resultado dos estudos realizados depende da qualidade e disponibilidade adequada de dados que o tornam o estudo hidrometeorológico limitado a certas regiões nas quais existam estações hidrológicas e climatológicas além da sensibilidade na adoção dos parâmetros. Essa limitação inviabiliza o estudo em diversos empreendimentos, o que agrega um risco grande a diversos empreendimento.

Uma possibilidade de uso em locais que não possuam dados climatológicos são modelos atmosféricos, que possuem séries sintéticas de longa duração. Nos locais onde não existem dados, ou os mesmos não pareçam ter qualidade ou quantidade para realizar esse estudo, recomenda-se os estudos estatísticos como balizadores de uma vazão máxima provável.

Como recomendação fica a atualização constante desses estudos dado que as variações meteorológicas, tais como o aquecimento global, podem alterar o regime de chuvas em uma bacia e causar variações nas vazões máximas prováveis. Estudos realizados no Canadá (THORSTEN *at al*, 2010), questionam o aumento da precipitação com o aquecimento global de forma a criar uma metodologia para quantificar os impactos das mudanças climáticas sobre PMP e VMP.

Em uma pesquisa nos dados da Agência Nacional de Águas, foram encontradas cerca de 37 mil estações pluviométricas e fluviométricas, dentre essas, apenas 985 possuem dados climatológicos. A carência de tais dados é o principal motivo para o qual esse estudo não é realizado, uma opção para o aumento dessas estações é a inclusão dessa estação na Resolução Conjunta Nº 3, de 10 de Agosto de 2010, a qual estabelece as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas. Essa possibilidade, irá facilitar o acesso aos dados e até a possibilidade de realização do estudo em longo prazo.

Também se ressalta a necessidade de uma unificação dos bancos de dados climatológicos, esse estudo necessita de parâmetros como Temperatura de Orvalho, Temperatura do Bulbo Seco, Bulbo Úmido, umidade relativa do ar e pressão, portanto sugere-se uma plataforma que unifique os dados do Instituto Nacional de Meteorológica, do INPE, e até mesmo de outras plataformas, de maneira a facilitar a obtenção destes dados.

Como próximas etapas desses estudos sugere-se o levantamento de dados para a utilização de um modelo chuva deflúvio diferente, optando por modelos distribuídos. O



modelo empregado nesse estudo é do tipo concentrado, estimando o escoamento superficial resultante. TUCCI (1998) alega que não existem resultados que comprovem a superioridade do modelo distribuído, mas dado que o estudo engloba toda a variação espaço temporal da chuva, entende-se que considerar a variação do espaço pode ser um diferencial de cálculo. Embora o SMAP seja um modelo no qual existam dados e seja prático, entende-se que com um levantamento necessário, pode-se simular a distribuição temporal e analisar o impacto da ocupação do solo no cálculo de vazões.

## REVISÃO BIBLIOGRAFICA

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & Sparovek, G.. *Köppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, 2013.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. “*Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM.*”, Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, 2010.

ALVES, E. D. et al. Interpolação espacial na climatologia: análise dos critérios que precedem sua aplicação. *Revista GEONORTE*, Edição Especial 2, v.1, n.5, p.606 – 618, 2012.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Princípios de Hidrologia Ambiental*. ANA. 2009. Disponível em: <[http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais\\_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf](http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf)>. Acesso em: 01 março 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Procedimentos para Consistência de Dados Pluviométricos – Anexo I. Brasília: Gerência de Informações Hidrometeorológicas/Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2014.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Manual de estudos de disponibilidade hídrica para aproveitamentos hidrelétricos.*: Gerência de Regulação/Superintendência de Outorga e Fiscalização, 2010.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2005, HIDRO - *Banco de Dados Hidrológicos*. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acessado em janeiro/2018

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Capítulo 2. Consumo: Parte 1 Energia no Brasil e no mundo. 2007. Disponível em: Acesso em: out/2017.

BEAUCHAMP, J.; LECONTE, R.; TRUDEL, M.; BRISSETTE, F. Estimation of the summer-fall PMP and PMF of a northern watershed under a changed climate. *Water Resour.* 2013.

BELÉM, P. E. M. *Determinação da precipitação máxima provável em belém*. n. October 1998, 2010.

BEROD, D.; DEVRED, D.; LAGLAINE, V.; CHAIX, O.; ALTINAKAR, M.; DELLEY, P. *Calcul des crues extrêmes par des methodes deterministes du type pluie maximale probable (PMP)/crue maximale probable (PMF): application au cas de la Suisse*. Lausanne, 1992.

BLAIR, T.A., FITE, R.C. *Meteorologia*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964.

BURGER, L.C.; KAVISKI, E. *Análise e Extrapolação do método de Hershfield para determinação da Precipitação Máxima Provável*. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves.

CAMPOS, JD &, SALGADO, JCM. *Estudo da Vazão Máxima Provável do Rio Grande na UHE Mascarenhas de Moraes*, XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH, Belo Horizonte, 1999.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARVALHO, M.C.L. *Análise Regional da Precipitação Máxima Provável no Estado do Paraná*. 2000. 150 p. Dissertação – Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CBDB – COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. *Grandes Vertedouros Brasileiros: Uma panorâmica da prática e da experiência brasileira em projetos e construção de vertedouros para grandes barragens*. [s.l.] CBDB/ICOLD, 2010.

CBDB - COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. *Guia Básico de Segurança de Barragens*. São Paulo: Comitê Brasileiro de Barragens - Núcleo de São Paulo, 2001.

CHOW, V.T. “ *Handbook of Applied Hydrology*” , New York, McGraw-Hill Book Company, 1964

CONTE, A.E *Aspectos de um Hidrograma Máximo Mais Provável*. São Paulo: CreateSpace, 2012

COURT, A.: Area–depth rainfall formulas. *Journal Geophysical Research American Geophysical Union*, 1961

CRAWFORD, N. H., LINSLEY, R. K., 1966, Digital simulation in hydrology, Stanford Watershed Model IV, *Technical Report 39* – Departament of Ciil Engineering, Stanford University, USA.

DIB, K. R., 1986, “*Manual de apresentação do modelo SMAP II*”, Publicação Interna da ENGE-Rio, Engenharia e Consultoria S.A., Rio de Janeiro, R.J., Brasil.

DESHPANDE, N.R.; KULKARNI, B.D.; VERMA, A.K.; MANDAL, B.N. Extreme rainfall analysis and estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) by statistical methods over the Indus river basin in India. *Journal of Spatial Hydrology*, 8(1), 2008.

DOORENBOS, J.; Pruitt, W. O. *Crop water requirement's*: Revised, Roma: FAO, 1975. 144 p. Irrigation and Drainage Paper, 24

ELETROBRÁS – *Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores*, 1987.

ELTZ, F.L.F., REICHERT, J.M., CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas de Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, 1992.

EMBRAPA. *Mapa de solos do Brasil*. Escala 1: 5.000.000. Rio de Janeiro, 2011. [34] \_\_\_\_\_. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. Xxvi, 412

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ESRI®. Environmental Systems Research Institute. *Tutoriais ArcGis*. Redlands: Esri, 2010.

FERNANDES W. Método para a estimação de quantis de enchentes extremas com o emprego conjunto de análise bayesiana, de informações não sistemáticas e de distribuições limitadas superiormente. PhD Thesis. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GALLARDO, A. *Geostatística. Ecosistemas*, Móstoles, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2006.

GUMBEL, E.J. (1941) *The return period of flood flows*. The Annals of Mathematical Statistics, 12, 163-190.

HORTON, C. E. M.. *Modelos Hidrológicos*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

HORTON, R. E. *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Eos, Transactions, American Geophysical Union, v. 14, n. 1, 1933.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa Geomorfológico do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 1 mapa. Escala 1:5.000.000.

INMET.- Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas (1961/1990)*. Governo Federal, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação, 1992

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. *FAQ*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em: nov. 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Eventos El niño e La niña. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: março. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *FAQ*. Estados. 2015. IBGE. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ro>>. Acesso em março. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 2 ed., 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual Técnico de Pedologia*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 2 ed., 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual Técnico de Pedologia*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 3 ed., 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual Técnico de Uso da Terra*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 3 ed., 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa de Clima do Brasil* (Metadados). Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/ Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2002. Disponível em: <[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LABvzJ3BJ7YJ:ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/shapes/clima/Metadados\\_Mapa%2520de%2520Clima%2520do%2520Brasil.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LABvzJ3BJ7YJ:ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/clima/Metadados_Mapa%2520de%2520Clima%2520do%2520Brasil.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em: 31 ago. 2018.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE.  
*Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional de Pacaás Novos. Brasília:* Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral/Coordenação do Bioma Amazônia, 2009.

JÚNIOR, C.R.F; TUCC, C.E.M., ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA INSTANTÂNEA DE PROJETO ATRAVÉS DE UM MODELO MATEMÁTICO. Disponível em <[rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04](http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04)> Acessado em: Junho de 2018

KIM, Y., KIM, Y., YU, W., OH, S., AND JUNG, K., The future of hydrology: An evolving science for a changing world, *In Water Resources Research*, VOL. 46, W05301, doi:10.1029/2009WR008906, 2010.

KUNKEL, K. E., T. R. KARL, D. R. EASTERLING, K. REDMOND, J. YOUNG, X. YIN, AND P. HENNON, Probable maximum precipitation and climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1402–1408, doi: 10.1002/grl.50334. 2013.

LEE, J.; CHOI, J.; LEE, O.; YOON, J.; KIM, S. *Estimation of Probable Maximum Precipitation in Korea using a Regional Climate Model*. *Water*, doi:10.3390/w9040240, 2017.

LAN P.;LIN B.;ZHANG Y.;CHEN H. Probable Maximum Precipitation Estimation Using the Revised Km-Value Method in Hong Kong. In *Journal of Hydrologic Engineering*. Volume ss, 2017. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001517

LIMA,W. P. *Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas*. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2ªEdição,2008.

LINSLEY JR, R.K.; KOHLER,M.A.; PAULHUS, J.L.H. *Hydrology for engineers*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1975.

LOPES, J.E.G., BRAGA, B.P.F., CONEJO, J.G.L.“*SMAP - a simplified hydrological model*”, Proceedings of the International Symposium on Applied Modelling, Mississippi, USA, 1981.

LOU, R. F. *Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ*. 2010. 190p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro,

- Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/RodrigoFurtadoLou.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/RodrigoFurtadoLou.pdf). Acesso em: agosto 2017.
- MAYS, L. W. Water Resources Engineering. Wiley, 2001
- MILLER, J.F., R.H. FREDERICK AND R.J. TRACEY.: *Precipitation Frequency Atlas of the Western United States*. NOAA Atlas 2 Vols I, II, III and IV, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce, Silver Spring, MD. 1973.
- MOREIRA, A. Á. C.; TAVARES, P. R. L.; COSTA, C. T. F. da. *Aplicação de geoprocessamento na caracterização hidrológica e estudo de cheias na bacia do rio granjeiro, Crato/CE*. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11, 2012, João Pessoa. Anais... São Paulo: Acqua Consultoria, 2012. 1 CD-ROM.
- NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia estatística*, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, 2007.
- OCCHIPINTI, A. G. H. Hidrometeorologia. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P. C.; CLEARY, R. (Ed.). *Engenharia hidrológica*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1989.
- PHD 307 – Hidrologia Aplicada, Departamneto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da USP. Disponível em: [www.phd.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=6572](http://www.phd.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6572)>. Acesso em 03 out. 2017.
- PINTO, NELSON L. DE SOUZA; HOLTZ, ANTÔNIO CARLOS TATIT; MARTINS, JOSÉ AUGUSTO; GOMIDE, FRANCISCO LUIZ SIBUT. *Hidrologia Básica*. Editora Edgard Blucher Ltda, 1976
- PORTO, R. L. L.; ZAHED FILHO, K.; SILVA, R. M. *Bacias Hidrográficas*. 1999.
- PORTO, Rubem L. L., *Escoamento superficial direto*. In Drenagem Urbana. Cap. 4, Editora da Universidade. Porto Alegre 1995.
- RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, R.K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY, R. - *Engenharia Hidrológica*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 1, Editora UFRJ, 1989:.
- RIGHETTO, A.M. *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RONDÔNIA (Estado). Lei Complementar n. 233, de 06 de junho de 2000. Dispõe sobre o Zoneamento Socioeconômico - Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE e dá outras providências. In: *Secretaria de Desenvolvimento Ambiental*. Disponível em: 133 <<http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/component/content/article/109-cogeo/168-acervo-tecnico>>. Acesso em: 30 set. 2017.

RONDÔNIA (Estado). Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia: Um Instrumento de Gestão *Ambiental a Serviço do Desenvolvimento Sustentável de Rondônia*. Porto Velho: SEDAM, 2007.

ROUHANI H., LECONTE R. A methodological framework to assess PMP and PMF in snow-dominated watersheds under changing climate conditions – A case study of three watersheds in Québec (Canada) *Journal of Hydrology*, Volume 561, 2018

SANTOS, L. C. C., *Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Modelos Determinísticos e Probabilísticos*. Dissertação, PPGEA/UFES. Espírito Santo, 2010.

SERRA, A. *Chuvas de Verão no Brasil, Chuvas de outono no Brasil, Chuvas de Inverno no Brasil, Chuvas de Primavera no Brasil*” Serviço Nacional de Meteorologia, Ministerio de Agricultura, 1960.

SOUSA, E. S. *Fluxo evasivo de CO<sub>2</sub> em ambientes fluviais no sudoeste da Amazônia, Acre, Brasil*. São Paulo: USP, 2013. Tese (Doutorado em Ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2013.

SUGAI, M.R.V.B. *Tempo de Recorrência Associado à Precipitação Máxima Provável na Região Sul do Brasil*. 155 p. Dissertação – Centro de Hidráulica e Hidrologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

SCHREINER, L. C., RIEDEL, J. T., *Probable Maximum Precipitation Estimates, United States East of the 105th Meridian (HMR No. 51)*, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce, Washington, DC, (1978).

SWAMI, M.V. e MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

TAVARES, P. R. L. *Modelagem hidrológica e hidráulica associada a sistemas de informações geográficas para identificação de planícies de inundação do perfil de água em um trecho do rio Maranguapinho*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia



Civil/Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

TINGSANCHALI, T., TANMANEE, S.: Assessment of Hydrological Safety of Mae Sruai Dam, Thailand. *Procedia Eng.*, 32, 1198-1204, 2012.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. - Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS: ABRH, 2005.

TUCCI, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. 2.ed., Porto Alegre : UFRGS/ABRH, 1998.

VALERIANO, M. M. et al. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90m data. *Computers & Geosciences*, v. 32, p. 1169–1181, 2006.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography (Sevenoaks)*, v. 32, 2011.

VALVENCA, M.A. TETER, N.C. Ensayo de aireación nocturna de maíz en la sabana de Bogotá. *Revista ICA*, Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario .1971.

VICTORIA, D.C. *Estimativa da Evapotranspiração da bacia do Ji-Paraná (RO) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento*. Piracicaba: USP, 2004. Dissertação (Mestrado em Ecologia em Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, 2004.

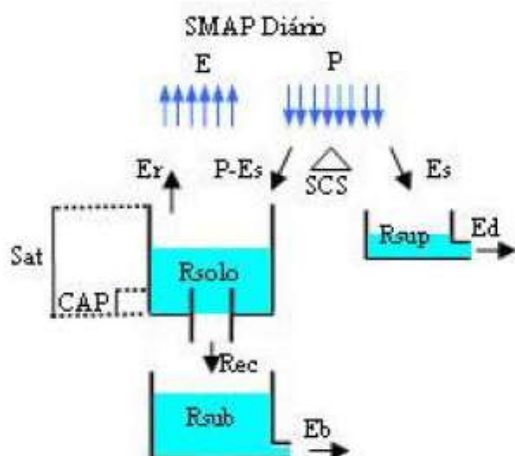
VILLELA, S.M. e MATTOS, A., "*Hidrologia Aplicada*", McGraw-Hill, São Paulo - SP, 1975.

WAGENER, T. & SIVAPALAN, M. & TROCH, P. & MCGLYNN, B. & HARMAN, C.& V. GUPTA, H. & KUMAR, P. & SURESH C. R., & BASU, N.& WILSON, J.. (2010). The Future of Hydrology: An Evolving Science for a Changing World. *Water Resources Research*. 46. 10.1029/2009WR008906.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*. 2009.

## Apêndice 1

As descrições do modelo SMAP da versão diária:



**Figura 1 - Estrutura do Modelo SMAP Diário**

Onde:

$E_b$  = escoamento de base;

$E$  = evaporação baseada nas normais climatológicas;

$E_r$  = evapotranspiração real;

$E_s$  = escoamento superficial;

$P$  = precipitação;

$Rec$  = recarga subterrânea;

$R_{solo}$  = reservatório do solo (zona aerada);

$R_{sub}$  = reservatório subterrâneo (zona saturada);

$Sat$  = volume máximo armazenado no reservatório do solo (mm).

O modelo SMAP versão diária tem como dados de entrada a área da bacia ( $A_d$ ), as séries diárias de precipitação e a evapotranspiração potencial. São seis os parâmetros que devem ser calibrados, a saber:

$Sat$  - volume máximo armazenado no reservatório do solo em mm;

$A_i$  - abstração inicial em mm;

$Capc$  - capacidade de campo do solo, adimensional;

Crec - recarga subterrânea;

Kkt - número de dias em que o escoamento de base cai à metade de seu valor;

K2t - número de dias em que o escoamento direto cai à metade de seu valor.

Têm-se também duas variáveis de estado que descrevem as condições iniciais da bacia: Tuin (teor de umidade inicial em mm.mm<sup>-1</sup>) e Ebin (vazão de base inicial m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Os coeficientes utilizados para o ajuste da precipitação e da evapotranspiração potencial são Pcoef e Epccoef, respectivamente.

Para dar início à simulação da versão diária do SMAP, os seguintes valores são admitidos para os volumes dos reservatórios:

$$Rsolo_1 = Tuin \cdot Sat$$

$$Rsup_1 = 0$$

$$Rsub_1 = \frac{Ebin \cdot 86,4}{Ad \cdot (1 - Kk)}$$

Onde:

Rsolo = volume armazenado no reservatório do solo (mm);

Tuin = teor de umidade inicial (mm.mm<sup>-1</sup>);

Sat = volume máximo armazenado no reservatório do solo (mm);

Rsup = volume armazenado no reservatório superficial (mm);

Ebin = vazão de base inicial (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>);

Ad = área da bacia (km<sup>2</sup>);

Kk = constante de recessão do escoamento de base.

O balanço hídrico nos três reservatórios hipotéticos é atualizado a cada intervalo de tempo de acordo com as equações a seguir:

$$Rsolo_{i+1} = Rsolo_i + P_{i+1} - Es_{i+1} - Er_{i+1} - Rec_{i+1}$$

$$Rsup_{i+1} = Rsup_i + Es_{i+1} - Ed_{i+1}$$

$$Rsub_{i+1} = Rsub_i + Rec_{i+1} - Eb_{i+1}$$

Onde:

$R_{sub}$  = volume armazenado no reservatório subterrâneo (mm);

$P$  = precipitação (mm);

$E_r$  = evapotranspiração real (mm);

$E_s$ ,  $E_d$  e  $E_b$  = escoamentos superficial, direto e de base respectivamente (mm);

$R_{ec}$  = recarga subterrânea (mm);

$i$  = intervalo de tempo.

As funções de transferência são cinco, descritas como segue:

Separação do escoamento superficial, baseada no método do SCS (Soil Conservation Service do USDA):

$$\text{Se } P > A_i \quad \text{então} \quad S = S_{at} - R_{solo} ; \quad E_s = \frac{(P - A_i)^2}{(P - A_i + S)}$$

Caso contrário  $E_s = 0$

Onde:

$A_i$  = abstração inicial (mm);

$S$  = abstração potencial (mm).

Evapotranspiração Real:

$$\text{Se } P - E_s > E_p \quad \text{então} \quad E_r = E_p$$

$$\text{Caso contrário } E_r = (P - E_s) + (E_p - (P - E_s)) \cdot T_u$$

Onde:

$T_u$  = taxa de umidade do solo (adimensional);

$E_p$  = evapotranspiração potencial (mm).

Recarga do reservatório subterrâneo:

$$\text{Se } R_{solo} > (C_{apc} \cdot S_{at}) \quad \text{então:}$$

$$T_u = \frac{R_{solo}}{S_{at}} \quad R_{ec} = C_{rec} \cdot T_u \cdot (R_{solo} - (C_{apc} \cdot S_{at}))$$

Caso contrário,  $Rec = 0$

Onde:

$Crec$  = coeficiente de recarga;

$Capc$  = capacidade de campo do solo (adimensional).

Escoamento superficial direto

$$Ed = R_{sup} \cdot (1 - k_2)$$

Escoamento de base

$$Eb = R_{sub} \cdot (1 - Kk)$$

Sendo:  $k_2 = 0,5^{\frac{1}{k_{2t}}}$        $Kk = 0,5^{\frac{1}{K_{kt}}}$

Onde:

$K_2$  e  $Kk$  = constantes de recessão do escoamento direto e de base, respectivamente;

$K_{2t}$  e  $K_{kt}$  = número de dias em que o escoamento direto e de base caem à metade de seu valor.

A vazão total é a soma do escoamento direto e de base:

$$Q = \frac{(Ed + Eb) \cdot Ad}{86,4}$$

O modelo contém ainda uma rotina de atualização prévia do teor de umidade que a cada intervalo de tempo acrescenta uma parcela de chuva do mês, de forma a utilizar o teor de umidade médio do mês em questão. Essa rotina melhora sensivelmente os resultados, principalmente em regiões de grande variabilidade no regime pluviométrico. A atualização prévia do teor de umidade ( $dsol$ ) é calculada pela equação abaixo:

$$d_{sol} = 0,5 \cdot (prm - prm \cdot tu^{pes} - epm \cdot tu - r_{solo} \cdot crec \cdot tu^4)$$

Onde:

$Prm$  = é a chuva média ajustada pelo coeficiente  $Pcof$ ;

$Epm$  = é a evaporação potencial ajustada pelo coeficiente  $Ecof$ ;

$Tu$  = teor de umidade.

A calibração adotada pelo SMAP objetiva balancear as vantagens e desvantagens de dois métodos de calibração (manual e automático) que têm sido normalmente utilizados para os modelos Chuva-Vazão. A calibração manual é efetuada por "tentativa e erro" e constitui-se um processo de caráter muito subjetivo e trabalhoso, além de requerer muita experiência do hidrólogo. Por outro lado, favorece a determinação de cada parâmetro, dado o acompanhamento total do hidrólogo durante o processo.

Já a calibração automática facilita o trabalho e diminui a subjetividade do processo de calibração. Essas facilidades acarretam a falta de acompanhamento do hidrólogo, impedindo o desenvolvimento de sua sensibilidade, e com isso gerando resultados pouco confiáveis.

A calibração do SMAP mescla os dois métodos descritos, aproveitando as vantagens de ambos de forma a permitir uma boa calibração e colocar os modelos ao alcance de hidrólogos menos experientes.

A versão mensal e diária do SMAP utiliza duas funções objetivas para avaliação da calibração:

Soma dos Desvios Relativos Quadráticos (para rios perenes):

$$f.o = \sum_1^n \left( \frac{Q_{obs} - Q_{calc}}{Q_{obs}} \right)^2$$

Soma dos Desvios Absolutos Quadráticos (para rios intermitentes):

$$f.o = \sum_1^n (Q_{obs} - Q_{calc})^2$$

Onde:

$Q_{obs}$  = vazão observada;

$Q_{calc}$  = vazão calculada.

## Apêndice 2



A descrição da legenda da Figura 12 foi baseada na Lei Complementar Nº 233, de 06 de junho de 2000, segue a descrição de cada subzona:

A Zona 1, cujas áreas são destinadas ao uso com fim agropecuário, agroflorestal e florestal, abrange as seguintes subzonas:

- Subzona 1.1 - Áreas com grande potencial e dotadas de infraestrutura para o desenvolvimento urbano (maiores densidades populacionais), bem como para o desenvolvimento rural (potencial agropecuário), com áreas de alto custo de preservação e baixa vulnerabilidade a erosões.
- Subzona 1.2 - Áreas com cobertura florestal em acelerado processo de ocupação e desmatamentos descontrolados, com médio potencial social e agrícola, bem como baixa e média vulnerabilidade à erosão.
- Subzona 1.3 - Áreas de expressivo potencial florestal, com predomínio da cobertura vegetal, com processo de ocupação incipiente e descontrolado, com aptidão agrícola predominantemente restrita e médio potencial erosivo.
- Subzona 1.4 - Áreas com infraestrutura propícia a exploração de terras, de alta vulnerabilidade a erosão, com restrições a conversão da cobertura vegetal em função da relevância dos ecossistemas na preservação dos recursos hídricos, ressaltando-se seu potencial para hidrelétricas de pequeno porte.

A Zona 2, que compreende as áreas destinadas à conservação dos recursos naturais, passíveis de uso sob manejo sustentável, possui duas subzonas, sendo uma delas, integrante da bacia em estudo, descrita abaixo.

- Subzona 2.1 - Áreas de baixo e médio custo de preservação, com inexpressiva conversão florestal e grande possibilidade de valorização das terras devido ao alto potencial de exploração de produtos madeireiros e não madeireiros. Também possui setores de alto potencial para o ecoturismo e para atividades de pesca.

A Zona 3 compreende as áreas institucionais, constituídas pelas Unidades de Conservação de uso restrito e controlado, dividindo-se nas seguintes subzonas:

- Subzona 3.1 - Áreas constituídas pelas unidades de conservação de uso direto.
- Subzona 3.2 - Áreas formadas pelas unidades de conservação de uso indireto.
- Subzona 3.3 - Áreas formadas pelas terras indígenas.

## Apêndice 3

A análise da figura 13 permite identificar as seguintes formações vegetais a descrição de cada uma foi baseada no Manual Técnico da Vegetação Brasileira – 2ª Edição, elaborado pelo IBGE (2012).

- Contato Savana/Floresta Ombrófila – Essa vegetação é encontrada em poucos pontos da bacia, especialmente ao sul e na porção central. É caracterizada pela transição de ecotonos das formações supracitadas. Nessa transição, elementos que se misturam são indivíduos isolados e dispersos, formando conjuntos geralmente muito homogêneos ou uniformes, torna-se difícil de ser detectado no mapeamento por simples fotointerpretação.
- Culturas Cíclicas são abundantes na bacia e ocupam grande percentual de sua área, ocorrendo principalmente em zonas centrais próximas aos centros urbanos. Correspondem ao cultivo de plantas de curta ou média duração, com ciclo vegetativo normalmente inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Nas culturas cíclicas, destacam-se as de grãos e cereais, as de bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças, bem como as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte.
- ➤ Floresta Estacional Semidecidual Submontana – Formação encontrada na parte sul da bacia, encontra-se normalmente próxima a Savanas.
- ➤ Floresta Ombrófila Aberta Aluvial – Esta formação se estabelece ao longo dos cursos de água, estando próxima a foz do rio Ji-Paraná. Ocupa planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, constituindo fisionomias de matas de várzea ou matas-de-igapó na Amazônia. Sua composição florística e características ecológicas predominantes são semelhantes às da Floresta Ombrófila Densa Aluvial, porém se destaca em sua fisionomia por apresentar um grande número de palmeiras de grande porte e em alguns casos pela dominância de lianas lenhosas e herbáceas, cobrindo um rarefeito estrato de árvores.
- Floresta Ombrófila Aberta Submontana – É a vegetação mais predominante na bacia do Rio Ji-Paraná e essa formação pode ser observada distribuída por toda a Amazônia.
- ➤ Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas - Estabelecida ao longo dos cursos de água, assim como a floresta ombrófila aberta aluvial, essa formação

pode ser encontrada próxima a foz do rio. Apresenta predominância da faciação com palmeiras.

- Floresta Ombrófila Densa Aluvial – Ocorre ao longo dos cursos dos rios, ocupando terraços das planícies, constitui-se por macro, meso e micro fanerófitos de rápido crescimento, geralmente de casca lisa e tronco cônico, por vezes com a forma característica de botija e raízes tabulares.
- ➤ Floresta Ombrófila Densa Submontana – Encontra-se espaçadamente pela bacia, principalmente na região central. É caracterizada por espécies que variam de acordo com a latitude, sendo o fator tempo um elemento de grande importância nesta variação ambiental. Nesta formação, as áreas dissecadas do relevo montanhoso e dos planaltos com solos medianamente profundos são ocupadas por uma formação florestal que apresenta fanerófitos de alto porte, com altura aproximadamente uniforme. Sua submata é integrada por plântulas de regeneração natural, com a presença de palmeiras de pequeno porte e lianas herbáceas em maior quantidade.
- ➤ Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas – Assim como a Floresta Ombrófila densa Aluvial, essa formação encontra-se próxima a foz principalmente na margem direita. Apresentam uma florística bastante típica, caracterizada por ecótipos dos gêneros.
- Formações Pioneiras Influência Fluvial/Lacustre - Compreende uma vegetação de primeira ocupação de caráter edáfico, ocupando terrenos rejuvenescidos pelas seguidas deposições dos solos ribeirinhos aluviais e lacustres, com isso pode ser vista ao longo das margens do rio e dos afluentes da região. São comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou então, das depressões alagáveis todos os anos.
- ➤ Pecuária (Pastagens) – Assim como as culturas cíclicas, essa formação encontra-se espalhada pela região central da bacia, ressalta-se que seu mapeamento nas escalas regional e exploratória não é fácil, devido à dificuldade de separá-los da agricultura cíclica, sendo mais conveniente englobá-los no item “agropecuária”.
- Savanas – Na porção sul da bacia, podem ser identificadas quatro formações de Savana distintas: A savana arborizada que é a mais dominante. Este subgrupo, que pode ser de formação natural ou antropizada, caracteriza-se por apresentar uma

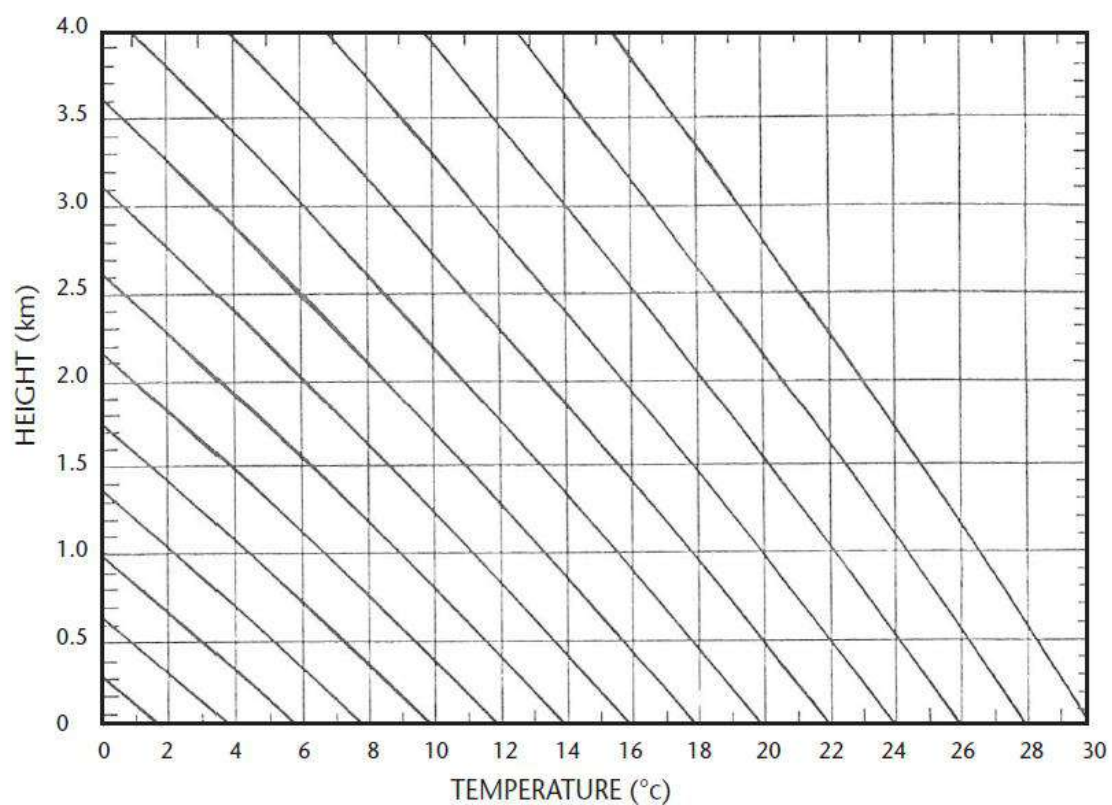
fisionomia nanofanerofítica rala e outra graminóide contínua, sujeito ao fogo anual.

- Savana Florestada, presente apenas em uma pequena área próxima as florestas Floresta Estacional Semidecidual Submontana Esse subgrupo de formação apresenta fisionomia típica e característica restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional.
- Savana Gramíneo Lenhosa e Savana Parque Neste subgrupo, A Savana lenhosa é natural, a fisionomia prevalecente é a dos gramados entremeados por plantas lenhosas raquíticas Já a Savana Parque é de natureza antrópica é encontrada em todo o País, a natural ocorre algumas vezes com feição de campos.
- Vegetação Secundária - Compreende todas as comunidades secundárias brasileiras, compreendendo as áreas onde houve intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária

Anexo 1

Height above MSL (m)	Temperature (°C)																			
	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0
0 (1000 hPa)	54.8	57.1	59.5	62.1	64.9	67.9	71.0	74.3	77.5	80.8	84.3	88.0	91.9	95.9	100.	104.5	109.1	113.9	118.9	124.2
100	52.9	55.3	57.6	60.2	62.9	65.9	68.8	72.0	75.2	78.6	82.0	85.6	89.4	93.4	97.5	101.8	106.3	111.1	115.8	121.0
200	51.2	53.5	55.8	58.3	61.0	63.8	66.7	69.8	72.9	76.3	79.7	83.2	86.9	90.9	94.9	99.2	103.6	108.2	112.7	117.8
300	49.5	51.7	54.1	56.5	59.1	61.9	64.7	67.7	70.7	74.4	77.5	80.9	84.6	88.5	92.5	96.7	100.9	105.3	109.9	114.9
400	47.8	50.0	52.4	54.8	57.3	60.0	62.7	65.7	68.7	72.0	75.3	78.7	82.3	86.2	90.1	94.2	98.4	102.7	107.2	112.1
500	46.2	48.4	50.8	53.1	55.5	58.1	60.8	63.7	66.6	69.9	73.2	76.6	80.1	84.0	87.8	91.8	95.9	100.1	104.6	109.4
600	44.7	46.8	49.1	51.4	53.8	56.3	58.9	61.8	64.7	68.0	71.3	74.6	78.1	81.9	85.6	89.4	93.4	97.6	102.0	106.7
700	43.1	45.2	47.6	49.8	52.1	54.6	57.1	60.0	62.9	66.1	69.3	72.6	76.0	79.7	83.3	87.0	91.0	95.1	99.6	104.1
800	41.6	43.7	46.0	48.2	50.5	52.9	55.3	58.1	61.0	64.2	67.4	70.7	74.1	77.5	81.0	84.6	88.6	92.7	97.2	101.5
900	40.2	42.3	44.5	46.6	48.8	51.2	53.6	56.3	59.1	62.3	65.5	68.8	72.0	75.3	78.7	82.3	86.2	90.2	94.7	99.0
1 000	38.8	40.8	43.0	45.1	47.3	49.5	51.8	54.5	57.3	60.4	63.6	66.9	70.0	73.1	76.4	80.0	83.8	87.9	92.4	96.5
1 100	37.4	39.3	41.4	43.6	45.7	47.9	50.1	52.7	55.4	58.5	61.8	65.1	68.1	71.0	74.3	77.8	81.7	85.7	90.2	94.1
1 200	36.0	37.9	39.9	42.2	44.3	46.4	48.4	51.0	53.7	56.7	60.0	63.2	66.3	69.0	72.2	75.7	79.5	83.5	88.0	91.7
1 300	34.8	36.6	38.6	40.8	42.8	44.9	46.9	49.4	52.0	55.0	58.1	61.3	64.3	67.0	70.2	73.6	77.2	81.3	85.7	89.4
1 400	33.6	35.3	37.3	39.5	41.5	43.4	45.3	47.8	50.4	53.4	56.4	59.5	62.4	65.1	68.2	71.5	75.1	79.1	83.5	87.2
1 500	32.2	34.0	36.0	38.1	40.0	41.9	43.8	46.2	48.7	51.8	54.8	57.8	60.7	63.3	66.3	69.5	73.1	77.0	81.3	84.9
1 600	31.1	32.8	34.6	36.7	38.6	40.4	42.3	44.7	47.2	50.3	53.2	56.2	59.0	61.6	64.5	67.6	71.2	75.0	79.2	82.7
1 700	30.0	31.6	33.4	35.4	37.3	39.1	41.0	43.3	45.7	48.7	51.6	54.5	57.3	59.9	62.7	65.8	69.3	73.0	77.0	80.4
1 800	28.9	30.5	32.2	34.2	36.1	37.9	39.7	42.0	44.4	47.2	50.0	52.8	55.6	58.2	61.0	64.1	67.5	71.1	75.0	78.2
1 900	27.9	29.5	31.2	33.1	34.9	36.7	38.5	40.7	43.0	45.8	48.5	51.2	53.9	56.6	59.4	62.5	65.8	69.2	72.8	76.0
2 000	26.8	28.4	30.1	32.0	33.8	35.5	37.3	39.5	41.8	44.4	47.0	49.6	52.3	55.0	57.8	60.9	64.1	67.5	70.9	73.8
2 100	25.9	27.5	29.0	30.8	32.5	34.4	36.2	38.3	40.5	43.0	45.5	48.1	50.7	53.5	56.3	59.3	62.5	65.7	69.0	71.9
2 200	25.0	26.5	27.9	29.6	31.3	33.2	35.0	37.1	39.3	41.8	44.2	46.6	49.2	51.8	54.7	57.7	60.8	63.9	67.2	70.1
2 300	24.0	25.5	26.9	28.6	30.2	32.1	34.0	36.0	37.2	40.0	42.6	45.2	47.8	50.5	53.2	56.1	59.1	62.2	65.4	68.4
2 400	23.1	24.5	26.0	27.6	29.3	31.1	33.0	35.0	37.1	39.3	41.6	44.0	46.5	49.1	51.8	54.6	57.5	60.5	63.6	66.8

**Figura 64 - Água precipitável (mm), entre o nível de 1000mb (altitude zero ) e a altitude indicada (m), em uma atmstefa pseudoadiabática saturada em função da temperatura do ponto de orvalho (°C)**



**Figura 65 - Diagrama pseudoadiabático para a redução da temperatura do ponto de orvalho ao nível de 1000mb**



Anexo 2

[illegible]

Anexo 3

**Tabela 30 - Configurações de Thiessen realizadas**

Nº do Thiessen	CHUPINGUAIA	FÁBIO (BOLICHE)	FAZENDA EXPANSÃO	FAZENDA FLOR DO CAMPO	JARU	JI-PARANÁ	MARCO RONDON	MINERAÇÃO ORIENTE NOVO	MIRANTE DA SERRA	OURO PRETO DO OESTE	PARECIS	PIMENTA BUENO	ROLIM DE MOURA	RONDONIAS (BARROCAS)	SERINGAL 70	TABAJARA	THEOBROMA	VILHENA	VISTA ALEGRE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0		7733		12081	2313	7247			8562			10579		4283	1468	3365	2583		
1		7748		12081	2671	7247			8564			10579		4283		3365	3676		
2		7733		12081	2313	5657			7511			5592	7628	4283	1468	3365	2583		
3		7733		1841		5673	12094		8017			3884	7482	4593	2293	3365	3239		
4		8170		1841		8315	12094		8043			3884	7482		2293	3365	4726		
5		8170				8315	15857		8043				9444		2293	3365	4726		
6		11092					15857		11402				12010		6489	3365			
7		14457					15857		11402				12010		6489				
8			5933				6717		10550				6409		20096			2923	7586
9			5933				6717		10550				6409		12140	7956		2923	7586
10									11424				27946		12888	7956			
11									9612				26408	16238		7955			
12									9078				26408	9549		6769	8410		
13					2578	8170	9630		7511			4429	7482		1507	6776	8371	3760	
14					47811										4546	7857			
15					40963										1529	6776	10945		
16					48446										11768				
17					60214														
18				12081	12022				8951			5782	9633		11746				
19				12081	19103							5782	11480		11768				
20				12081	6325	9332			7511			5592	7628		11746				
21			10180	4164	2975	5657			7511			4007	6951	10352	8418				
22				12081	2975	5657			7511			5592	7628	10352	8418				
23			8419	1841	2975	5208	4294		7511			2953	5774	10352	8418				2470
24			8419	1841	8386	5208	4294		7512			2953	5774	13358					2470
25			8419	1841	2671	5208	4294		7512			2953	5774	5458		6769	6847		2470
26			8419	1841	2172	4492	4294		7070	1993		2953	5774	5121		6769	6847		2470
27			8419	1841	3919	4492	4294	6673	7070	1993		2953	5774	5907		4409			2470

Nº do Thiessen	CHUPINGUAIA	FÁBIO (BOLICHE)	FAZENDA EXPANSÃO	FAZENDA FLOR DO CAMPO	JARU	JI-PARANÁ	MARCO RONDON	MINERAÇÃO ORIENTE NOVO	MIRANTE DA SERRA	OURO PRETO DO OESTE	PARECIS	PIMENTA BUENO	ROLIM DE MOURA	RONDONIAS (BARROCAS)	SERINGAL 70	TABAJARA	THEOBROMA	VILHENA	VISTA ALEGRE
28			8419	1841	3919	4492	4294	11082	7070	1993		2953	5774	5907					2470
29			8419	1841	2477	4492	4294	10626	7069	1993		2953	5774	5907	1900				2470
30			8419	1841	2313	5208	4294	10004	7511			2953	5774	5297	1131		3001		2470
31				1841	2313	5208	12094	10004	7511			3040	6305	5297	1131		3001		2470
32			8419	1841	1815	4492	4294	10004	7069	1993		2953	5774	4960	1131		3001		2470
33					2953	6244		1900	8419										
34			8419	1841	2975	5657	4294	10626	7511			3797	6951	6244	1900				
35		6057	8419	1841	2313	5657	4294	2327	7511			3797	6951	4283	1131	3300	2335		
36		6057	8419	1841	2313	5208	4294	2327	7511			2953	5774	4283	1131	3300	2335		2470
37		6057		1841	2313	5208	12094	2327	7511			3040	6305	4283	1131	3300	2335		2470
38		9569	8419	1841	2968	5208	4294	2583	7511			2953	5774	4766	1860				2470
39		6393	8419	1841	2968	5208	4294	2459	7511			2953	5774	4766	1860	3300			2470
40		6057	8419	1841	1815	4492	4294	2327	7069	1993		2953	5774	3946	1131	3300	2335		2470
41		7733	8419	1841	1815	4492	4294		7069	1993		2953	5774	3946	1468	3365	2583		2470
42		6494	8419	1841	1826	6443	4294	2327	7069	2523		2953	5774		1131	3300	3352		2470
43		6057		1841	1815	4942	12094	2327	7069	1993		3884	7482	3946	1131	3300	2335		
44		6494	8419	1841	1826	6892	4294	2327	7069	2523		3797	6951		1131	3300	3352		
45		6494	8419	1841	2184	6892	4294	2418	7070	2523		3797	6951			3300	4031		
46		9232	8419	1841	1815	4942	4294	2451	7069	1993		3797	6951	3946	1131		2335		
47		8419	1841	2975	5208	4294	10626	7511				2953	5774	6244	1900				2470
48		9232	8419	1841		4492	4294	2451	7261	2465		2953	5774	3953	1879		2730		2470
49		9669	8419	1841		6443	4294	2451	7261	3005		2953	5774		1879		3757		2470
50		9669		1841	1826	6443	12094	2451	7069	2523		3040	6305		1131		3352		2470
51		6057	8419	1841	1815		4294	2327	7137	3683		2953	5938	5590	1131	3300	2335		3396
52		6057		1841	1815	4492	12094	2327	7069	1993		3040	6305	3946	1131	3300	2335		2470
53		6393	8419	1841	2470	4492	4294	2459	7069	1993		2953	5774	4429	1860	3300			2470
54		6057	8419	1841	2172	4492	4294	2418	7070	1993		2953	5774	3946		3300	3015		2470
55		9232		1841	1815	4492	12094	2451	7069	1993		3040	6305	3946	1131		2335		2470
56		9232	8419	1841	2172	4492	4294	2542	7070	1993		2953	5774	3946			3015		2470
57		9232	8419	1841	1815	4492	4294	2451	7069	1993		2953	5774	3946	1131		2335		2470

Nº do Thiessen	CHUPINGUAIA	FÁBIO (BOLICHE)	FAZENDA EXPANSÃO	FAZENDA FLOR DO CAMPO	JARU	JI-PARANÁ	MARCO RONDON	MINERAÇÃO ORIENTE NOVO	MIRANTE DA SERRA	OURO PRETO DO OESTE	PARECIS	PIMENTA BUENO	ROLIM DE MOURA	RONDONIAS (BARROCAS)	SERINGAL 70	TABAJARA	THEOBROMA	VILHENA	VISTA ALEGRE
58		9232	8419	1841	1815		4294	2451	7137	3683		2953	5938	5590	1131		2335		3396
59		9232		1841	2328		12094	2451	8279			3040	6522	7362	1131		2335		3599
60				1841			12094					3040	14396						28844
61		6057		1841	2328		12094	2327	8279			3040	6522	7362	1131	3300	2335		3599
62		6610		1841	4101		12094	2327	8760			3040	6522		1131	3300	5379		5110
63		6057		2969	2328		10611	2327	8279		3810		5175	7362	1131	3300	2335		4531
64		6057		1841	2328		10370	2327	8279		3596	2651	5038	7362	1131	3300	2335		3599
65		6393		1841	2983		10370	2459	8279		3596	2651	5038	7845	1860	3300			3599
66				1841			10370	5594	8794		3596	2651	5038	8708	1956	4409	3657		3599
67		6057		1841			10370	2327	8794		3596	2651	5038	7694	1956	3300	2991		3599
68		9232		1841	2328		10370	2451	8279		3596	2651	5038	7362	1131		2335		3599
69		6057	7320	1841	2328		4272	2327	8279		2374	2651	5038	7362	1131	3300	2335		3599
70		7733	7320	1841	2328		4272		8279		2374	2651	5038	7362	1468	3365	2583		3599
71		6057	7320	1841	8315		4272	2327			2374	2651	6547	8109	1153	3300	2335		3614
72		6057	8458	2975	2328		4723	2327	8279				6408	7362	1131	3300	2335		4532
73		9232	7320	1841	2328		4272	2451	8279		2374	2651	5038	7362	1131		2335		3599
74		9569	8419	1841	8970		4294	2583				2953	7500	8591	1882				3614
75		6610	7320	1841	4459		4272	2418	8762		2374	2651	5038			3300	6058		5110
76		6057	7320	1841	2685		4272	2418	8281		2374	2651	5038	7362		3300	3015		3599
77		6393	7320	1841	2983		4272	2459	9878		4841	6051		9016	1860	3300			
78		6393	7320	1841	9485		4272	2459			3850	2746		8747	1882	3300			7918
79		6610	7320				5568	2327			3850	3291			7330	3300	9641		10977
80		6057	7320	1841	2328		4272	2327	9062		3733	2746		7362	1131	3300	2335		6401
81		6057		1841	2328		10370	2327	9062		4955	2746		7362	1131	3300	2335		6401
82		6393	7320	2969	2983		4513	2459	9062		4032			7845	1860	3300			7479
83		6057	9065	4164	2328			2327	9062		3744	2939		7362	1131	3300	2335		6401
84		6393	7320	1841	2983		4272	2459	9062		3733	2746		7845	1860	3300			6401
85		9232	7320	2969	2328		4513	2451	9062		4032			7362	1131		2335		7479
86		9232		1841	2328		10370	2451	9062		4955	2746		7362	1131		2335		6401
87		6057	7320	1841	8315		4272	2327			2374	2651	6547	8109	1153	3300	2335		3614

Nº do Thiessen	CHUPINGUAIA	FÁBIO (BOLICHE)	FAZENDA EXPANSÃO	FAZENDA FLOR DO CAMPO	JARU	JI-PARANÁ	MARCO RONDON	MINERAÇÃO ORIENTE NOVO	MIRANTE DA SERRA	OURO PRETO DO OESTE	PARECIS	PIMENTA BUENO	ROLIM DE MOURA	RONDONIAS (BARROCAS)	SERINGAL 70	TABAJARA	THEOBROMA	VILHENA	VISTA ALEGRE
88		9232	8419	1841	2328		4294	2451	8279			2953	5991	7362	1131		2335		3599
89		6057	8419	1841	2328		4294	2327	8279			2953	5991	7362	1131	3300	2335		3599
90		7873	7320	1841	7255		4272	2459	8760		2374	2651	5038		1860	3300			5210
91		6057	7320	2969			4513	2327	8794		2588		5175	7694	1956	3300	2991		4531
92	7316	6057		1841	2328		3931	2327	8279		2719	2651	5038	7362	1131	3300	2335		3599
93	7316	6057		1841			3931	2327	8794		2719	2651	5038	7694	1956	3300	2991		3599
94	7316	14909		1841			3931	7509			2719	2651	11293						8045
95	7316	9232		1841	2328		3931	2451	8279		2719	2651	5038	7362	1131		2335		3599
96	7316	6057		1841	8315		3931	2327			2719	2651	6547	8109	1153	3300	2335		3614
97	7316	6057		1841	2328		3931	2327	8286		2719	3501	7100	8043	1131	3300	2335		
98	7316	6610		1841	4600		3931	2327	8951		2719	3674	8002		1131	3300	5812		
99	7316	6610		1841	4101		3931	2327	8760		2719	2651	5038		1131	3300	5379		5110
100	7316	7733		1841	2328		3931		8279		2719	2651	5038	7362	1468	3365	2583		3599
101	7316			1841	2328		3931	5594	8279		2719	2651	5038	8376	1131	4409	3001		3599
102	8131	6057		1841	2328		4167	2327	8279			3040	6317	7362	1131	3300	2335		3599
103	7316	6610		3695	11682		4172	2327			2934		11186		1153	3300	5839		
104	7316	6610			15129		8189	2327			10329				1153	3300	5861		
105	7316	7733			9017		8189				9329			11191	1490	3365	2583		
106	7316	6057		1841	2328		3931	2327	8279		2719	2651	5038	7362	1131	3300	2335		3599
107	7316			1841			3931		9606		2719	2651	5038	23513					3599
108				12081					9606			4748	6669	23513					3599
109		6057		12081				2327	8794			4748	6669	7694	1956	3300	2991		3599
110	7316	6057			2328		5227	2327	8279		2719	3196	5038	7362	1131	3300	2335		3599
111	7316	6057		2969	2328		4172	2327	8279		2933		5175	7362	1131	3300	2335		4531

